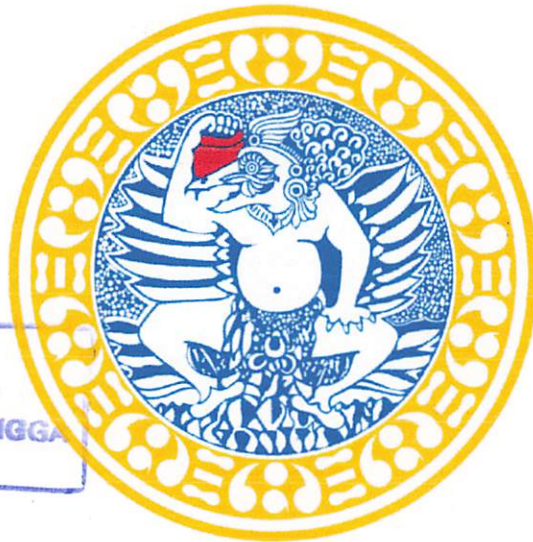


TESIS

**PENGARUH PAJANAN DEBU BATU KALI
TERHADAP PENINGKATAN KADAR TNF- α SERUM DAN
PENURUNAN FAAL PARU PADA PENGRAJIN BATU KALI
DESA GAMPING, KECAMATAN CAMPURDARAT,
KABUPATEN TULUNGAGUNG**



TKC
TKC
TKC 10/19
Rah
P'

OLEH:

**NIMA EKA NUR RAHMANIA
NIM 101714253008**

**UNIVERSITAS AIRLANGGA
FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT
PROGRAM MAGISTER
PROGRAM STUDI KESEHATAN DAN KESELAMATAN KERJA
SURABAYA
2019**



**PENGARUH PAJANAN DEBU BATU KALI
TERHADAP PENINGKATAN KADAR TNF- α SERUM DAN
PENURUNAN FAAL PARU PADA PENGRAJIN BATU KALI
DESA GAMPING, KECAMATAN CAMPUR DARAT,
KABUPATEN TULUNGAGUNG**

TESIS

**Untuk memperoleh gelar Magister Kesehatan dan Keselamatan Kerja
Program Studi Kesehatan dan Keselamatan Kerja
Fakultas Kesehatan Masyarakat
Universitas Airlangga**

Oleh:

**NIMA EKA NUR RAHMANIA
NIM 101714253008**

**UNIVERSITAS AIRLANGGA
FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT
PROGRAM MAGISTER
PROGRAM STUDI KESEHATAN DAN KESELAMATAN KERJA
SURABAYA
2019**

PENGESAHAN

**Dipertahankan di depan Tim Penguji Tesis
Program Studi Kesehatan dan Keselamatan Kerja
Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Airlangga
dan diterima untuk memenuhi persyaratan guna memperoleh gelar
Magister Kesehatan dan Keselamatan Kerja (M.KKK)
Pada tanggal 25 Oktober 2019**

Mengesahkan

**Universitas Airlangga
Fakultas Kesehatan Masyarakat**

Dekan,



**Prof. Dr. Tri Martiana, dr., M.S
NIP 195603031987012001**



Tim Penguji:

Ketua : Dr. Diah Indriani, S.Si., M.Si
Anggota : 1. Dr. Noeroel Widajati, S.KM., M.Sc
2. Dr. Abdul Rohim Tualeka, Drs., M.Kes
3. Dr. Y. Denny Ardyanto W, Ir., M.S
4. Ellyza Setya Maryiantari, ST., M.KKK



PERSETUJUAN

TESIS

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Kesehatan dan Keselamatan Kerja
Program Studi Magister Kesehatan dan Keselamatan Kerja
Fakultas Kesehatan Masyarakat
Universitas Airlangga**

Oleh:

**NIMA EKA NUR RAHMANIA
NIM 101714253008**

Menyetujui,

Surabaya, 29 Oktober 2019

Pembimbing Ketua

A handwritten signature in black ink, appearing to be "Noeroel Widajati".

**Dr. Noeroel Widajati, S.KM., M.Sc
NIP 197208122005012001**

Pembimbing

A handwritten signature in black ink, appearing to be "Abdul Rohim Tualeka".

**Dr. Abdul Rohim Tualeka, Drs., M.Kes
NIP 196611241998031002**

Mengetahui,

Ketua Program Studi Magister Kesehatan dan Keselamatan Kerja

A handwritten signature in black ink, appearing to be "Abdul Rohim Tualeka".

**Dr. Abdul Rohim Tualeka, Drs., M.Kes
NIP 196611241998031002**

PERNYATAAN TENTANG ORSINILITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Nima Eka Nur Rahmania
NIM : 101714253008
Program Studi : Kesehatan dan Keselamatan Kerja
Angkatan : 2017
Jenjang : Magister

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan kegiatan plagiat dalam penulisan tesis saya yang berjudul:

PENGARUH PAJANAN DEBU BATU KALI TERHADAP PENINGKATAN KADAR TNF- α SERUM DAN PENURUNAN FAAL PARU PADA PENGRAJIN BATU KALI DESA GAMPING, KECAMATAN CAMPUR DARAT, KABUPATEN TULUNGAGUNG.

Apabila suatu saat nanti terbukti saya melakukan kegiatan plagiat, maka saya akan menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 29 Oktober 2019



(Nima Eka Nur Rahmania)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penyusunan tesis dengan judul **“Pengaruh Paparan Debu Batu Kali Terhadap Peningkatan Kadar TNF- α Serum dan Penurunan Faal Paru pada Pengrajin Batu Kali Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung”** ini dapat terselesaikan.

Tesis ini berisikan tentang dampak debu batu kali yang berpengaruh terhadap sistem imun yaitu peningkatan sekresi TNF- α yang diperiksa dari serum darah pekerja sebagai penanda adanya inflamasi pada saluran pernapasan serta penurunan faal paru yang ditandai dengan adanya keluhan pernapasan. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan masukan kepada pekerja, pengusaha dan dinas terkait untuk bersinergi mengupayakan pengendalian di *home industry* batu kali.

Pada kesempatan ini ucapkan terimakasih yang tak terhingga saya sampaikan kepada Dr. Noeroel Widajati, S.KM., M.Sc selaku pembimbing ketua dan Dr. Abdul Rohim Tualeka, Drs., M.Kes selaku pembimbing kedua yang telah sabar dalam memberikan arahan selama proses pengerjaan tesis. Terima kasih dan penghargaan juga disampaikan pula kepada yang terhormat :

1. Prof. Dr. Moh. Nasih, SE., MT., Ak., CMA. selaku Rektor Universitas Airlangga.
2. Prof. Dr. Tri Martiana, dr., M.S. selaku Dekan Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Airlangga.
3. Dr. Abdul Rohim Tualeka, Drs., M.Kes selaku Ketua Program Studi Magister Kesehatan dan Keselamatan Kerja.
4. Ketua penguji, Dr. Diah Indriani, S.Si., M.Si, dan anggota penguji Dr. Noeroel Widajati, S.KM., M.Sc, Dr. Abdul Rohim Tualeka, Drs., M.Kes, Dr. Y. Denny Ardyanto W, Ir., M.S, Ellyza Setya Maryiantari, ST., M.KKK atas kesediaan menguji dan membimbing dalam perbaikan tesis ini.
5. Seluruh pengelola usaha dan pekerja di *home industry* batu kali Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat yang telah bersedia dan secara sukarela menjadi responden dalam penelitian ini.
6. Kedua orang tua, adik, suami dan kedua anak tercinta atas segala doa yang tulus, dukungan, semangat, motivasi, pengertian dan kesabaran yang telah diberikan hingga terselesaikannya tesis ini.
7. Seluruh rekan Program Magister Kesehatan dan Keselamatan Kerja Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Airlangga angkatan 2017.
8. Semua pihak yang telah membantu penulis, yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu pada kesempatan ini.

Demikian, semoga tesis ini bisa memberi manfaat bagi diri kami sendiri dan pihak lain yang menggunakan

Surabaya, 29 Oktober 2019

Penulis



SUMMARY

The Effect of Sandstone Dust Exposure on Increasing TNF- α Serum Level And Decreasing Lung Function to Sandstone Craftsmen in Gamping Village, Campurdarat, Tulungagung

In the process of the sandstone craft industry, most of the dust produced from the grinding process of raw materials that produce particles under 2.5 microns that can be inhaled by workers and harmful to the lung function. According to Pettijohn *et al.*, (2014) the silica crystal content in sandstones is very high at 95%. Based on the results of research by Bon *et al.*, (2017) at the NIOSH conference stated that 88% of 260 rock dust samples, one of which is dust from sandstone rocks, more than 30% can be inhaled by workers when they work. Based on the carcinogenicity category, silica is included in Group 1, which is a carcinogenic substance in humans (IARC, 1997). Silica is usually found in crystal form. Inhaled silica crystals cause decreasing lung function, acute pneumonia, autoimmune disorders, silicosis and lung cancer (Hamilton *et al.*, 2008).

Studies in several countries showed high levels of silica crystal exposure from the stone industry. The research by Aghilinejad *et al.*, (2012) conducted in Tehran on stone cutting workers, among the 180 respondents surveyed found 16 cases of silicosis. Apart from causing pulmonary fibrosis, long-term exposure to silica dust has also been implicated as a cause of lung cancer. As a cohort study by Liu *et al.*, 2013 on 34,018 workers in China, it was found that RR of lung cancer increased in individuals with silica dust exposure even with cumulative exposure $<1 \text{ mg/m}^3$.

There were many locations of sandstone *home industry* in Gamping Village, Campurdarat, Tulungagung. The results of the study with the *X-Ray Diffraction* (XRD) test showed that the rock as the raw material for production contained quartz oxide (SiO_2) with a high purity of around 65.9%-76.8% (Munasir *et al.*, 2012). Data recorded in the Campurdarat health center recorded 8 from 105 people who contracted lung disease (Hasan, 2017). According to data from the Gamping village in 2018-2019, at least 10 from 100 people have died with a background as sandstone workers. Subjective complaints felt by 5 sandstone craftsmen who worked a minimum of 2-3 years in the form of respiratory complaints such as coughing that appears at night and excessive phlegm that appears every morning. Most workers have not to use respiratory protective equipment when working.

The purpose of this study was to analyze the effect of sandstone dust exposure on increasing TNF- α serum levels in the blood and decreasing pulmonary physiology of sandstone craftsmen in Gamping village, Campurdarat, Tulungagung. This type of research was observational with a cross-sectional research design. The sample of this study was 10 stone craftsmen as the exposed group and 10 non-stone craftsmen as the unexposed group. This research variable was divided into independent variables, dependent variables, and confounding variables. The independent variable was the exposure of sandstone dust. Dependent variables were TNF- α serum, lung function, and respiratory

complaints, whereas confounding variables were individual characteristics that included age, work duration, working time, nutritional status (BMI), smoking habits and respiratory protective equipment used.

The data collection techniques used were: (1) measurement of personal sandstone dust content using a personal dust sampler; (2) measurement of TNF- α serum levels using the ELISA technique, (3) pulmonary physiology examination with spirometry; (4) data collection of respiratory complaints using the ATS standard questionnaire also to obtain data on age, work duration, working time and smoking habits, (5) measurement of nutritional status by weight and height measurements. The data obtained were presented in the form of a table, narration, and analyzed by using a statistical program.

The results showed from the multiple linear regression, the influence of sandstone dust levels on increasing TNF- α serum levels by including individual characteristics variables showed that there was a significant effect between sandstone dust levels ($p=0,000$), age ($p=0.034$) and working time ($p=0.029$) to increased TNF- α serum levels. From the results of multiple linear regression, the effect of sandstone dust levels on decreased lung function by including individual characteristic variables and TNF- α serum levels showed that sandstone dust levels, TNF- α serum levels, age and working time influenced the decreased in lung function %FVC. While the used of respiratory protective equipment affects the decreased in lung function %FEV₁ ($p= 0.036$). TNF- α serum levels significantly influenced the respondent's respiratory complaints ($p=0.000$). Respiratory disorders arise gradually through exposure to stone dust, then increased TNF- α serum levels, and ultimately caused respiratory complaints to respondents.

Based on the results of this study it can be concluded that exposure to sandstone dust has a significant effect on increasing TNF- α serum levels and decreasing lung function (%FVC) which leads to restriction disorders. The recommendation that can be given to workers is to always maintain health and endurance to increase lung capacity, be orderly in using masks that are in accordance with standards and always apply the wet process in the work process. Business owners and business associations are expected to be able to provide mask facilities with N95 or P100 standards, do the wet process engineering by adding a flat-spray nozzle at the end of the hose. It is recommended that the occupational health unit and the local health center can provide education and health promotion related to the risk of sandstone dust and how to prevent it, conduct occupational health surveillance training for occupational health unit, monitoring of the work environment and conduct regular health checks, especially pulmonary and tuberculosis checks.



RINGKASAN

Pengaruh Paparan Debu Batu Kali Terhadap Peningkatan Kadar TNF- α Serum dan Penurunan Faal Paru pada Pengrajin Batu Kali Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung

Pada proses industri kerajinan batu kali, sebagian besar debu dihasilkan dari proses penggerindaan bahan baku yang menghasilkan partikel dibawah 2,5 mikron yang dapat terhirup oleh pekerja dan berbahaya terhadap faal paru. Menurut Pettijohn *et al.*, (2014) kandungan kristal silika pada batu kali sangat tinggi yaitu $\geq 95\%$. Berdasarkan hasil riset oleh Bon *et al.*, (2017) yang disampaikan dalam konferensi NIOSH menyebutkan bahwa 88% dari 260 sampel debu batu dimana salah satunya adalah debu dari batuan *sandstone*, lebih dari 30% dapat terhirup oleh pekerja ketika mereka bekerja. Berdasarkan kategori karsinogenitasnya silika termasuk dalam Grup 1 yaitu merupakan zat yang bersifat karsinogenik pada manusia (IARC, 1997). Silika biasanya ditemukan dalam bentuk kristal. Kristal silika terinhalasi menyebabkan penurunan fungsi paru, radang paru akut, gangguan autoimun, silicosis bahkan dapat menyebabkan kanker paru (Hamilton *et al.*, 2008).

Studi di beberapa negara menunjukkan tingginya angka paparan kristal silika dari industri batu. Penelitian oleh Aghilinejad *et al.*, (2012) dilakukan di Tehran pada pekerja pemotongan batu, diantara 180 responden yang diteliti ditemukan 16 kasus silikosis. Selain menyebabkan fibrosis paru, paparan debu silika dalam jangka panjang juga diimplikasi sebagai faktor penyebab kanker paru. Sebagaimana penelitian kohort oleh Liu *et al.*, 2013 pada 34.018 pekerja di Cina, ditemukan RR kanker paru meningkat pada individu dengan paparan debu silika bahkan dengan paparan kumulatif $< 1 \text{ mg/m}^3$.

Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung terdapat banyak titik lokasi *home industry* kerajinan batu kali. Hasil penelitian dengan uji *X-Ray Diffraction* (XRD) menunjukkan bahwa batuan sebagai bahan baku produksi mengandung oksida quartz (SiO_2) dengan kemurnian yang tinggi sekitar 65,9%-76,8% (Munasir *et al.*, 2012). Data yang tercatat di wilayah Puskesmas Campurdarat terdapat 8 orang yang terjangkit penyakit paru (Hasan, 2017). Menurut data dari Desa Gamping tahun 2018-2019 setidaknya terdapat sebanyak 10 orang telah meninggal dunia dengan latar belakang sebagai pekerja batu kali. Keluhan subyektif yang dirasakan oleh 5 orang pengrajin batu kali yang bekerja minimal 2-3 tahun yaitu berupa keluhan pernapasan seperti batuk yang muncul di malam hari dan dahak berlebih yang muncul setiap pagi hari. Sebagian besar pekerja tidak menggunakan alat pelindung pernapasan saat bekerja.

Tujuan penelitian ini adalah menganalisis pengaruh paparan debu batu kali terhadap peningkatan kadar TNF- α serum dalam darah dan penurunan faal paru pengrajin batu kali di Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung. Jenis penelitian ini adalah observasional dengan rancang bangun penelitian *cross sectional*. Sampel penelitian ini adalah 10 orang pengrajin batu kali sebagai kelompok terpapar dan 10 orang non pengrajin batu kali sebagai kelompok tidak terpapar.

Variabel penelitian ini terbagi menjadi variabel bebas, variabel terikat dan variabel moderator. Variabel bebas (*independent*) dalam penelitian ini yaitu pajanan debu batu kali. Variabel terikat (*dependent*) yaitu kadar TNF- α serum, faal paru dan keluhan pernapasan, sedangkan variabel perancu (*counfounding*) yaitu karakteristik individu yang meliputi umur, masa kerja, lama kerja, status gizi, kebiasaan merokok dan kebiasaan pemakaian alat pelindung pernapasan.

Pada penelitian ini, teknik pengumpulan data yang dilakukan adalah : (1) pengukuran kadar debu batu kali personal menggunakan *personal dust sampler*; (2) pengukuran kadar TNF- α serum menggunakan teknik ELISA, (3) pemeriksaan faal paru dengan *spirometry*; (4) pengumpulan data keluhan pernapasan menggunakan kuesioner standar ATS juga untuk mendapatkan data umur, masa kerja, lama kerja dan kebiasaan merokok; (5) pengukuran status gizi dengan penimbangan berat badan dan pengukuran tinggi badan. Data yang didapat kemudian disajikan dalam bentuk table, narasi, dianalisis menggunakan program statistik.

Hasil penelitian menunjukkan dari hasil regresi secara simultan pengaruh kadar debu kali terhadap peningkatan kadar TNF- α serum dengan menyertakan karakteristik individu menunjukkan bahwa terdapat pengaruh yang signifikan antara kadar debu batu kali ($p=0,000$), umur ($p=0,034$) dan lama kerja ($p=0,029$) terhadap peningkatan kadar TNF- α serum. Hasil regresi linier berganda pengaruh kadar debu kali terhadap penurunan faal paru dengan menyertakan variabel karakteristik individu dan kadar TNF- α serum menunjukkan bahwa kadar debu batu kali, kadar TNF- α serum, umur dan lama kerja mempengaruhi penurunan faal paru %FVC. Sedangkan pemakaian alat pelindung pernapasan berpengaruh terhadap penurunan faal paru % FEV₁ ($p=0,036$). Kadar TNF- α serum berpengaruh secara signifikan terhadap keluhan pernapasan responden ($p=0,000$). Gangguan pernapasan timbul secara bertahap melalui pajanan debu batu kali, kemudian meningkatkan kadar TNF- α serum, dan pada akhirnya menimbulkan keluhan pernapasan pada responden.

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa pajanan debu batu kali berpengaruh secara signifikan terhadap peningkatan kadar TNF- α serum dan penurunan faal paru (%FVC) yang mengarah kepada gangguan restriksi. Saran yang dapat diberikan kepada pekerja yaitu selalu menjaga kesehatan dan daya tahan tubuh guna meningkatkan kapasitas paru, tertib dalam menggunakan masker yang sesuai standar dan selalu menerapkan proses basah dalam proses kerja. Bagi pemilik usaha dan asosiasi pengusaha diharapkan dapat menyediakan fasilitas masker dengan standar N95 atau P100, melakukan rekayasa proses basah dengan menambahkan *flat-spray nozzle* pada ujung selang. Bagi unit kesehatan kerja dan puskesmas setempat diharapkan dapat memberikan pendidikan dan promosi kesehatan terkait bahaya debu batu kali dan cara pencegahannya, pelatihan surveilans kesehatan kerja bagi UKK, pemantauan lingkungan kerja dan melakukan pemeriksaan kesehatan secara berkala terutama pemeriksaan faal paru dan TBC.

ABSTRACT

**THE EFFECT OF SANDSTONE DUST EXPOSURE ON
INCREASING TNF- α SERUM LEVEL AND DECREASING LUNG
FUNCTION TO SANDSTONE CRAFTSMEN IN GAMPING VILLAGE,
CAMPURDARAT, TULUNGAGUNG**

Sandstone dust exposure which containing $\geq 95\%$ of silica has an impact on the immunity and lung capacity of workers. Sandstone dust enters the body through the inhalation exposure route. Silicosis and lung cancer are clinical manifestations due to chronic exposure to sandstone dust. Detection of cytokines involved in the pathogenesis of pulmonary diseases and pulmonary physiology checks need to be done as a preventative measure. The purpose of this study was to analyze the effect of sandstone dust exposure on increasing TNF- α serum level and decreasing lung function for sandstone craftsmen in Gamping Village.

This study was observational with a cross-sectional research design. The sample consisted of 10 sandstone craftsmen as the exposed group and 10 non-sandstone craftsmen as the unexposed group. The independent variable was sandstone dust exposure. Dependent variables were TNF- α serum levels, lung function, and respiratory complaints. Confounding variables included age, work duration, working time, BMI, smoking habits and the used of respiratory protective equipment.

The results showed the mean of sandstone dust exposure in craftsmen was higher (7.27 ± 6.68) than non-sandstone craftsman (0.25 ± 0.13). The mean of TNF- α serum in craftsmen (46.59 ± 71.79) was higher than non-sandstone craftsmen (42.91 ± 20.84). The exposure of sandstone dust affected the increased in TNF- α serum ($p=0.000$) and decreased in lung function (%FVC) which leads to a restriction ($p=0.008$). TNF- α serum affected respirational complaints ($p=0.000$).

The conclusions were sandstone dust exposure increased TNF- α serum level and decreased lung function of sandstone craftsman. It was recommended to conduct technical control by installing a flat-spray nozzle at the end of the hose and implementing a wet process, carrying out administrative control through monitoring the work environment, education and health promotion, health checks up related to lung function and tuberculosis. The use of respiratory protective equipment N95 or P100 type is effective for filtering respirable sandstone dust particles.

Keywords: sand stone dust, TNF- α serum, lung function, respiratory complaints, sandstone craftsman



ABSTRAK

**PENGARUH PAJANAN DEBU BATU KALI TERHADAP
PENINGKATAN KADAR TNF- α SERUM DAN PENURUNAN FAAL
PARU PADA PENGRAJIN BATU KALI DESA GAMPING, KECAMATAN
CAMPURDARAT, KABUPATEN TULUNGAGUNG**

Pajanan debu batu kali yang mengandung $\geq 95\%$ kristal silika dapat berdampak terhadap imunitas dan kapasitas paru pekerja. Debu batu kali masuk kedalam tubuh melalui rute inhalasi. Silikosis dan kanker paru merupakan manifestasi klinis akibat pajanan kronis debu batu kali yang mengandung kristal silika. Deteksi terhadap sitokin yang terlibat dalam patogenesis penyakit paru serta pemeriksaan faal paru perlu dilakukan sebagai upaya pencegahan. Tujuan penelitian adalah menganalisis pengaruh pajanan debu batu kali terhadap peningkatan kadar TNF- α serum dan penurunan faal paru pengrajin batu kali di Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung.

Jenis penelitian ini adalah observasional dengan rancang bangun *cross sectional*. Sampel penelitian terdiri dari 10 orang pengrajin batu kali sebagai kelompok terpapar dan 10 orang non pengrajin batu kali sebagai kelompok tidak terpapar. Variabel bebas yaitu pajanan debu batu kali. Variabel terikat yaitu kadar TNF- α serum, faal paru dan keluhan pernapasan. Variabel perancu meliputi umur, masa kerja, lama kerja, status gizi, kebiasaan merokok dan kebiasaan pemakaian alat pelindung pernapasan.

Hasil penelitian menunjukkan rerata pajanan debu batu kali pada pengrajin lebih tinggi ($7,27 \pm 6,68$) dibandingkan non pengrajin batu kali ($0,25 \pm 0,13$). Rerata kadar TNF- α serum pada pengrajin ($46,59 \pm 71,79$) lebih tinggi daripada non pengrajin batu kali ($42,91 \pm 20,84$). Pajanan debu batu kali mempengaruhi peningkatan kadar TNF- α serum ($p=0,000$) dan penurunan faal paru %FVC yang mengarah kepada gangguan restriksi ($p=0,008$). Kadar TNF- α serum mempengaruhi keluhan pernapasan responden ($p=0,000$).

Kesimpulan bahwa pajanan debu batu kali meningkatkan kadar TNF- α serum dan menurunkan faal paru pengrajin batu kali. Disarankan untuk melakukan pengendalian teknis dengan pemasangan *flat-spray nozzle* pada ujung selang dan menerapkan proses basah untuk meminimalisir pajanan debu batu kali, melakukan pengendalian administratif melalui pemantauan lingkungan kerja, pendidikan dan promosi kesehatan, pemeriksaan kesehatan terkait fungsi paru dan TBC. Pemakaian alat pelindung pernapasan sesuai standar dengan tipe N95 atau P100 efektif menyaring partikel debu batu kali respirabel.

Kata kunci: debu batu kali, TNF- α serum, faal paru, keluhan pernapasan, pengrajin batu kali





DAFTAR ISI

SAMPUL DEPAN	i
SAMPUL DALAM.....	ii
HALAMAN PERSYARAT GELAR	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERSETUJUAN.....	v
PERNYATAAN TENTANG ORISINALITAS	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
SUMMARY.....	viii
RINGKASAN.....	x
ABSTRACT.....	xii
ABSTRAK.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xviii
DAFTAR GAMBAR.....	xxi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxii
DAFTAR ARTI LAMBANG & SINGKATAN.....	xxiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang dan Identifikasi Masalah	1
1.2 Kajian Masalah	10
1.3 Rumusan Masalah.....	15
1.4 Tujuan Penelitian	15
1.4.1 Tujuan umum.....	15
1.4.2 Tujuan khusus	16
1.5 Manfaat Penelitian	17
1.5.1 Bagi ilmu pengetahuan	17
1.5.2 Bagi subyek penelitian.....	17
1.5.3 Bagi <i>home industry</i> dan pelayanan kesehatan	18
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	19
2.1 Debu dan Batuan	19
2.2 Batu kali dan Debu Batu Kali	23
2.3 Kandungan Silika Pada Batu Kali.....	25
2.4 Cara Pengukuran Debu.....	27
2.5 Anatomi dan Fisiologi Pernapasan	28
2.6 Mekanisme Paparan Debu.....	31
2.7 Mekanisme Pembersihan Debu di Saluran Pernapasan	35
2.8 Gangguan Kesehatan Akibat Debu.....	37
2.9 Pneumokoniosis	38
2.9.1 Definisi pneumokoniosis	38
2.9.2 Penyebab pneumokoniosis.....	38
2.9.3 Patogenesis pneumokoniosis	39
2.9.4 Jenis pneumokoniosis	40

2.10	Silikosis.....	41
2.10.1	Gambaran klinis silikosis	42
2.10.2	Gambaran radiologis silikosis	43
2.11	Faal Paru	44
2.11.1	Pemeriksaan faal paru	48
2.12	Keluhan Pernapasan.....	51
2.13	Respon Imunologi Paparan Debu Batu Kali.....	56
2.13.1	Patofisiologi fibrosis paru	56
2.13.2	Patofisiologi kanker paru	62
2.14	<i>Tumor Necrosis Factor Alpha</i> (TNF- α)	63
2.14.1	Karakteristik <i>Tumor Necrosis Factor Alpha</i> (TNF- α).....	63
2.14.2	<i>Tumor Necrosis Factor Alpha</i> (TNF- α) dalam mekanisme inflamasi	66
2.15	Karakteristik Individu.....	67
2.16	Strategi Pengelolaan Risiko.....	78
BAB 3	KERANGKA KONSEPTUAL	80
3.1	Kerangka Konseptual Penelitian	80
3.2	Penjelasan Kerangka Konsep.....	81
3.3	Hipotesis Penelitian	82
BAB 4	METODE PENELITIAN.....	83
4.1	Jenis Penelitian dan Rancang Bangun Penelitian	83
4.2	Lokasi dan Waktu Penelitian	83
4.2.1	Lokasi penelitian	83
4.2.2	Waktu penelitian	83
4.3	Populasi dan Sampel.....	84
4.3.1	Populasi	84
4.3.2	Sampel	84
4.3.3	Besar sampel.....	85
4.3.4	Teknik pengambilan sampel.....	86
4.4	Kerangka Operasional.....	88
4.5	Variabel Penelitian, Definisi Operasional dan Cara Pengukuran Variabel.....	89
4.6	Teknik dan Prosedur Pengumpulan Data.....	92
4.6.1	Prosedur pengukuran paparan debu batu kali.....	92
4.6.2	Prosedur pengukuran faal paru.....	93
4.6.3	Prosedur pengambilan sampel darah vena	95
4.6.4	Pemeriksaan TNF- α serum.....	97
4.6.5	Pengumpulan data karakteristik subjek penelitian.....	99
4.7	Pengolahan dan Analisis Data.....	101
4.7.1	Pengolahan data.....	101
4.7.2	Analisis data	102

BAB 5 HASIL DAN ANALISIS DATA.....	103
5.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian	103
5.2 Identifikasi Karakteristik Individu	105
5.2.1 Umur.....	105
5.2.2 Masa kerja	106
5.2.3 Lama kerja.....	107
5.2.4 Status Gizi	108
5.2.5 Kebiasaan merokok	109
5.2.6 Pemakaian alat pelindung pernapasan.....	110
5.3 Kadar Debu Batu Kali	111
5.4 Kadar TNF- α Serum.....	112
5.5 Faal Paru.....	114
5.6 Keluhan Pernapasan.....	117
5.7 Pengaruh Kadar Debu Batu Kali Terhadap Peningkatan Kadar TNF- α Serum	118
5.8 Pengaruh Karakteristik Individu dan Kadar Debu Batu Kali Terhadap Peningkatan Kadar TNF- α Serum.....	119
5.9 Pengaruh Kadar Debu Batu Kali Terhadap Penurunan Faal Paru	121
5.10 Pengaruh Kadar TNF- α Serum Terhadap Penurunan Faal Paru ..	122
5.11 Pengaruh Karakteristik Individu, Kadar Debu Batu Kali dan Kadar TNF- α Serum Terhadap Penurunan Faal Paru	123
5.12 Pengaruh Karakteristik Individu, Kadar Debu Batu Kali dan Kadar TNF- α Serum Terhadap Keluhan Pernapasan.....	125
 BAB 6 PEMBAHASAN	 127
6.1 Karakteristik Individu	127
6.1.1 Umur.....	128
6.1.2 Masa kerja	129
6.1.3 Lama kerja.....	131
6.1.4 Status gizi	132
6.1.5 Kebiasaan merokok	134
6.1.6 Pemakaian alat pelindung pernapasan.....	136
6.2 Kadar Debu Batu Kali	137
6.3 Kadar TNF- α Serum.....	140
6.4 Faal Paru.....	141
6.5 Keluhan Pernapasan	143
6.6 Pengaruh Kadar Debu Batu Kali Terhadap Peningkatan Kadar TNF- α Serum	145
6.7 Pengaruh Karakteristik Individu dan Kadar Debu Batu Kali Terhadap Peningkatan Kadar TNF- α Serum.....	147
6.8 Pengaruh Kadar Debu Batu Kali Terhadap Penurunan Faal Paru	150
6.9 Pengaruh Kadar TNF- α Serum Terhadap Penurunan Faal Paru ..	151
6.10 Pengaruh Karakteristik Individu, Kadar Debu Batu Kali dan Kadar TNF- α Serum Terhadap Penurunan Faal Paru	152

6.11 Pengaruh Karakteristik Individu, Kadar Debu Batu Kali dan Kadar TNF- α Serum dan Terhadap Keluhan Pernapasan	159
6.12 Strategi Pengelolaan Risiko	160
6.13 Upaya Pengendalian	161
BAB 7 PENUTUP	165
7.1 Kesimpulan.....	165
7.2 Saran.....	166
DAFTAR PUSTAKA	169
LAMPIRAN.....	184

DAFTAR TABEL

Nomor	Judul Tabel	Halaman
Tabel 2.1	Kandungan Mineral Batu Kali	24
Tabel 2.2	Beberapa jenis Pneumokoniosis Berdasarkan Debu Penyebab	41
Tabel 2.3	Hubungan Antara Nilai FEV ₁ dan FVC Pada Keadaan Normal, Obstruksi, Restriksi, dan Mixed <i>Menurut Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease (GOLD) 2010</i>	50
Tabel 2.4	Ambang Batas Indeks Masa Tubuh (IMT)	72
Tabel 2.5	Jenis Respirator Berdasarkan Nilai APF (<i>Assigned Protection Factor</i>)	77
Tabel 4.1	Variabel Penelitian, Definisi Operasional dan Cara Pengukuran Variabel	89
Tabel 4.2	Prosedur Pengenceran Larutan Standar TNF- α	98
Tabel 4.3	Rekapitulasi Uji Statistik	102
Tabel 5.1	Distribusi Frekuensi Umur Responden di <i>Home Industry</i> Batu Kali Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung Tahun 2019	105
Tabel 5.2	Distribusi Frekuensi Masa Kerja Responden di <i>Home Industry</i> Batu Kali Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung Tahun 2019	106
Tabel 5.3	Distribusi Frekuensi Lama Kerja Responden di <i>Home Industry</i> Batu Kali Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung Tahun 2019	107
Tabel 5.4	Distribusi Frekuensi Status Gizi Responden di <i>Home Industry</i> Batu Kali Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung Tahun 2019	108
Tabel 5.5	Distribusi Frekuensi Kebiasaan Merokok Responden di <i>Home Industry</i> Batu Kali Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung Tahun 2019	109
Tabel 5.6	Distribusi Frekuensi Pemakaian Alat Pelindung Pernapasan Responden di <i>Home Industry</i> Batu Kali Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung Tahun 2019	110
Tabel 5.7	Distribusi Frekuensi Kadar Debu Batu Kali di <i>Home Industry</i> Batu Kali Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung Tahun 2019	112
Tabel 5.8	Distribusi Frekuensi Kadar Serum TNF- α Responden di <i>Home Industry</i> Batu Kali Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung Tahun 2019	113

Tabel 5.9	Distribusi Frekuensi Nilai Faal Paru FEV ₁ dan %FEV ₁ Responden di <i>Home Industry</i> Batu Kali Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung Tahun 2019	114
Tabel 5.10	Distribusi Frekuensi Nilai Faal Paru (%FVC) Responden di <i>Home Industry</i> Batu Kali Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung Tahun 2019	116
Tabel 5.11	Distribusi Frekuensi Kondisi Faal Paru Responden di <i>Home Industry</i> Batu Kali Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung Tahun 2019	117
Tabel 5.12	Distribusi Frekuensi Keluhan Pernapasan Responden di <i>Home Industry</i> Batu Kali Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung Tahun 2019	118
Tabel 5.13	Pengaruh Kadar Debu Batu Kali Terhadap Peningkatan Kadar TNF- α Serum pada Pengrajin Batu Kali di Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung Tahun 2019	119
Tabel 5.14	Pengaruh Karakteristik Individu dan Kadar Debu Batu Kali Terhadap Peningkatan Kadar TNF- α Serum pada Pengrajin Batu Kali di Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung Tahun 2019	120
Tabel 5.15	Pengaruh Kadar Debu Batu Kali Terhadap Penurunan Faal Paru (FEV ₁ , %FEV ₁ , FVC, %FVC) pada Pengrajin Batu Kali di Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung Tahun 2019	121
Tabel 5.16	Pengaruh Kadar TNF- α Serum Terhadap Penurunan Faal Paru (FEV ₁ , %FEV ₁ , FVC, %FVC) pada Pengrajin Batu Kali di Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung Tahun 2019	122
Tabel 5.17	Pengaruh Karakteristik Individu, Kadar Debu Batu Kali dan Kadar TNF- α Serum Terhadap Penurunan Faal Paru (FEV ₁ dan %FEV ₁) pada Pengrajin Batu Kali di Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung Tahun 2019	123
Tabel 5.18	Pengaruh Karakteristik Individu, Kadar Debu Batu Kali dan Kadar TNF- α Serum Terhadap Penurunan Faal Paru (FVC dan %FVC) pada Pengrajin Batu Kali di Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung Tahun 2019	124

Tabel 5.19	Pengaruh Karakteristik Individu, Kadar Debu Batu Kali dan Kadar TNF-α Serum Terhadap Keluhan Pernapasan pada Pengrajin Batu Kali di Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung Tahun 2019	126
-------------------	--	------------

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Judul Gambar	Halaman
Gambar 2.1	Komposisi Kandungan Mineral dalam Berbagai Jenis Batuan.....	23
Gambar 2.2	Gambar <i>Quartz Silica</i> Pada Batu Kali.....	27
Gambar 2.3	Penampang Saluran Pernapasan Manusia	30
Gambar 2.4	Deposisi Partikel Menurut Ukuran.....	33
Gambar 2.5	Gambar Foro Toraks Normal dan Penderita Silikosis.....	44
Gambar 2.6	Hubungan Antara Volume dan Kapasitas Paru dengan Fungsi Paru.....	46
Gambar 2.7	Respon Immunologi terhadap Paparan Debu	59
Gambar 2.8	Mekanisme Terjadinya Fibrosis Akibat Paparan Partikel dan Iritan	60
Gambar 2.9	Komponen Molekuler dan Seluler yang Terlibat pada Silikosis	61
Gambar 2.10	Mekanisme Paparan Debu Silika Menyebabkan Terjadinya Fibrosis Paru.....	62
Gambar 2.11	Mekanisme Paparan Debu Silika Menyebabkan Terjadinya Kanker Paru.....	63
Gambar 3.1	Kerangka Konsep Penelitian Pengaruh Paparan Debu Batu Kali Terhadap Peningkatan Kadar TNF- α Serum dan Penurunan Faal Paru Pada Pengrajin Batu Kali Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung.....	80
Gambar 4.1	Kerangka Operasional Penelitian Pengaruh Paparan Debu Batu Kali Terhadap Peningkatan Kadar TNF- α Serum dan Penurunan Faal Paru Pada Pengrajin Batu Kali Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung	88
Gambar 5.1	Lokasi Penelitian <i>Home Industry</i> Batu Kali di Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung.....	103
Gambar 5.2	Hasil Pengukuran Kadar Debu Batu Kali pada Pengrajin dan Non Pengrajin Batu Kali di Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung Tahun 2019.....	111
Gambar 5.3	Hasil Pengukuran Kadar TNF- α Serum Responden di <i>Home Industry</i> Batu Kali Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung Tahun 2019	113
Gambar 6.1	Pengendalian Teknis dengan Metode Penyiraman.....	162
Gambar 6.2	Alat Pelindung Pernapasan Untuk Partikel	164

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor

1. Lembar Penjelasan Penelitian.....	184
2. Lembar <i>Informed Consent</i>	191
3. Lembar Kuesioner.....	192
4. Lembar Pemeriksaan Kondisi Fisik, Kadar TNF- α Serum dan Faal Paru	203
5. Lembar Observasi Pemakaian Alat Pelindung Pernapasan	204
6. Surat Izin Penelitian.....	205
7. Sertifikat Etik Penelitian.....	206
8. Surat Permohonan Tenaga Pengambilan Sampel Darah	207
9. <i>Output</i> Analisis Uji Statistik.....	208
10. Dokumentasi Penelitian	262



DAFTAR ARTI LAMBANG, SINGKATAN DAN ISTILAH**Daftar Arti Lambang**

>	= lebih dari
<	= kurang dari
≥	= lebih dari sama dengan
≤	= kurang dari sama dengan
=	= sama dengan
±	= plus minus
%	= persen
°C	= derajat celsius
μm	= mikrometer
cm	= centimeter
kDa	= kiloDaltons
kg	= kilogram
lpm	= liter per menit
mg/m ³	= miligram per meter kubik
mg/l	= miligram per liter
mm	= milimeter
ng/l	= nanogram per liter
pg/ml	= picogram per mililiter
α	= alfa
β	= beta
γ	= gamma
SiO ₂	= silikon dioksida

Daftar Singkatan

APD	= Alat Pelindung Diri
APF	= Assigned Protection Factor
ATSDR	= Agency for Toxic Substances and Disease Registry
BMI	= Body Mass Index
DIG	= Disseminated Intravascular Coagulation
ELISA	= Enzym Linked Immunosorbent Assay
EPA	= Environmental Protection Agency
et al	= et alia
FDA	= Food and Drug Administration
FEV	= Forced Expiratory Volume
FVC	= Forced Vital Capacity
GOLD	= Global Initiative for Chronic Obstructive
HVAS	= High Volume Air Sampler
IARC	= International Agency Research Center
IB	= Indeks Brinkman

IFN	= Interferon
IL	= Interleukin
ILO	= International Labour Organization
IMT	= Indeks Massa Tubuh
ISO	= International Organization for Standardization
IUPAC	= International Union of Pure and Applied Chemistry
KVP	= Kapasitas Vital Paksa
LVAS	= Low Volume Air Sampler
MAPK	= Mitogen Activated Protein Kinase
NAB	= Nilai Ambang Batas
NK	= Natural Killer
NIOSH	= National Institute for Occupational Safety and Health
NO₂	= Nitrogen Dioxide
O₂	= Oksigen murni
OR	= Odds Ratio
OSHA	= Occupational Safety and Health Administration
PDS	= Personal Dust Sampler
PF	= Protection Factors
PM	= Particulate Matter
PPOK	= Penyakit Paru Obstruktif Kronis
RCS	= Respirable Crystalline Silica
ROS	= Reaktif Oxygen Spesies
RR	= Relative Risk
RTK	= Reseptor Tirosin Kinase
SCBA	= Self Contained Breathing Apparatus
SPM	= Suspended Particulate Matter
TGF	= Transforming Growth Factor
TNF	= Tumor Necrosis Factor
TSP	= Total Suspended Particulate
VEP	= Volume Ekspirasi Paksa
WHO	= World Health Organization
XRD	= X-Ray Diffraction
XRF	= X-Ray Fluorescence

BAB 1

PENDAHULUAN

BAB 1

PENDAHULUAN



1.1 Latar Belakang dan Identifikasi Masalah

Salah satu dampak negatif yang ditimbulkan oleh aktivitas industri adalah terjadinya pencemaran udara. Pencemaran udara yang diakibatkan karena adanya proses industri tidak hanya mencemari udara ambien namun juga mencemari udara lingkungan kerja (Simanjuntak, 2015). Adapun yang dimaksud dengan pencemaran udara berdasarkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2010 adalah :

“masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lain kedalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga melampaui baku mutu udara yang telah ditetapkan”.

Dampak kesehatan yang diakibatkan oleh pencemaran udara adalah terjadinya infeksi pada saluran pernapasan dan peradangan pada paru dimana dalam paparan kronis dapat menyebabkan penurunan fungsi paru hingga meningkatkan kelainan pada faal paru. Kelainan pada saluran pernapasan diakibatkan oleh bahan pencemar udara yang menyebabkan kelainan pada saluran pernapasan yaitu bahan pencemar yang dihirup berasal dari udara ambien, antara lain gas SO₂, gas O₃, gas NO₂ dan partikel debu (Mukono, 2008).

Berdasarkan data dari *International Labour Organization (ILO)* pada tahun 2013, terdapat 2,02 juta kasus meninggal dunia terkait dengan penyakit akibat kerja dimana penyebab kematian yang berhubungan dengan pekerjaan sebesar 34% adalah penyakit kanker, 25% kecelakaan, 21% penyakit saluran

pernapasan, 15% penyakit kardiovaskuler, dan 5% disebabkan oleh faktor yang lain. Penyakit saluran pernapasan akibat kerja, sesuai dengan hasil riset *The Surveillance of Work Related and Occupational Respiratory Disease (SWORD)* yang dilakukan di Inggris ditemukan 3300 kasus baru penyakit paru yang berhubungan dengan pekerjaan (Fahmi, 2012).

Agen yang sering dianggap sebagai penyebab penyakit sistem pernapasan dan paling berpengaruh terhadap kejadian penyakit akibat kerja adalah debu respirabel. Debu respirabel merupakan debu berukuran 0,5 μm sampai dengan 4 μm yang dapat terhirup oleh pekerja pada saat bekerja dan dapat masuk pada saluran pernapasan (SNI 7325, 2009). Partikel debu yang diyakini oleh para pakar lingkungan dan kesehatan masyarakat sebagai pemicu timbulnya infeksi saluran pernapasan adalah debu respirabel dengan ukuran kurang dari 2,5 mikron. Beberapa paparan agen yang bersifat iritan seperti debu dapat menyebabkan penyakit akibat kerja yang memiliki efek akut maupun kronis. Debu yang mengendap didalam jaringan paru kemungkinan besar dapat menyebabkan penyakit paru kerja. Terjadinya penyakit paru kerja ditentukan oleh beberapa faktor seperti jenis debu, konsentrasi, periode pajanan serta ukuran debu di udara pada zona pernapasan (Arlan *et al.*, 2009).

Jenis debu yang dapat menjadi penyebab timbulnya penyakit paru di lingkungan kerja adalah debu dengan ukuran partikel kurang dari 2,5 mikron, termasuk pula debu silika yang dihasilkan dari kegiatan industri dengan menggunakan bahan baku batu kali. Batu kali merupakan jenis batuan sedimen dalam golongan *sandstone* yang terbentuk oleh pengendapan material di

permukaan bumi dan badan air yaitu sungai (Noor, 2013). Sebagian besar komposisi dari batu kali adalah mineral silika (64,18-92,68%) sedangkan komponen lainnya yaitu CaO (0,002%-0,005%), Al₂O₃ (11,65-25,04%) dan kandungan lumpur (>15%) (Yulianti *et al.*, 2016). Menurut Pettijohn *et al.*, (2014) kandungan kristal silika pada batu kali sangat tinggi yaitu $\geq 95\%$. Batuan ini banyak digunakan dalam pembuatan kerajinan, perlengkapan dapur dan kamar mandi.

Pada proses industri kerajinan batu kali, sebagian besar debu dihasilkan dari proses penggerindaan bahan baku yang menghasilkan partikel dibawah 2,5 mikron yang dapat terhirup oleh pekerja dan berbahaya terhadap faal paru. Ukuran debu sangat berpengaruh terhadap terjadinya penyakit pada saluran pernapasan. Inhalasi adalah satu-satunya jalur paparan yang memiliki hubungan dengan efek langsung partikel debu dengan kesehatan (WHO, 2000). Berdasarkan hasil penelitian, partikel debu yang berukuran dibawah 2,5 mikron merupakan ukuran partikel yang paling berbahaya karena akan terinhalasi langsung ke permukaan alveoli paru dan dapat menimbulkan pneumokoniosis dalam pajanan kronis (Price, 1995). Sebagaimana dalam penelitian Ichsani (2005) pada pekerja pengolahan batu di Cilegon menunjukkan bahwa pajanan debu batu dengan ukuran kurang dari 2,5 mikron berada diatas nilai ambang batas. Ditemukan sebanyak 20,8% dari 24 pekerja memiliki kapasitas vital paru yang tidak normal. Terlebih jika komponen batu kali sebagian besar diketahui adalah silika. Partikel debu silika dengan diameter kurang dari 5 mikron adalah partikel yang berbahaya karena akan tertimbun di alveoli dan dapat menimbulkan silikosis (Ikhsan *et al.*,

2009). Berdasarkan hasil riset oleh Bon *et al.*, (2017) yang disampaikan dalam konferensi NIOSH menyebutkan bahwa 88% dari 260 sampel debu batu dimana salah satunya adalah debu dari batuan *sandstone*, lebih dari 30% dapat terhirup oleh pekerja ketika mereka bekerja. Debu timbul dari pergerakan peralatan yang digunakan untuk mengerjakan batu tersebut dan oleh lalu lalang pekerja.

Pemerintah RI berdasarkan PERMENAKER No.5/MEN/2018 tentang keselamatan dan kesehatan kerja mengeluarkan nilai ambang batas debu respirabel sebesar 3 mg/m^3 serta debu silika (*quartz*) respirabel sebesar $0,05 \text{ mg/m}^3$. Sedangkan berdasarkan kategori karsinogenitasnya silika termasuk dalam Grup 1 yaitu merupakan zat yang bersifat karsinogenik pada manusia (IARC, 1997). Silika biasanya ditemukan dalam bentuk kristal. Kristal silika terinhalasi menyebabkan penurunan fungsi paru, radang paru akut, gangguan autoimun, bahkan dapat menyebabkan kanker paru (Hamilton *et al.*, 2008). Kristal silika yang mengendap di paru akan mengoksidasi dinding alveoli yang menyebabkan terjadinya fibrosis. Semakin banyak kristal silika yang mengendap di paru, maka fibrosis yang terjadi di alveoli semakin parah dan menimbulkan penyakit yang dikenal dengan pneumokoniosis silikosis (Yunus, 1997).

Silikosis merupakan penyakit yang *irreversible* namun dapat dicegah, dan merupakan penyakit yang berkaitan erat dengan pajanan berbahan debu silika di lingkungan pekerjaan. Silikosis disebabkan oleh inhalasi, retensi, dan reaksi paru terhadap silika. Pekerja terpajan debu silika pada berbagai jenis pekerjaan, khususnya bila teknologi yang digunakan tidak adekuat dalam mengendalikan debu. Beberapa penyakit serius dan kematian meningkat terkait

dengan paparan kristal silika di berbagai industri, sehingga menjadi prioritas utama dalam masalah kesehatan masyarakat.

Studi di beberapa negara menunjukkan tingginya angka pajanan kristal silika dari industri pemotongan batu. Penelitian oleh Aghilinejad *et al.*, (2012) dilakukan di Tehran pada pekerja pemotongan batu, diantara 180 responden yang diteliti ditemukan 16 kasus silikosis yang ditunjukkan dengan adanya perubahan hasil radiografi. Pajanan silika telah dijelaskan dalam banyak pekerjaan dengan indeks prevalensi yang berbeda tergantung pada tingkat paparan. Data statistik dari *Spanish Instituto Nacional de Silicosis* menyatakan bahwa terdapat peningkatan 1 kejadian silikosis dalam setiap tahunnya terutama pada industri informal yang menggunakan teknologi sederhana seperti industri kerajinan batu sedimen batu kali *sandstone*.

Sebuah penelitian yang dilakukan pada pekerja *sandstone* di Thailand menunjukkan bahwa pekerja pada kelompok pemotongan batu dan kelompok pengukir batu telah terpajan debu silika yang melebihi batas ambang untuk kadar debu silika terhirup menurut OSHA PEL ($>0,05 \text{ mg/m}^3$) (Chanvirat *et al.*, 2018). Riset oleh Seaton (1998) tentang pekerja yang terlibat dalam pembangunan katedral dari *sandstone* di Skotlandia dan survey tentang debu silika di Inggris (HSE, 2009) menunjukkan bahwa paparan debu silika respirabel telah melebihi nilai ambang batas. Hasil temuan di Inggris menunjukkan bahwa para pekerja restorasi terpapar debu silika dengan konsentrasi yang tinggi sedangkan kontrol teknik sering tidak memadai untuk pekerjaan ini. (Healy *et al.*, 2013). Studi kohort selama 14 tahun dilakukan pada pengrajin batu di Israel dimana telah

terdiagnosa 25 orang pekerja mengalami silikosis. Semua pekerja telah terpapar oleh debu pemotongan batu yang mengandung kristal silika yang tinggi. Para pasien memiliki penyakit paru dengan derajat sedang hingga tinggi, dimana 2 pasien menunjukkan progresif fibrosis yang masif dan 3 pasien dinyatakan meninggal dunia (Mordechai *et al.*, 2012).

Selain menyebabkan fibrosis paru, pajanan debu silika dalam jangka panjang juga diimplikasi sebagai faktor penyebab kanker paru. Sebagaimana penelitian kohort oleh Liu *et al.*, 2013 pada 34.018 pekerja di Cina, ditemukan RR kanker paru meningkat pada individu dengan paparan debu silika bahkan dengan pajanan kumulatif $< 1 \text{ mg/m}^3$. Pada studi ini pula ditemukan 77 orang menderita kanker paru akibat pajanan silika dari 12.177 pekerja yang tidak pernah merokok. Kachuri *et al.*, 2014 melakukan studi *case control* untuk menyelidiki apakah paparan silika pada konsentrasi yang rendah dapat meningkatkan risiko kanker paru. Studi yang dilakukan pada 1.681 kelompok kasus dan 2.053 kelompok kaontrol menunjukkan bahwa pekerja yang setiap saat terpapar debu silika memiliki kemungkinan terjadi kanker paru lebih tinggi secara signifikan (OR=1,27; 95% CI : 1,09-1,49) dibandingkan dengan yang tidak terpajan. Pekerja dengan durasi pajanan silika > 30 tahun secara signifikan dikaitkan dengan peningkatan risiko kanker paru (OR=1,67; 95% CI : 1,21-2,24), termasuk pula pekerja yang terpajan debu silika dengan konsentrasi rendah selama > 30 tahun (OR=1,63; 95% CI : 1,19-2,23). Namun pada pekerja yang terpajan debu silika konsentrasi rendah dengan durasi < 30 tahun tidak ditemukan peningkatan risiko kanker paru.

Salah satu sitokin atau mediator utama dalam patogenesis pneumokoniosis yang paling banyak diteliti yaitu *Tumor Necrosis Factor- α* (TNF- α). TNF- α disekresi oleh makrofag teraktivasi, dimana sitokin tersebut telah diimplikasi sebagai kunci terjadinya respon inflamasi dan proses fibrogenesis pada pneumokoniosis dan kejadian silikosis (Demedts *et al.*, 2003). Penelitian *in vitro* dan *in vivo* menunjukkan bahwa pembentukan TNF- α dalam jumlah yang tinggi meningkatkan respon inflamasi dimana hal ini sangat penting dalam patogenesis penyakit paru termasuk fibrosis paru (Distler *et al.*, 2008). Beberapa penelitian menyebutkan bahwa TNF- α merupakan biomarker potensial sebagai indikator pajanan debu respirabel yang mengandung kristalin silika (NIOSH, 2017). Hasil penelitian oleh Lee *et al.*, (2009) pada subyek yang terpapar debu respirabel anorganik seperti debu silika menunjukkan adanya hubungan yang signifikan antara temuan radiologis dengan kadar TNF- α serum ($r=0,306$, $p<0,01$). Mischeler *et al.*, (2016) menyebutkan bahwa setelah terpajan 4-8 jam oleh kristalin silika terjadi peningkatan kadar TNF- α serum darah secara signifikan. Studi *case control* pada pekerja di Cina yang terpapar debu respirabel dengan kadar silika yang tinggi menunjukkan bahwa sitokin TNF- α berhubungan dengan risiko terjadinya silikosis (Wang *et al.*, 2012). Level TNF- α serum dan MMP-9 meningkat pada individu yang terpapar debu silika ($p<0,05$), dan terdapat hubungan yang signifikan antara level TNF- α serum dan MMP-9 pada individu yang terpapar debu silika ($r=0,696$, $p<0,01$) dan pasien dengan silikosis ($r=0,768$, $p<0,01$) (Jiang *et al.*, 2015).

Namun penelitian yang dilakukan oleh Sohilauw (2014) menunjukkan hasil yang berbeda, dimana pajanan debu batu yang mengandung silika tidak berpengaruh secara signifikan terhadap TNF- α serum pada penambang batu. Begitu juga pada penelitian Rejeki (2018) pada penambang batu di Bali, menunjukkan tidak ada hubungan yang signifikan antara pajanan debu silika dengan TNF- α serum, dimana $(r) = -0,145$; $p = 0,206$. Hingga saat ini, beberapa penelitian belum menunjukkan hasil yang konsisten mengenai pengaruh antara pajanan debu yang mengandung silika dengan TNF- α .

Gambaran klinis akibat pajanan debu yang mengandung kristal silika adalah sesak napas, awalnya muncul saat aktivitas, dan seiring dengan menurunnya fungsi paru, sesak napas dapat muncul saat istirahat. Gejala lain adalah batuk produktif, batuk darah, mengi, gejala sistemik berupa demam dan penurunan berat badan (Petsonk, 2008). Adanya debu yang dihirup oleh pekerja menyebabkan terjadinya reaksi pertahanan nonspesifik seperti batuk, bersin, gangguan transport *mukosilier* dan *fagositosis* oleh makrofag. Otot polos yang ada di sekitar saluran pernapasan terangsang sehingga menimbulkan penyempitan. Hal ini terjadi bila konsentrasi pajanan debu telah melebihi nilai ambang batas. Beberapa studi menunjukkan bahwa kadar debu pada lingkungan kerja mempengaruhi kapasitas paru pekerja.

Penyakit paru akibat kerja dapat didiagnosis berdasarkan riwayat penyakit, pemeriksaan fisik, foto toraks, uji faal paru melalui spirometri dan pemeriksaan laboratorium (Nedved, 2005). Proses patologis pada saluran napas akibat fibrosis menyebabkan gangguan pada faal paru. Parameter yang sering

digunakan sebagai indikator adanya kelainan faal paru pada uji spirometri adalah FVC dan FEV₁. Penelitian di Afrika Selatan pada pekerja tambang emas dan pekerja pemecah granit di Swedia menunjukkan penurunan FEV₁, dan rasio FEV₁/FVC sesuai dosis kumulatif pajanan debu pada perokok maupun bukan perokok. Beberapa penelitian pada pemecah batu di Kanada dan Amerika Serikat menunjukkan bahwa pada kelompok bukan perokok yang terpajan debu terjadi penurunan pengukuran kapasitas residual paru yang berkaitan dengan kelainan restriksi, sedangkan pada kelompok perokok yang terpajan debu terjadi penurunan signifikan FEV₁, rasio FEV₁/FVC, serta FVC (Greenberg, 2007; Hnizdo, 2003). Penelitian lain pada pekerja pemecah batu di Kabupaten Buleleng, Bali menunjukkan bahwa sebagian besar pekerja yang terpajan debu batu yang mengandung partikel silika memiliki fungsi paru yang tidak normal dimana berdasarkan hasil pemeriksaan spirometri, terjadi penurunan nilai FVC (58,3%) dengan derajat kelainan restriksi (54,17%) dan kelainan campuran (4,17%) (Jasminarti, 2015). Uji faal paru yang dilakukan pada pekerja pengeboran batu setelah pajanan debu sekitar 1-2 tahun dengan kadar yang sangat tinggi ditemukan adanya kelainan berupa restriksi dan penurunan kapasitas difusi oksigen (Siswanto, 1991). Penelitian lain pada pekerja *sandblasting* menunjukkan bahwa pajanan debu personal dengan kandungan silika mempengaruhi penurunan faal paru untuk parameter FVC ($b=-0,786;p=0,001$). Sedangkan tidak ada pengaruh terhadap faal paru untuk parameter FEV₁ ($b=-0,144;p=0,874$) (Arba, 2016).

Penelitian mengenai penyakit paru akibat kerja yang diakibatkan oleh paparan debu batu kali yang merupakan batuan sedimen golongan *sandstone* perlu dilakukan karena mengingat dampak negatif yang ditimbulkan berupa penumpukan debu mineral seperti kandungan silika yang dapat mengganggu saluran pernapasan pada pekerja hingga terjadinya silikosis. Di Indonesia, sektor informal pada industri yang menggunakan bahan baku dari batu kali jumlahnya lebih banyak bila dibandingkan dengan sektor formal sehingga beban pencemaran udara yang ditimbulkan oleh proses produksi juga cenderung tinggi. Hal ini berkaitan dengan cara kerja dan teknologi yang digunakan.

Penelitian mengenai pajanan debu batu kali terhirup yang dihasilkan dari kegiatan *home industry* kerajinan batu kali dan pengaruhnya terhadap respon imun serta gangguan faal paru masih jarang dilakukan. Sehingga perlu dilakukan penelitian dengan pengukuran terhadap kadar debu batu kali terhirup serta pengaruhnya dengan pengambilan biomarker seperti TNF- α pada serum dan pemeriksaan fungsi paru untuk mengetahui gangguan pada faal paru.

1.2 Kajian Masalah

Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung terdapat banyak titik lokasi *home industry* kerajinan batu kali. Hal ini didukung oleh kondisi topografi wilayah Desa Gamping yang memiliki banyak sungai besar sebagai tempat mengambil bahan baku produksi. Bahan baku batu kali yang tergolong batuan *sandstone*, selain mengambil dari wilayah Tulungagung, juga banyak didatangkan dari wilayah lain seperti Tuban dan Sumenep. Hasil penelitian dengan uji *X-Ray Diffraction* (XRD) menunjukkan bahwa batuan

tersebut mengandung oksida quartz (SiO_2) dengan kemurnian yang tinggi yaitu sekitar 65,9%-76,8% (Munasir *et al.*, 2012). Konsentrasi *Respirable Crystalline Silica* (RCS) terkait dengan kandungan kuarsa pada batuan yang digunakan, sehingga pekerja yang bekerja dengan bahan baku batu kali atau *sandstone* berpotensi terpajan RCS dengan level yang berlebih (Healy *et al.*, 2013).

Berdasarkan hasil survey pendahuluan di lokasi penelitian bahwa hasil produksi dari *home industry* batu kali sebagian besar berupa barang kerajinan seperti patung, *bathub*, prasasti, wastafel, dimana tahapan proses produksinya terdiri dari persiapan dan pemecahan batu kali, penggerindaan hingga terbentuknya barang kerajinan, dan yang terakhir adalah *finishing*.

Saat pengerjaan barang kerajinan pada proses produksi utama, masih digunakan peralatan yang belum begitu canggih seperti pada alat gerinda yang digunakan untuk memotong dan membentuk batu kali. Sebagian besar debu dihasilkan dari proses ini. Pada saat pemecahan dan penggerindaan batu kali, debu terpercik dan berhamburan mengenai pekerja. Kondisi lingkungan kerja banyak terlihat partikel debu yang berterbangan, menempel pada barang dan pepohonan di sekitarnya.

Home industry kerajinan batu kali di Desa Gamping memiliki keunikan tersendiri dari karakteristik para pengrajinnya. Sebagian besar *home industry* adalah milik pribadi yang dikerjakan secara perorangan serta melibatkan kerabat dan tetangga sekitar. Pekerja yang membuat kerajinan batu kali telah bekerja kurang lebih 2-25 tahun. Proses produksi di wilayah ini masih berlangsung secara kontinyu karena permintaan yang masih terus ada. Kerajinan yang

dihasilkan dalam sehari dapat mencapai 8 buah per orang. Semakin banyak permintaan maka semakin tinggi produksi pembuatan kerajinan batu kali sehingga jam kerja semakin tinggi pula. Hal ini tentunya akan berpengaruh terhadap pajanan debu batu kali yang diterima oleh pengrajin. Namun dengan adanya risiko yang ditimbulkan akibat pajanan debu ini, sebagian besar dari pekerja belum memahaminya dengan baik dan beranggapan bahwa debu yang timbul dari kegiatan kerajinan batu kali sama dengan debu yang timbul dari bahan baku batuan lain yang tidak menimbulkan efek kesehatan yang berarti. Sehingga didalam melakukan pekerjaan, sebagian besar dari pekerja kurang mengerti bahwa untuk mencegah pajanan debu batu kali harus menggunakan alat pelindung pernapasan khusus yang sesuai untuk partikel dibawah 2,5 mikron. Sebagian besar pekerja hanya menggunakan kaos atau masker kain untuk melindungi pernapasan.

Berdasarkan data Dinas Kesehatan Kabupaten Tulungagung, infeksi saluran pernapasan akut (ISPA) atau pneumonia masih menjadi penyebab utama kematian di Tulungagung. Data yang tercatat hingga tahun 2016, angka kematian pada pasien infeksi paru dengan berbagai penyebab terdaftar sebanyak 51 orang. Di wilayah Puskesmas Campurdarat terdata 8 orang dari 105 pekerja industri rumah tangga yang terjangkit penyakit paru (Hasan, 2017). Menurut data dari Desa Gamping tahun 2018-2019 setidaknya terdapat 10 orang dari 100 pengrajin batu kali telah meninggal dunia akibat terpapar debu batu kali. Berdasarkan hasil wawancara awal, keluhan subyektif yang dirasakan oleh 5 orang pengrajin batu kali yang bekerja minimal 2-3 tahun yaitu berupa keluhan pernapasan seperti

batuk yang muncul di malam hari dan dahak berlebih yang muncul setiap pagi hari, yang dimungkinkan terjadi akibat paparan debu batu kali selama bekerja. Namun dari sekian banyak kasus yang terjadi selama ini belum pernah dilakukan penelitian terkait dengan dampak bahaya pekerjaan kerajinan batu kali.

Perjalanan penyakit karena paparan inhalasi debu batu kali terhirup yang berukuran kurang dari 2,5 mikron yang mengandung partikel silika sangatlah panjang, diperlukan paparan dengan durasi 3 hingga 30 tahun untuk timbul gejala dan menyebabkan pneumokoniosis bahkan kanker paru. Bentuk akut dari pneumokoniosis silikosis dapat menimbulkan gejala beberapa bulan setelah inhalasi silika yang masif.

Patogenesis pneumokoniosis dan kanker paru akibat paparan debu batu kali yang mengandung kristal silika terjadi akibat interaksi antara sel paru dengan partikel debu yang terinhalasi serta respon sekunder yang ditimbulkan oleh interaksi tersebut. Komposisi kimia, sifat fisis, dosis dan lama paparan menentukan dapat atau mudah tidaknya terjadi pneumokoniosis dan kanker paru. Bagian permukaan partikel debu silika yang mencederai jaringan paru akan mengaktifkan makrofag dan neutrophil kemudian mensekresi sejumlah sitokin dan oksidan. Sitokin yang disekresi oleh makrofag kemudian menimbulkan proliferasi fibroblast dan deposit bahan matriks jaringan ikat dalam jumlah yang besar (Yunus, 2009). Sekresi oksidan yang diinduksi oleh neutrophil akan menyebabkan terjadinya genotoksisitas atau kerusakan pada rantai DNA yang pada akhirnya bermanifestasi menjadi kanker paru (Sato *et al.*, 2018).

Makrofag memiliki peran yang penting dalam proses peradangan sebagai reaksi tubuh terhadap benda asing. Makrofag merupakan monosit yang bermigrasi ke dalam jaringan pengikat, dalam hal ini adalah jaringan paru. Monosit merupakan sel terbesar diantara sel leukosit yang jumlahnya 5-8% dari seluruh jumlah leukosit (Christina *et al.*, 2015). Respon makrofag terhadap partikel debu yang terinhalasi yaitu dengan melepaskan berbagai sitokin pro inflamasi dan faktor pertumbuhan antara lain *Tumor Necrosis Factor- α* (TNF- α), Interleukin (IL)-1, dan *Transforming Growth Factor* (TGF)- β . Pelepasan mediator inflamasi dan faktor fibrogenik tersebut berperan dalam fibrosis paru (Davis *et al.*, 2002). TNF- α merupakan salah satu sitokin proinflamasi yang sangat penting yang akan berkoordinasi dengan sitokin lainnya seperti IL-1 dan TGF- β , bertanggung jawab terhadap kerusakan jaringan, pengumpulan sel dan stimulasi pertumbuhan fibroblast hingga pada akhirnya terjadilah pneumokoniosis.

Walaupun sudah tidak terpajan debu, reaksi inflamasi akan terus terjadi hingga menimbulkan gejala. Apabila kondisi ini terus dibiarkan maka dimungkinkan penyakit paru akibat kerja semakin meningkat sehingga pada penelitian ini dilakukan deteksi sitokin yang terlibat dalam proses fibrosis dan kanker paru sejak debu terhirup yang mengandung silika masuk ke dalam saluran napas, yaitu TNF- α serum. Peningkatan sitokin tersebut selain berada di dalam saluran nafas, juga beredar di sirkulasi sistemik seperti pada darah tepi (Susanto, 2011), sehingga pengukuran kadar TNF- α melalui sampel darah perifer dapat digunakan sebagai alternatif dalam beberapa penelitian. Kadar TNF- α di dalam

serum dapat diperiksa dengan metode *Enzyme Linked Immunosorbent Assay* (ELISA).

Pengujian faal paru dilakukan untuk mengetahui kemungkinan pekerjaan di lingkungan kerja telah menimbulkan gangguan terhadap saluran pernapasan yaitu melalui tes spirometri dengan parameter FEV₁, FVC, %FEV₁, %FVC. Parameter FVC (%) menggambarkan kelainan restriksi, sedangkan parameter FEV₁ (%) menggambarkan kelainan obstruksi. Debu batu kali terhirup yang mengandung partikel silika bersifat *fibrogenik* dan dapat menyebabkan kelainan paru restriktif (Susanto, 2011). Deteksi sitokin serta pemeriksaan kondisi faal paru pada pengrajin batu kali perlu dilakukan sebagai upaya pencegahan yang bertujuan untuk melindungi kesehatan pekerja dari efek lebih lanjut yang diakibatkan oleh paparan debu batu kali.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah di atas, adapun rumusan masalah penelitian ini adalah : “Apakah terdapat pengaruh pajanan debu batu kali terhadap peningkatan kadar TNF- α serum dan penurunan faal paru pada pengrajin batu kali di Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung ?”

1.4 Tujuan Penelitian

1.4.1 Tujuan umum

Menganalisis pengaruh pajanan debu batu kali terhadap peningkatan kadar TNF- α serum dalam darah dan penurunan faal paru pengrajin batu kali di Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung.

1.4.2 Tujuan khusus

Adapun tujuan khusus dalam penelitian ini adalah :

1. Mengidentifikasi karakteristik individu yang meliputi : umur, masa kerja, lama kerja, status gizi, kebiasaan merokok dan penggunaan alat pelindung pernapasan di *home industry* batu kali Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung.
2. Mengukur kadar debu batu kali yang terhirup oleh pengrajin batu kali di Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung.
3. Mengukur kadar TNF- α serum dalam darah pengrajin batu kali di Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung.
4. Mengukur faal paru dengan parameter FEV₁, FVC, %FEV₁, %FVC pada pengrajin batu kali di Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung.
5. Mengidentifikasi keluhan pernapasan pada pengrajin batu kali di Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung.
6. Menganalisis pengaruh kadar debu batu kali terhadap peningkatan kadar TNF- α serum pada pengrajin batu kali di Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung.
7. Menganalisis pengaruh karakteristik individu (umur, masa kerja, lama kerja, status gizi, kebiasaan merokok dan penggunaan alat pelindung pernapasan) dan kadar debu batu kali terhadap peningkatan kadar TNF- α serum pada pengrajin batu kali di Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung.

8. Menganalisis pengaruh kadar debu batu kali terhadap penurunan faal paru (FEV_1 , FVC, $\%FEV_1$ dan $\%FVC$) pada pengrajin batu kali di Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung.
9. Menganalisis pengaruh kadar TNF- α serum terhadap penurunan faal paru (FEV_1 , FVC, $\%FEV_1$ dan $\%FVC$) pada pengrajin batu kali di Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung.
10. Menganalisis pengaruh karakteristik individu (umur, masa kerja, lama kerja, status gizi, kebiasaan merokok dan penggunaan alat pelindung pernapasan), kadar debu batu kali dan peningkatan kadar TNF- α serum terhadap penurunan faal paru (FEV_1 , FVC, $\%FEV_1$ dan $\%FVC$) pada pengrajin batu kali di Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung.
11. Menganalisis pengaruh karakteristik individu (umur, masa kerja, status gizi, kebiasaan merokok dan penggunaan alat pelindung pernapasan), kadar debu batu kali dan kadar TNF- α serum terhadap keluhan pernapasan pada pengrajin batu kali di Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung.

1.5 Manfaat Penelitian

1.5.1 Bagi ilmu pengetahuan

Memberikan informasi mengenai pengaruh pajanan debu batu kali terhadap peningkatan kadar TNF- α serum dalam darah dan penurunan faal paru.

1.5.2 Bagi subyek penelitian

Memberikan informasi tentang pengaruh pajanan debu batu kali terhadap sistem imun dan sistem pernapasan serta cara pencegahannya.

1.5.3 Bagi *home industry* dan pelayanan kesehatan

Memberikan informasi pengaruh pajanan debu batu kali terhadap kesehatan para pekerja, sehingga dapat mengupayakan usaha pencegahan agar tidak terjadi gangguan pada sistem imun, fungsi paru dan keluhan kesehatan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Debu dan Batuan

Pengrajin batu kali merupakan pekerjaan yang memiliki risiko tinggi terhadap terjadinya penyakit paru kerja karena inhalasi debu di lingkungan kerja. Debu adalah partikel zat kimia padat yang disebabkan oleh kekuatan alami atau mekanis seperti pengolahan, penghancuran, pelembutan, pengepakan yang cepat, peledakan, dan lain-lain dari benda baik organik maupun anorganik (Suma'mur, 2013). Menurut *International Standardization Organization* (ISO 4225-ISO, 1994) debu adalah partikel padat kecil yang dapat mengendap berdasar beratnya dan dapat melayang di udara untuk sementara waktu. Sedangkan menurut IUPAC debu memiliki ukuran antara 1-100 μm dan mengendap karena pengaruh gravitasi dapat dihasilkan dari proses alami seperti angin, erupsi gunung berapi maupun dari proses industri seperti penghancuran, penggilingan, pengepakan, pengeboran, pembongkaran, pengayakan, pemindahan barang, pengangkatan dan aktivitas kebersihan (WHO, 2007).

Debu merupakan salah satu bahan yang sering disebut sebagai partikel yang melayang di udara atau *Suspended Particulate Matter* (SPM) dengan ukuran 1 mikron sampai dengan 500 mikron. Beberapa istilah digunakan dengan mengacu pada metode pengambilan sampel udara seperti *Suspended Particulate Matter* (SPM), *Total Suspended Particulate* (TSP) dan *black smoke*. Adapun terdapat istilah lain yang mengacu pada tempat deposit debu di saluran pernapasan

seperti inhalable atau *thoracic particulate* yang berukuran $>5 \mu\text{m}$ terutama mengendap di saluran pernapasan bagian bawah yaitu dibawah pangkal tenggorokan dan *respirable particulate* untuk partikulat yang berukuran sangat kecil ($<5\mu\text{m}$) yang dapat mencapai permukaan alveoli. Istilah lain yang juga digunakan adalah PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$, PM_1 (partikulat debu dengan ukuran diameter aerodinamik $<10 \mu\text{m}$; $2,5 \mu\text{m}$ dan $1 \mu\text{m}$) yang mengacu pada unsur fisiologi maupun metode pengambilan sampel debu.

Menurut Ramdan (2015) partikel debu dapat dibagi atas 3 jenis, yaitu debu organik yang berasal dari makhluk hidup melalui proses pengeringan (debu kapas, debu daun-daunan, debu kayu), debu mineral yang di dalamnya mengandung senyawa kompleks dari proses pembongkaran bangunan, penghancuran batuan, penggerindaan, pemotongan (SiO_2 , SiO_3 , dan arang batu) dan debu metal yang terdapat unsur logam di dalamnya (Pb, Hg, Cd, Arsen).

Partikel debu berada di udara dalam waktu yang relatif lama dalam keadaan melayang di udara kemudian masuk kedalam tubuh manusia melalui pernapasan. Selain dapat membahayakan terhadap kesehatan juga dapat mengganggu daya tembus pandang mata dan dapat mengadakan berbagai reaksi kimia sehingga komposisi debu di udara menjadi partikel yang sangat rumit karena merupakan campuran dari berbagai bahan dengan ukuran dan bentuk yang relatif berbeda (Suma'mur, 2013).

Debu yang berukuran antara 5-10 mikron apabila terhirup maka akan tertahan dan tertimbun pada saluran napas bagian atas, sedangkan debu yang berukuran antara 3-5 mikron tertahan dan tertimbun pada saluran nafas bagian

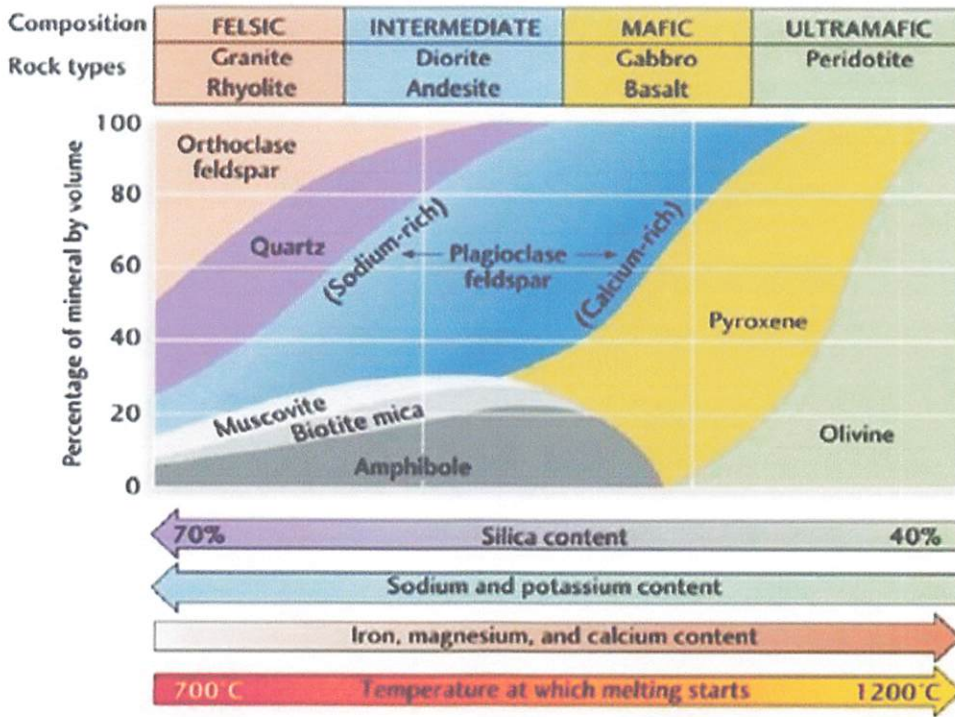
tengah. Partikel debu dengan ukuran 1-3 mikron yang disebut dengan debu *respirable* merupakan partikel paling berbahaya karena tertahan dan tertimbun mulai dari *bronkiolus terminalis* sampai alveoli (WHO, 2007). Debu dengan ukuran kurang dari 1 mikron tidak mudah mengendap di alveoli, debu yang ukurannya antara 0,1-0,5 mikron berdifusi dengan gerak *Brown* keluar masuk alveoli, dan apabila membentur alveoli maka dapat tertimbun di tempat tersebut (WHO, 2007).

Berdasarkan proses terjadinya, batuan dapat dibedakan menjadi tiga bentuk yaitu batuan beku, sedimen dan *metamorf*. Batuan beku atau sering disebut *igneous rocks* adalah batuan yang terbentuk dari satu atau beberapa mineral dan terbentuk akibat pembekuan dari magma. Berdasarkan teksturnya batuan beku dapat dibedakan menjadi batuan beku *plutonik* dan *vulkanik*. Perbedaannya yaitu diklasifikasikan berdasarkan mineral penyusunnya. Batuan beku *plutonik* pada umumnya terbentuk dari pembekuan magma yang relatif lebih lambat sehingga mineral penyusunnya relatif besar. Contoh batuan beku *plutonik* antara lain : gabro, diorit, dan granit yang sering digunakan sebagai hiasan rumah. Sedangkan batuan beku jenis *vulkanik* terbentuk dari pembekuan magma yang sangat cepat yaitu akibat letusan dari gunung berapi sehingga mineral penyusunnya lebih kecil. Contohnya adalah basalt dan andesit yang sering digunakan untuk membuat pondasi rumah.

Batuan sedimen atau sering disebut *sedimentary rocks* adalah batuan yang terbentuk akibat proses pembatuan atau *litifikasi* dari hasil proses pelapukan dan erosi yang kemudian tertransportasi dan seterusnya terendapkan. Batuan sedimen

digolongkan menjadi beberapa bagian diantaranya batuan sedimen klastik, batuan sedimen kimia, dan batuan sedimen organik. Batuan sedimen klastik terbentuk melalui proses pengendapan dari material yang mengalami proses transportasi. Besar butir dari batuan sedimen klastik bervariasi mulai dari ukuran lempung sampai dengan ukuran bongkah. Biasanya batuan tersebut menjadi batuan penyimpan hidrokarbon (*reservoir rocks*) atau bisa juga menjadi batuan induk sebagai penghasil hidrokarbon (*source rocks*). Contoh dari batuan sedimen klastik antara lain batu konglomerat, batu kali (*sandstone*) dan batu lempung. Batuan sedimen kimia terbentuk melalui proses presipitasi dari larutan. Biasanya batuan tersebut menjadi batuan pelindung (*seal rocks*) hidrokarbon dari migrasi. Contohnya antara lain : anhidrit dan batu garam (*salt*). Batuan sedimen organik terbentuk dari gabungan sisa makhluk hidup. Batuan ini biasanya menjadi batuan induk (*source*) atau batuan penyimpan (*reservoir*), contohnya adalah batu gamping terumbu (Noor, 2012).

Batuan *metamorf* atau batuan malihan adalah batuan yang terbentuk akibat proses perubahan temperatur atau tekanan dari batuan yang telah ada sebelumnya. Akibat bertambahnya temperatur atau tekanan, batuan sebelumnya akan berubah tekstur dan strukturnya sehingga membentuk batuan baru dengan tekstur dan struktur yang baru pula. Contoh batuan tersebut adalah batu sabak atau *slate* yang merupakan perubahan batu lempung, batu marmer yang merupakan perubahan dari batu gamping, serta batu kuarsit yang merupakan perubahan dari batu pasir (Noor, 2012). Gambar 2.1 menjelaskan komposisi kandungan mineral berdasarkan jenis batuan (Noor, 2012).



Gambar 2.1 Komposisi Kandungan Mineral dalam Berbagai Jenis Batuan
 Sumber : Noor, 2012

2.2 Batu Kali dan Debu Batu Kali

Batu kali merupakan jenis batuan sedimen dalam golongan *sandstone* yang terbentuk oleh pengendapan material di permukaan bumi dan badan air seperti pada sungai dan laut (Noor, 2012). Sebagian besar komposisi dari batu kali atau *sandstone* adalah mineral silika (64,18-92,68%) sedangkan komponen lainnya yaitu CaO (0,002%-0,005%), Al₂O₃ (11,65-25,04%) dan kandungan lumpur (>15%) (Yulianti *et al.*, 2016). Menurut Pettijohn *et al* (2014) kandungan kristal silika pada batu kali sangat tinggi yaitu ≥95%. Uji *X-Ray Fluorescence* (XRF) telah dilakukan oleh Saadi *et al.*, (2017) untuk mempelajari kandungan mineral dari batu kali dengan hasil sebagai berikut :

Tabel 2.1 Kandungan Mineral Batu Kali

Komponen	Konsentrasi (%)
Silica (SiO ₂)	99,451
Aluminium Oxide (Al ₂ O ₃)	0,246
Iron III Oxide (Fe ₂ O ₃)	0,056
Calcium Oxide (CaO)	0,052
Sodium Oxide (Na ₂ O)	0,035
Sulphur Trioxide (SO ₃)	0,033
Titanium Dioxide (TiO ₂)	0,031
Chloride (Cl)	0,023
Magnesium Oxide (MgO)	0,023
Phosphorous Pentoxide (P ₂ O ₆)	0,019
Potassium Oxide (K ₂ O)	0,014

Sumber : J Pet Environ Biotechnol (2017)

Berdasarkan tabel diatas, batu kali sebagian besar mengandung mineral silika (99,451%). Mengingat debu dari bahan ini mengandung kristal silika yang tinggi maka apabila debu silika masuk kedalam paru akan menyebabkan kelainan yang diakibatkan oleh penumpukan debu dalam jaringan paru seperti *pneumoconiosis silikosis*. Sifat toksisitas debu menentukan reaksi jaringan yang terjadi pada *pneumokoniosis*. Debu silika dan asbes mempunyai efek biologis yang sangat kuat. Reaksi parenkim berupa fibrosis nodular merupakan contoh klasik dari *silikosis* (Susanto, 2011).

Debu batu kali dihasilkan dari kekuatan mekanis yang diakibatkan oleh adanya proses produksi dan merupakan debu golongan anorganik. Ukuran partikel yang dihasilkan yaitu dibawah 2,5 mikron (*respirable dust*) dimana jika dilihat dari sifatnya termasuk dalam *profliferate dust*, yaitu golongan debu didalam jaringan paru akan membentuk jaringan parut (*fibrosis*), yang dapat menyebabkan

pengerasan pada jaringan alveoli, sehingga akan mengganggu kapasitas paru (Yulaekah, 2007).

Aktivitas kegiatan yang rutin dilakukan pengrajin batu kali meliputi pengeboran, penggerindaan, penghalusan dan pengangkutan dapat menyebabkan pekerja berpotensi menghirup debu dengan ukuran partikel kecil dibawah 2,5 mikron dan mengandung kristal silika. Ketika menghirup debu yang mengandung silika, partikel ini menembus mekanisme pertahanan tubuh dan mencapai bagian alveolar paru. Partikel silika yang terdeposit di alveolar merangsang terjadinya proses inflamasi dan reaksi *toksitas* yang berkembang menjadi gejala klinis penyakit *silikosis*. Bentuk gejala penyakit *silikosis* yang ditimbulkan dapat beragam dan semakin berkembang tergantung pada konsentrasi kristal silika yang terhirup dan durasi terpaparnya pekerja dengan silika (Schulte *et al.*, 2002).

2.3 Kandungan Silika Pada Batu Kali

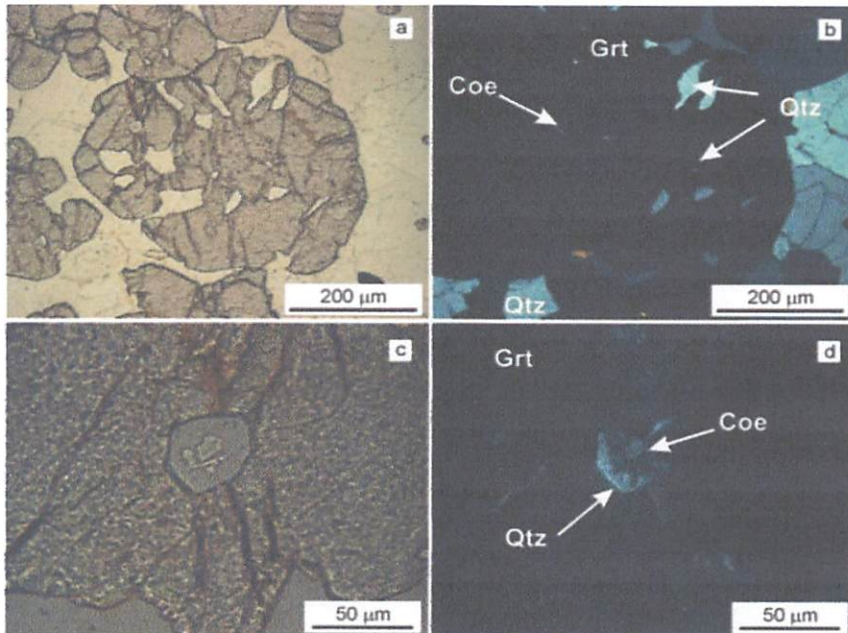
Silika adalah nama lain untuk senyawa kimia yang tersusun dari silikon dan oksigen dengan rumus kimia SiO_2 , atau silikon dioksida. Silika mempunyai berbagai macam bentuk. Semua bentuk silika identik dengan komposisi kimia, namun memiliki susunan atom yang berbeda. Senyawa silika dapat dibagi menjadi dua kelompok, silika kristalin (c-silika) dan silika amorf (a-silika atau non-kristalin silika). Semua bentuk silika adalah padatan tidak berbau yang terdiri dari atom silikon dan oksigen. Partikel silika tersuspensi di udara dan berbentuk debu yang tidak eksplosif. Silika dapat dikombinasikan dengan unsur logam lainnya dan oksida untuk membentuk silikat. Silika banyak didapatkan di alam dan ketersediaanya melimpah dan memiliki banyak kegunaan. Wujud silika bebas

(SiO₂) adalah debu halus (padat) berdiameter 0,02 sampai 0,08 μm dengan densitas 2,65 g/cm³ pada suhu 0°C. Silika bebas merupakan bentuk silika kristalin. Silika kristalin mempunyai struktur kristal yang teratur dan sama dalam tiga dimensi (Suhariyono, 2006). Adapun sifat fisika dari silika adalah sebagai berikut (Brownell *et al.*, 1983):

Nama IUPAC	: Silikon dioksida
Nama lain	: Kuarsa, Silika, Silikat oksida, Silikon (IV) oksida
Rumus molekul	: SiO ₂
Massa molar	: 60,08 g mol ⁻¹
Penampilan	: Kristal transparan
Kepadatan	: 2,648 g cm ⁻³
Titik lebur	: 1600-1725 °C
Titik didih	: 2230 °C
Bentuk	: Silika ditemukan di alam dalam berbagai bentuk, antara lain quartz, trydimite, dan cristobalite. Akan tetapi pada umumnya silika yang ditemukan berada dalam bentuk quartz karena sulit mengalami erosi. Apabila quartz dipanaskan hingga 870 °C, struktur silika berubah menjadi trymidite dan apabila trymidite dipanaskan hingga 1470 °C, maka struktur silika berubah menjadi cristobalite.

Lebih dari 95% kerak bumi terbuat dari mineral yang mengandung mineral dan c-silika. Kuarsa merupakan salah satu bentuk c-silika yang biasa ditemukan di lingkungan. Sekitar 12% kerak bumi adalah kuarsa. Jenis kristal silika yang terkandung dalam batu kali adalah *quartz silica* atau kuarsa dengan

ukuran 0,5 mikron yang dihasilkan dari proses penggerindaan dimana dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.2 Gambaran *Quartz Silica* Pada Batu Kali
Sumber : European Journal of Mineralogy (2009)

2.4 Cara Pengukuran Debu

Terdapat 3 cara pengukuran kadar debu di udara yang semuanya mempunyai metode yang sama. Adapun metode yang digunakan adalah gravimetri yaitu dengan melewati udara dalam volume tertentu melalui serat *glass/glass fiber*/kertas saring (Lange, 2008).

1. *High Volume Air Sampler* (HVAS)

Cara ini dikembangkan sejak tahun 1948 menggunakan filter berbentuk segi empat seukuran kertas A4 yang mempunyai porositas 0,3-0,45 µm. Prosedur kerja alat ini adalah udara ambien dihisap dengan pompa hisap berkecepatan 1000-1500 lpm. Partikel debu dengan diameter 0,1 sampai 100 mikron akan masuk bersamaan aliran udara dan terkumpul pada permukaan saringan serat

glas. Metode ini dapat digunakan untuk mengambil contoh udara selama 24 jam. Pengukuran metode ini untuk penentuan sebagai *Total Suspended Particulate* (TSP).

2. *Low Volume Air Sampler* (LVAS)

Cara ini menggunakan filter berbentuk bulat dengan porositas 0,3-0,45 μm . Prosedur kerja alat ini adalah udara ambien dihisap dengan menggunakan pompa hisap berkecepatan 10-30 lpm untuk penangkapan *Suspensi Particulate Matter* (SPM). Berat debu dapat diketahui dengan menghitung berat kertas saring sebelum dan sesudah pengukuran.

3. *Personal Dust Sampler* (PDS)

Personal Dust Sampler adalah suatu alat yang biasa digunakan untuk menentukan banyaknya *respirable dust* di udara atau debu dengan ukuran dibawah 2,5 mikron yang dapat lolos melalui filter bulu hidung manusia selama bernapas. Metodenya adalah gravimetri atau melewatkan udara melalui kertas saring dengan cara mengatur *flow rate* dengan kecepatan 2 liter/menit. Alat ini biasanya digunakan pada lingkungan kerja dan dipasangkan pada pinggang tenaga kerja. Alatnya berukuran kecil (Lange, 2008).

2.5 Anatomi dan Fisiologi Pernapasan

Menurut Guyton (2010) secara fungsional (faal) saluran pernafasan dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu :

1. Zona konduksi

a. Hidung

Rambut, zat *mucus* serta silia yang bergerak ke arah faring berperan

sebagai sistem pembersih pada hidung. Fungsi pembersih udara ini juga ditunjang oleh konka nasalis yang menimbulkan turbulensi aliran udara sehingga dapat mengendapkan partikel dari udara yang seterusnya akan diikat oleh zat *mucus*. Sistem turbulensi udara ini dapat mengendapkan partikel yang berukuran lebih besar dari 4 mikron.

b. Faring

Faring merupakan bagian kedua dan terakhir dari saluran pernapasan bagian atas. Faring terbagi atas tiga bagian yaitu nasofaring, orofaring, serta laringofaring.

c. Trakea

Trakea berarti pipa udara. Trakea dapat juga dijuluki sebagai *escalator mukosiliaris* karena silia pada trakea dapat mendorong benda asing yang terikat zat *mucus* kearah faring yang kemudian dapat ditelan atau dikeluarkan. Silia dapat dirusak oleh bahan beracun yang terkandung dalam asap rokok.

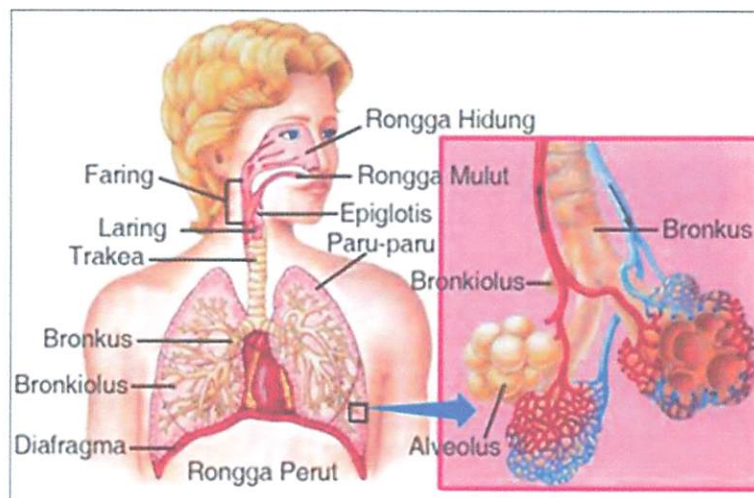
d. Bronki dan bronkioli

Struktur bronki primer masih serupa dengan struktur trakea, akan tetapi mulai bronki sekunder, perubahan struktur mulai terjadi. Pada bagian akhir dari bronki, cincin tulang rawan yang utuh berubah menjadi lempengan. Pada bronkioli terminalis struktur tulang rawan menghilang dan saluran udara pada daerah ini hanya dilingkari oleh otot polos. Struktur semacam ini menyebabkan bronkioli lebih rentan terhadap penyempitan yang dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Bronkioli

mempunyai silia dan zat *mucus* sehingga berfungsi sebagai pembersih udara. Agen di alveoli ditangkap oleh sel makrofag yang terdapat pada alveoli, kemudian dibawa oleh lapisan mukosa dan selanjutnya dibuang.

2. Zona respiratorik

Zona respiratorik terdiri dari alveoli, dan struktur yang berhubungan. Pertukaran gas antara udara dan darah terjadi dalam alveoli. Selain struktur diatas terdapat pula struktur yang lain, seperti bulu pada pintu masuk yang penting untuk menyaring partikel yang masuk. Sistem pernafasan memiliki sistem pertahanan tersendiri dalam melawan setiap bahan yang masuk yang dapat merusak.



Gambar 2.3 Penampang Saluran Pernapasan Manusia

Sumber: Tualeka (2013)

Saluran pernafasan adalah jalur masuk udara ke dalam tubuh. Saluran pernafasan merupakan satu dari tiga gerbang utama yang menghubungkan ‘luar’ tubuh dengan ‘dalam’ tubuh (dua lainnya adalah saluran pencernaan dan saluran perkemihan). Proses respirasi melibatkan banyak interaksi udara luar, pada saat inspirasi, udara tertarik ke dalam paru karena ekspansi rusuk bersamaan dengan turunnya diafragma (pada pernafasan normal diafragma turun sekitar 1 cm, saat

bernafas berat, diafragma bisa turun 10 cm) ketika paru meluas, tekanan diluar tubuh lebih tinggi dari pada tekanan di dalam paru. Aliran udara dari daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah serta ke dalam paru melalui sistem saluran yang berawal di rongga mulut dan rongga hidung. Aliran udara kemudian mengalir melalui trakea dan masuk ke bronki (bronki meruakan dua pembuluh besar yang terletak di tiap paru). Terakhir, dari bronki utama terdapat bronki yang lebih kecil dan brokiolus kecil, seperti percabangan dan ranting yang berasal dari batang kayu (Syamsudin, 2013).

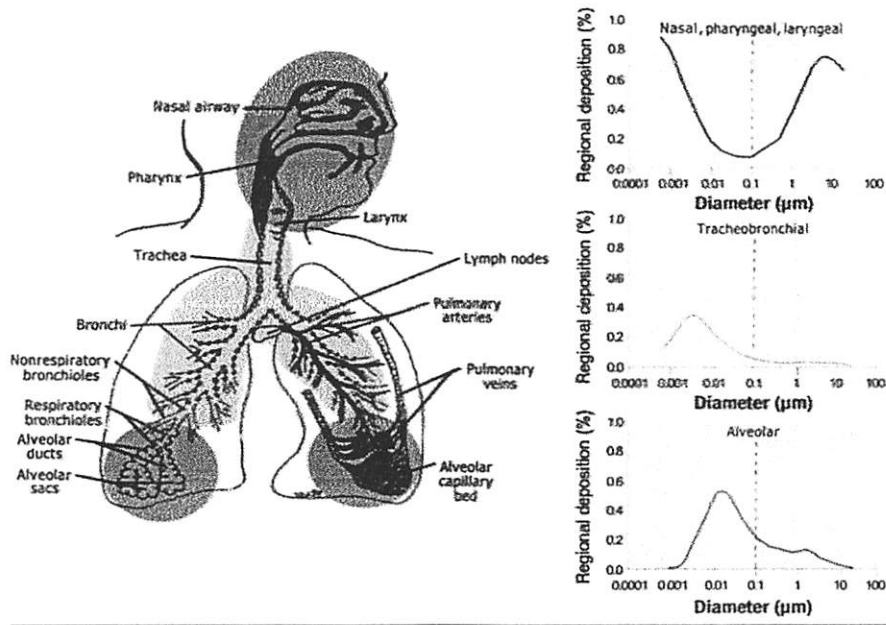
Setelah sampai di bronkiolus, udara masih harus membongkar muatan oksigennya. Awal dari tugas ini dilakukan oleh kantong kecil yang dapat mengembang dan berdinding tebal, disebut alveolus (atau alveoli dalam bentuk jamak). Diperkirakan ada 300 juta kantong udara yang berukuran kecil pada orang dewasa. Alveoli merupakan kumpulan jaringan paru, zat yang ada di dalamnya membuat paru menjadi lembut dan seperti spons. Ketika paru melebar atau berkontraksi, maka alveoli lah yang sebenarnya melebar atau berkontraksi dan dari alveoli pula darah menerima oksigen (Syamsudin, 2013).

2.6 Mekanisme Pajanan Debu

Paru merupakan organ sistem respirasi yang berfungsi sebagai tempat pertukaran udara. Kualitas udara yang terinhalasi sangat berpengaruh terhadap faal paru. Bila udara tercemar, partikel polutan akan terinhalasi dan sebagian mengendap di alveoli. Debu yang mengendap di alveoli menyebabkan menyebabkan kerusakan dinding alveoli, dan merupakan salah satu faktor predisposisi gangguan fungsi paru baik yang bersifat reversibel maupun

ireversibel. Toksin yang masuk ke dalam tubuh dengan cara absorpsi. Absorpsi toksin adalah proses masuknya toksin ke dalam tubuh (Tualeka, 2013). Setelah mengalami perjalanan panjang dalam lingkungan maka toksikan akhirnya secara umum akan masuk kedalam tubuh manusia melalui jalur pencernaan (*ingestion*), pernapasan (*inhalation*) dan kontak dengan kulit (*dermal*). Namun, secara khusus dengan rekayasa manusia sendiri, toksikan dapat pula masuk ke dalam tubuh dengan jalan *intravenous*, *intrapertoneal*, *subcutaneous* dan *intramuscular* (Mukono, 2010). Absorpsi melalui saluran pernapasan tergantung kecepatan aliran darah paru, sifat kepolaran gas serta ukuran partikel. Tipisnya dinding paru (selapis sel alveoli) yang berhadapan dengan dinding kapiler darah dan luasnya permukaan paru maka absorpsi melalui paru berjalan dengan cepat.

Ketika menghirup napas, udara yang mengandung debu masuk kedalam paru. Keadaan debu di dalam saluran pernapasan sangat tergantung kepada ukuran debu. Berdasarkan ukuran debu dibedakan menjadi debu non respirabel dan debu respirabel. Debu non respirabel berukuran $>10 \mu\text{m}$ akan terdeposit pada saluran pernapasan atas, sedangkan debu respirabel berukuran $<2,5 \mu\text{m}$ berpotensi besar terdeposit sampai pada alveolus. Debu respirabel terutama yang berukuran kurang dari $0,1 \mu\text{m}$ tidak mudah mengendap pada permukaan alveoli karena memiliki massa yang terlalu kecil. Pada alveoli terjadi gerakan *brown* yang menyebabkan debu yang berukuran kurang dari $0,1 \mu\text{m}$ bergerak secara tidak beraturan keluar masuk alveoli (Suma'mur, 2013).



Gambar 2.4 Deposisi Partikel Menurut Ukuran
Sumber: IARC Tahun 1995

Mekanisme deposisi debu pada saluran pernapasan terdapat beberapa cara sebagai berikut (Morgan, 1995) :

1. *Sedimentation*

Sedimentasi partikel yang masuk ke saluran pernapasan karena gaya gravitasi. Partikel yang mengendap tergantung pada densitas dan ukurannya, semakin besar partikel maka akan semakin cepat juga kemampuan mengendap.

2. *Inertial impaction*

Yaitu terbenturnya debu di percabangan bronkus dan jatuh pada percabangan yang kecil. Deposisi debu dipengaruhi oleh kecepatan aliran udara dan berat debu, dimana aliran udara dipengaruhi oleh pola pernapasan. Aliran udara yang meningkat cenderung menyebabkan impaksi lebih besar, terutama pada partikel berukuran besar.

3. *Brown diffusion*

Yaitu gerakan acak yang terjadi pada partikel yang berukuran lebih kecil <10 μm , terjadi dibagian alveolus. Alveolus merupakan tempat pertukaran udara sehingga debu yang berukuran kecil bergerak secara bebas.

4. *Electrostatic*

Terjadi karena saluran napas di lapisi mukus yang merupakan konduktor yang baik secara elektrostatis. Mekanisme electrostatic sangat jarang terjadi.

5. *Interception*

Yaitu pengendapan yang berhubungan dengan sifat fisik partikel berupa ukuran partikel, dan penting untuk mengetahui proses pengendapan partikel tertentu jenis fiber. Contohnya debu kapas dan debu asbes yang memiliki serat.

6. Eliminasi partikel

Eliminasi partikel dari saluran pernapasan selain melalui *mucociliary escalator*, proses absorpsi dan reflek batuk juga dapat melalui proses fagositosis oleh makrofag.

7. Detoksifikasi

Proses fagositosis oleh makrofag dapat dihambat pada keadaan dimana sel jaringan atau organ tubuh mengalami defisiensi oksigen. Kondisi ini dapat terjadi pada penyakit obstruksi pernapasan yang menahun.

8. Pneumokoniosis

Merupakan perubahan yang terjadi pada jaringan paru yang bersifat permanen sebagai akibat dari inhalasi debu mineral dan reaksi jaringan paru terhadap debu tersebut.

Sedimentasi dan impaksi adalah mekanisme paling penting yang berhubungan dengan terhirupnya debu, karena proses tersebut dipengaruhi oleh ukuran partikel. Terdapat perbedaan jumlah partikel debu yang terdeposit pada area yang berbeda (WHO, 1999). Inertia atau kelambanan dari partikel-partikel debu yang bergerak pada waktu udara membelok melalui jalan pernapasan yang tidak lurus, maka debu yang memiliki massa cukup besar tidak dapat membelok mengikuti aliran udara, namun jalan terus dan menumbuk selaput lendir dan mengendap disana. Mekanisme lainnya adalah sedimentasi yang terjadi pada bronkus dan bronkiolus. Kecepatan udara pada tempat tersebut sangat kurang yaitu 1 cm/detik sehingga debu dengan pengaruh gaya gravitasi akan terdeposit. Mekanisme lainnya yaitu gerakan *brown*, yang dapat terjadi pada partikel yang berukuran kurang dari 0,1 mikron. Partikel kecil ini digerakkan oleh gerakan *brown* sehingga ada kemungkinan membentur permukaan alveoli dan terdeposit (Suma'mur, 2013).

2.7 Mekanisme Pembersihan Debu di Saluran Pernapasan

Menurut WHO (1999), debu yang mengalami deposisi akan mengalami beberapa proses pembersihan, antara lain secara mekanis, melalui *Mucociliary clearance* dan secara fagositosis :

1. Mekanis

Menurut Murray dan Lopez (2006) dalam Ramdan (2015), pembersihan debu pada saluran pernapasan secara mekanik adalah suatu pertahanan yang dilakukan dengan menyaring partikel yang ikut terhirup dan masuk saluran pernapasan. Penyaringan berlangsung di hidung, nasofaring dan saluran napas

bagian bawah yaitu bronkus dan bronkiolus. Di hidung penyaringan dilakukan oleh silia yang terdapat di lubang hidung, sedangkan di bronkus dilakukan oleh reseptor yang terdapat pada otot polos dan dapat berkonstraksi apabila ada iritasi. Apabila rangsangan yang terjadi berlebihan, akan timbul gerakan peristaltik pada bronkiolus yang memberikan reaksi berupa bersin atau batuk sehingga dapat mengeluarkan benda asing termasuk partikel debu.

2. *Mucociliary clearance*

Pada bagian trakea dan bronkus hingga bronkiolus terminalis memiliki sel epitel yang tertutup oleh lapisan mucus/lendir dan di atasnya terdapat silia. Debu yang terdeposit selama 24–48 jam pada bagian trakea, bronkus hingga bronkiolus terminalis akan digerakkan oleh silia menuju epiglotis atas. Gerakan silia terjadi secara terus menerus menyapu ke bagian saluran pernapasan atas dan saling bersinkronisasi dengan kecepatan 5-10 mm/menit.

3. Fagositosis dan inflamasi

Pada alveolus tidak memiliki epitel yang bersilia. Debu akan mengalami fagositosis oleh makrofag dan terdapat 3 tahap, yaitu :

- a. Debu yang difagosit akan dipindahkan pada epitel yang bersilia untuk selanjutnya digerakkan menuju saluran pernapasan atas
- b. Debu akan menetap pada paru
- c. Debu dapat masuk melalui saluran limfatik.

4. Mekanisme respon imun

Mekanisme ini berhubungan dengan upaya pengenalan dan upaya merespon antigen spesifik yang dikarenakan paru sering kontak dengan debu (Djojodibroto, 2014).

2.8 Gangguan Kesehatan Akibat Debu

Dampak paparan debu terhadap kesehatan manusia tidak sama, hal ini tergantung pada faktor debu, lama paparan dan faktor tenaga kerjanya sendiri. Faktor debu meliputi komposisi debu, ukuran partikel, bentuk, konsentrasi, daya larut dan sifat kimiawi. Faktor individual terdiri dari mekanisme pertahanan paru, anatomi dan fisiologi saluran napas dan faktor imunologis (Ramdan, 2015). Debu yang masuk ke dalam saluran napas, menyebabkan timbulnya reaksi mekanisme pertahanan nonspesifik dan spesifik. Reaksi non spesifik berupa batuk, bersin, gangguan transport mukosilier dan fagositosis oleh makrofag. Otot polos di sekitar jalan napas dapat terangsang sehingga menimbulkan penyempitan. Keadaan ini terjadi biasanya bila kadar debu melebihi nilai ambang batas. Sistem mukosilier juga mengalami gangguan dan menyebabkan produksi lendir bertambah. Jumlah lendir yang semakin banyak atau mekanisme pengeluarannya tidak sempurna terjadi obstruksi saluran napas sehingga resistensi jalan napas meningkat. Partikel debu yang masuk ke dalam alveoli akan membentuk fokus dan berkumpul di bagian awal saluran limfe paru (Ramdan, 2015).

Selain reaksi non spesifik debu juga dapat menimbulkan reaksi spesifik, apabila debu yang masuk dalam tubuh bersifat toksik terhadap makrofag seperti debu silika menyebabkan terjadi autolisis. Makrofag yang lisis bersama silika

merangsang terbentuknya makrofag baru. Makrofag baru memfagositosis silika tadi sehingga terjadi autolisis yang berulang-ulang. Pembentukan dan destruksi makrofag yang terus menerus berperan penting pada pembentukan jaringan ikat kolagen dan pengendapan hialin pada jaringan ikat tersebut. Fibrosis terjadi pada parenkim paru, yaitu pada dinding alveoli dan jaringan interstisial. Akibat fibrosis paru menjadi kaku, menimbulkan gangguan pengembangan paru yaitu kelainan fungsi paru yang restriktif (Ramdan, 2015).

Gangguan kesehatan akibat paparan debu yang muncul paling awal biasanya ditandai adanya keluhan pernapasan yang dirasakan oleh pekerja. Keluhan pernapasan adalah keluhan awal terjadinya gangguan pada saluran napas akibat paparan polutan di udara. Sedangkan yang dimaksud dengan saluran napas adalah organ pernapasan mulai dari hidung sampai alveoli paru (Alssagaff, 2005).

2.9 Pneumokoniosis

2.9.1 Definisi pneumokoniosis

Berdasarkan *International Labour Organization* (ILO), yang dimaksud dengan pneumokoniosis yaitu suatu kelainan yang terjadi akibat penumpukan debu dalam paru yang menyebabkan reaksi jaringan terhadap debu tersebut. Reaksi utama akibat pajanan debu di paru adalah fibrosis (Susanto, 2011).

2.9.2 Penyebab pneumokoniosis

Penyebab dari pneumokoniosis adalah inhalasi debu mineral, seperti yang diakibatkan oleh pajanan debu anorganik misalnya silika (*silikosis*), asbes (*asbestosis*), timah (*stannosis*) dan batubara. Pneumokoniosis juga digunakan untuk menyatakan keadaan dimana terjadi kelainan akibat dari pajanan debu

organik seperti kapas (*bysinosis*). Adapun gejala yang sering ditimbulkan sebelum kelainan radiologis antara lain : batuk produktif yang menetap dan sesak nafas saat beraktivitas (Susanto, 2011).

2.9.3 Patogenesis pneumokoniosis

Faktor utama yang berperan pada patogenesis pneumokoniosis adalah partikel debu dan respons tubuh khususnya saluran napas terhadap partikel debu tersebut. Komposisi kimia, sifat fisis, dosis dan lama pajanan menentukan dapat atau mudah tidaknya terjadi pneumokoniosis. Patogenesis pneumokoniosis dimulai dari respons makrofag terhadap debu yang masuk ke unit respirasi. Terjadi fagositosis debu oleh makrofag dan proses selanjutnya sangat tergantung pada sifat toksisitas partikel debu.

Reaksi jaringan terhadap debu bervariasi menurut aktivitas biologi debu. Jika pajanan terhadap debu anorganik cukup lama maka timbul reaksi inflamasi awal. Gambaran utama inflamasi ini adalah pengumpulan sel di saluran napas bawah. Alveolitis dapat melibatkan bronkiolus bahkan saluran napas besar karena dapat menimbulkan luka dan fibrosis pada unit alveolar yang secara klinis tidak diketahui. Debu inert akan tetap berada di makrofag sampai terjadi kematian oleh makrofag karena umurnya, selanjutnya debu akan keluar dan difagositosis lagi oleh makrofag lainnya, makrofag dengan debu di dalamnya dapat bermigrasi ke jaringan limfoid atau ke bronkiolus dan dikeluarkan melalui saluran napas. Pada debu yang bersifat sitotoksik, partikel debu yang difagositosis makrofag akan menyebabkan kehancuran makrofag tersebut yang diikuti dengan fibrositis.

Bentuk kelainan yang terjadi pada pekerja biasanya berupa peradangan dan pembentukan jaringan fibrosis. Debu yang berukuran 0,1-10 mikron mudah terhirup pada saat kita bernapas. Debu yang berukuran lebih dari 5 mikron akan mengendap disaluran napas bagian atas. Debu berukuran 3-5 mikron akan menempel disaluran napas bronkiolus, sedangkan yang berukuran 1-3 mikron akan sampai ke alveoli. Debu tersebut masuk kedalam paru, dan akan terdistribusikan di saluran napas dan menimbulkan reaksi sistem pertahanan tubuh sebagai respon terhadap debu tersebut. Reaksi yang ditimbulkan juga bergantung terhadap komposisi kimia, sifat fisik, dosis dan lama pajanan yang menentukan dapat atau mudah tidaknya terjadi pneumokoniosis. Timbulnya reaksi debu terhadap jaringan membutuhkan waktu yang cukup lama, dimana pada beberapa penelitian didapatkan sekitar 15-20 tahun.

2.9.4 Jenis pneumokoniosis

Debu merupakan salah satu bentuk pencemaran udara yang umum dijumpai di lingkungan, terutama di daerah industri. Debu yang berasal dari industri sebagian besar berukuran kecil dibawah 2,5 mikron. Semakin kecil ukurannya makin aktif secara kimia.

Penamaan pneumokoniosis tergantung dari debu yang menjadi penyebabnya, pajanan asbes menyebabkan asbestosis, debu silika berhubungan dengan silikosis, debu batubara menyebabkan pneumokoniosis batubara. Adapun beberapa jenis pneumokoniosis berdasarkan jenis debu penyebabnya dapat diketahui pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Beberapa Jenis Pneumokoniosis Berdasarkan Debu Penyebab

Jenis Debu	Pneumokoniosis
Asbes	Asbestosis
Silika	Silikosis
Batubara	Pneumokoniosis batubara
Besi	Siderosis
Berilium	Beriliosis
Timah	Stanosis
Talk	Talkosis

Sumber : Susanto (2011)

2.10 Silikosis

Silikosis merupakan penyakit paru kerja karena inhalasi, retensi dan reaksi paru terhadap silikon dioksida (partikel $<10 \mu\text{m}$), yang secara umum lebih dikenal dengan silika, dalam bentuk kristal, biasanya *quartz*, termasuk bentuk lainnya yaitu *crystalite* dan *tridimit*. Silikosis merupakan penyakit fibrosis pada paru (NIOSH, 2002; Petsonk dan Parker, 2008). Dosis debu yang mengandung silika mungkin merupakan faktor penting berkembangnya silikosis. Dosis yang dimaksud adalah konsentrasi debu yang mengandung silika respirabel pada udara tempat kerja dan persentase silika yang dapat dihirup dari total debu. Faktor penting lain, yaitu ukuran partikel, bentuk silika kristal atau bukan kristal, durasi pajanan debu, dan periode waktu dari pertama kali terpajan hingga terdiagnosis (dari beberapa bulan hingga lebih dari 30 tahun) (NIOSH, 2002).

Pekerja yang terpajan silika dapat berkembang menjadi beberapa bentuk silikosis, bergantung pada intensitas pajanan, periode laten, dan perjalanan alamiah (Petsonk dan Parker, 2008). Silikosis umumnya muncul sebagai suatu fibrosis paru nodular dan difus. Tipe silikosis antara lain (Salawati, 2017):

1. Silikosis akut, dimana tipe ini jarang terjadi tetapi bersifat sangat fatal akibat pajanan silika dalam jumlah yang sangat besar dalam waktu yang lebih

pendek terutama partikel debu yang mengandung konsentrasi tinggi silika *quartz*. Jaringan paru dalam kondisi sangat meradang dan terisi oleh cairan sehingga timbul sesak napas yang hebat dan kadar oksigen darah yang rendah.

2. Silikosis akselerasi, terjadi sekitar 5 hingga 15 tahun setelah terpajan debu dengan kandungan silika kristal yang tinggi. Terdapat peradangan, pembentukan jaringan parut dan gejala terjadi lebih cepat. Silikosis akselerasi berhubungan dengan gangguan autoimun.
3. Silokosis kronis, terjadi setelah terpajan sejumlah kecil debu silika dalam jangka lebih dari 10 tahun. Nampak nodul peradangan kronis dan jaringan parut akibat silika terbentuk di jaringan paru dan kelenjar getah bening di dada.

2.10.1 Gambaran klinis silikosis

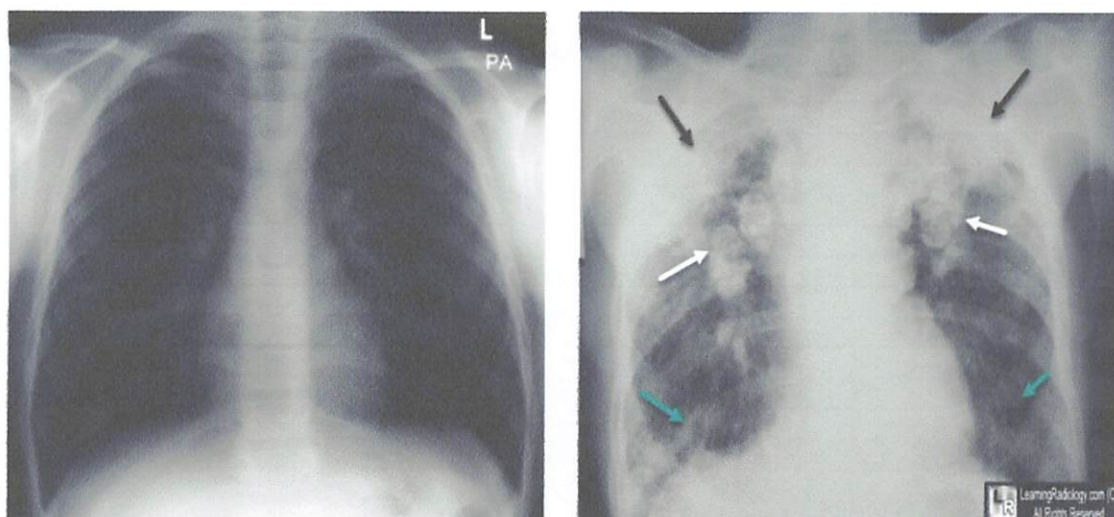
Gejala silikosis adalah sesak napas, awalnya muncul saat aktivitas, seiring dengan berkurangnya fungsi paru, sesak dapat muncul saat istirahat. Progresifitas sesak napas terjadi dengan timbulnya komplikasi seperti tuberkulosis, obstruksi saluran napas, fibrosis masif progresif, atau *cor pulmonale*. Batuk produktif merupakan gejala sekunder dari bronkitis kronis karena pajanan debu, atau merokok. Batuk juga dapat disebabkan tekanan massa yang besar dari limfonodi silikotik pada trakea atau bronkus utama. Batuk darah ditemukan pada bentuk yang terkomplikasi infeksi mikobakteri atau neoplasma paru. Mengi dan rasa berat di dada merupakan bagian dari penyakit saluran napas obstruktif atau bronkitis. Gejala sistemik seperti demam dan penurunan

berat badan dapat dikaitkan dengan neoplasma atau infeksi mikobakterium. Silikosis juga dapat menyebabkan gagal napas progresif dengan atau tanpa *cor pulmonale* (Petsonk dan Parker, 2008; *Occupational Safety and Health Administration*, 2010).

2.10.2 Gambaran radiologis silikosis

Tanda radiologis silikosis tanpa komplikasi adalah opasitas bulat dan kecil. Gambaran ini dapat dikategorikan menggunakan klasifikasi radiografi pneumokoniosis *International Labour Organization* (ILO) berdasarkan ukuran, bentuk, dan kategori profusi. Sebelum intepretasi, kualitas foto harus baik. Kemudian opasitas kecil dikelompokkan berdasarkan bentuk dan ukuran. Ukuran opasitas kecil dikelompokkan menjadi p ($\leq 1,5$ mm), q (1,5-3 mm), atau r (3-10 mm). Opasitas kecil yang ireguler diklasifikasikan sebagai s, t, atau u (dengan ukuran yang sama untuk opasitas bulat kecil). Profusi (frekuensi) opasitas kecil dikelompokkan kedalam skala kategori mayor 4 poin (0-3), dengan setiap kategori mayor dibagi menjadi 3 subkategori, sehingga memberikan skala 12 poin antara 0/- dan 3/+. Opasitas besar adalah opasitas yang terlihat pada film dengan diameter lebih dari 1 cm. Opasitas besar dikelompokkan sebagai kategori A (satu atau lebih opasitas besar yang tidak melebihi diameter 5 cm bila digabungkan), kategori B (opasitas besar dengan diameter kombinasi lebih dari 5 cm namun tidak melebihi zona atas kanan, atau kategori C (lebih besar dari B). Abnormalitas pada pleura dinilai berdasarkan lokasi, lebar, perluasan, dan derajat kalsifikasi (*International Labour Office*, 2011).

Dibawah ini akan dijelaskan mengenai gambaran foto toraks faal paru pada manusia normal dan foto toraks faal paru dengan penyakit silikosis.



a. Faal Paru Normal

b. Faal Paru Silikosis

Gambar 2.5 Foto Toraks Normal dan Penderita Silikosis

Sumber : Herring (2019)

Berdasarkan gambar diatas dapat diketahui bahwa gambar sebelah kiri menunjukkan faal paru yang normal sedangkan gambar sebelah kanan merupakan faal paru seseorang yang menderita silikosis dimana terdapat massa inflamasi pada lobus paru bagian atas yang ditunjukkan dengan gambar panah warna hitam. Selain itu tampak pembesaran kelenjar getah bening dan nampak jaringan parut akibat silika, yang ditunjukkan oleh gambar panah warna putih. Gambar panah berwarna hijau menunjukkan terdapat bekas luka pada kedua lobus bawah.

2.11 Faal Paru

Sistem pernapasan atau yang disebut dengan sistem respirasi terbentuk oleh beberapa struktur yang berfungsi menyediakan oksigen (O_2) serta mengeluarkan karbondioksida (CO_2) dari dalam tubuh. Menurut Guyton (2010)

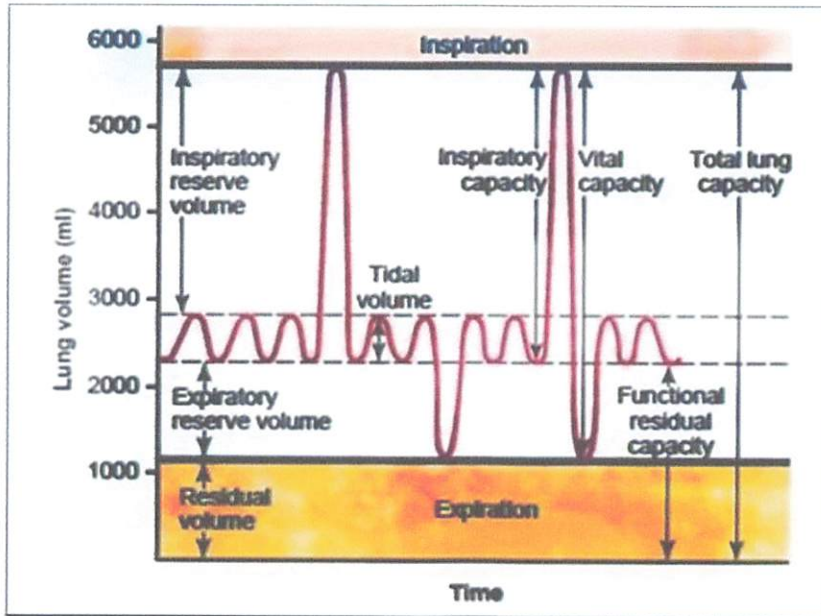
fungsi utama paru yaitu untuk pertukaran gas antara darah dan atmosfer. Pertukaran gas tersebut bertujuan untuk menyediakan oksigen bagi jaringan dan mengeluarkan karbon dioksida. Kebutuhan oksigen dan karbon dioksida terus berubah sesuai dengan tingkat aktivitas dan metabolisme seseorang, tapi pernapasan harus tetap dapat memelihara kandungan oksigen dan karbon dioksida tersebut. Berdasarkan fungsi tersebut, pernapasan dapat dibagi menjadi empat mekanisme dasar, yaitu:

1. Ventilasi yaitu proses keluar dan masuknya udara kedalam paru, serta keluarnya karbondioksida dari alveoli ke udara luar.
2. Difusi yaitu proses berpindahnya oksigen dari alveoli kedalam darah, serta keluarnya karbondioksida dari darah ke alveoli.
3. Perfusi yaitu distribusi darah yang telah teroksigenasi di dalam paru untuk dialirkan ke seluruh tubuh.
4. Pengaturan ventilasi

Sedangkan volume pada paru terdiri dari :

1. Volume tidal adalah volume udara yang diinspirasi atau diekspirasi setiap kali bernapas normal, besarnya sekitar 500 ml pada laki-laki dewasa.
2. Volume cadangan inspirasi adalah volume udara ekstra yang dapat diinspirasi setelah dan diatas volume tidal normal bila dilakukan inspirasi kuat, biasanya mencapai 3000 ml.
3. Volume cadangan ekspirasi adalah volume udara ekstra maksimal yang dapat diekspirasi melalui ekspirasi kuat pada akhir ekspirasi tidal normal, jumlah normalnya adalah sekitar 1.100 ml.

4. Volume residu yaitu volume udara yang masih tetap berada dalam paru setelah ekspirasi paling kuat, volume ini biasanya sekitar 1.200 ml.



Gambar 2.6 Hubungan antara Volume dan Kapasitas Paru dengan Fungsi Paru
Sumber : Guyton, 2008

Menguraikan peristiwa dalam siklus paru, kadang perlu menyatukan dua atau lebih dari volume paru diatas. Kombinasi ini disebut dengan kapasitas paru. Kapasitas paru yang penting digambarkan sebagai berikut :

1. Kapasitas inspirasi sama dengan volume tidal ditambah volume cadangan inspirasi. Ini adalah jumlah udara (sekitar 3.500 ml) yang dapat dihirup oleh seseorang, dimulai dari tingkat ekspirasi normal dan pengembangan paru sampai jumlah maksimum.
2. Kapasitas residu fungsional sama dengan volume cadangan ekspirasi ditambah volume residu. Ini adalah jumlah udara yang tersisa dalam paru pada akhir ekspirasi normal (sekitar 2.300 ml).

3. Kapasitas vital sama dengan volume cadangan inspirasi ditambah volume tidal dan volume dan volume cadangan ekspirasi. Ini adalah jumlah udara maksimum yang dapat dikeluarkan seseorang dari paru, setelah terlebih dahulu mengisi paru secara maksimum dan kemudian mengeluarkan sebanyak-banyaknya (sekitar 4.600 ml).
4. Kapasitas paru total adalah volume maksimum yang dapat mengembangkan paru sebesar mungkin dengan inspirasi sekuat mungkin (sekitar 5.800 ml), jumlah ini sama dengan kapasitas vital ditambah volume residu.

Pada saat beraktivitas, ventilasi meningkat pula sesuai dengan beratnya aktivitas tersebut. Volume paru normal sangat dipengaruhi oleh ukuran sistem pernapasan yaitu bergantung pada bentuk dan ukuran tubuh, usia, dan jenis kelamin. Rerata kapasitas vital pada usia dewasa muda sekitar 4,6 liter, dan pada wanita dewasa muda sekitar 3,1 liter meskipun nilai itu jauh lebih besar pada beberapa orang dengan berat badan yang sama daripada orang lain. Posisi tubuh juga mempengaruhi volume dan kapasitas paru, biasanya menurun bila berbaring, dan meningkat bila berdiri. Selain itu asal etnik juga mempengaruhi ukuran volume paru dan dapat dipertimbangkan dalam evaluasi hasil pemeriksaan faal paru (Francis, 2006).

Menurut penelitian Madina (2007) terdapat hubungan yang cukup kuat antara nilai kapasitas vital paru dengan tinggi dan berat badan baik pada pria maupun wanita. Korelasi tersebut menunjukkan bahwa nilai kapasitas vital paru semakin tinggi apabila seseorang memiliki tinggi dan berat badan yang besar. Nilai kapasitas paru pada dasarnya dipengaruhi oleh bentuk anatomi tubuh, posisi

selama pengukuran kapasitas vital paru, kekuatan otot pernafasan serta pengembangan paru dan otot dada (Guyton, 2008).

2.11.1 Pemeriksaan faal paru

Pemeriksaan fungsi paru berguna untuk penemuan dini dari kelainan pernafasan meskipun secara pemeriksaan klinik maupun radiologi pada penderita tersebut belum dapat ditemukan kelainan. Pemeriksaan fungsi paru tidak dimaksudkan untuk mengganti pemeriksaan lain akan tetapi merupakan pelengkap. Pemeriksaan fungsi paru dilakukan dengan menggunakan alat yaitu spirometer yang bertujuan untuk:

1. Mengevaluasi adanya gangguan fungsi paru secara dini, meskipun secara pemeriksaan klinik maupun radiologi pada penderita belum tentu terdeteksi.
2. Evaluasi dari pengaruh penyakit terhadap fungsi paru (menilai beratnya obstruksi yang terjadi).
3. Evaluasi dari kemajuan penderita oleh karena pengaruh perawatan dan pengobatan (menilai laju perkembangan penyakit serta keberhasilan pengobatan) pemeriksaan tambahan.
4. Kepentingan prognosis

Ventilasi paru dapat dipelajari dengan mencatat volume udara yang masuk dan keluar paru, suatu metode yang disebut spirometri. Spirometer terdiri atas sebuah drum terbalik yang ditempatkan diatas bak air, dan drum tersebut diimbangi oleh suatu beban. Drum terdapat gas untuk bernapas biasanya udara atau oksigen dan sebuah pipa yang menghubungkan mulut dengan ruang gas. Jika seseorang bernapas dari dan ke dalam ruang ini, drum akan naik turun, dan

terekam pada gulungan kertas yang diputar (Guyton, 2008).

Pemeriksaan fungsi paru yang paling sering disarankan adalah spirometri. Hal ini karena pemeriksaan ini ringan, alatnya mudah dibawa, cukup sensitif, biaya murah, tidak melalui tindakan yang invasive serta dapat memberikan informasi yang akurat (Yunus, 1997).

Menurut Levizky, (2007) pemeriksaan fungsi paru yang paling sering digunakan untuk menggambarkan fungsi pernapasan adalah :

1. Kekuatan kapasitas vital (*Forced Vital Capacity* = FVC) adalah jumlah seluruh volume udara yang dikeluarkan secara maksimal dan secara cepat, setelah melakukan inspirasi secara maksimal. Keadaan bagian yang elastik dari sistem respirasi dan kecepatan udara yang dialirkan waktu ekspirasi menggambarkan keadaan bagian yang menahan atau menghalangi aliran udara, hal tersebut dapat ditunjukkan dengan *volume absolute* dari FVC.
2. Kekuatan volume ekspirasi menurut waktu (*Forced Expiratory Volume* = FEV₁) adalah volume yang dikeluarkan pada waktu ekspirasi secara maksimal dengan cepat setelah melakukan inspirasi secara maksimal yang dihitung dalam kurun waktu 1 detik (FEV₁), 2 detik (FEV₂) atau 3 detik (FEV₃).

Persentase perbandingan FEV₁ dan FVC orang normal adalah lebih dari 80%. Gangguan obstruksi adalah hambatan aliran udara karena adanya sumbatan atau penyempitan saluran napas, mempengaruhi kemampuan ekspirasi. Obstruksi disebabkan oleh adanya polutan udara yang masuk ke saluran pernapasan sehingga menimbulkan peningkatan produksi lendir yang mengakibatkan

penyempitan pada saluran pernafasan. Sedangkan gangguan restriksi adalah gangguan pada paru yang menyebabkan kekakuan paru sehingga membatasi pengembangan paru yang terjadi pada saat inspirasi. Hal ini disebabkan oleh polutan udara terutama partikel debu yang masuk mengakumulasi menjadi jaringan fiber pada dinding alveolus sehingga dinding alveolus tidak dapat mengembang dengan sempurna (Mukono, 2008). Hubungan antara nilai FEV₁ dan FVC dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 2.3 Hubungan Antara Nilai FEV₁ dan FVC Pada Keadaan Normal, Obstruksi, Restriksi, dan Mixed Menurut *Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease (GOLD) 2010*

Parameter	Normal	Obstruksi	Restriksi	Mixed
FEV ₁	≥ 80%	< 80%	≥ 80%	< 80%
FVC	≥ 80%	≥ 80%	< 80%	< 80%
FEV ₁ /FVC	≥ 75%	< 75%	≥ 75%	< 75%

Sumber : Levy *et al.*, (2011)

Hasil pengukuran spirometri, selanjutnya masih harus disesuaikan dengan faktor yang mempengaruhi nilai sesungguhnya dari fungsi paru seperti umur, tinggi badan, dan ras. Perhitungan nilai prediksi merujuk pada nilai normal fungsi paru di Indonesia yang disusun oleh *Pneumobile Project* Indonesia yang terdiri dari gabungan berbagai Universitas di Indonesia dan luar negeri. Hasil pengukuran spirometri disebut nilai pengukuran (*observed value*). Nilai tersebut kemudian dibandingkan dengan nilai standar atau nilai prediksi. Nilai normal prediksi berkisar antara 80%-120%. Jika %FEV₁ <75% mengindikasikan adanya gangguan obstruktif, sedangkan bila nilai prediksi %FVC <80% menggambarkan adanya gangguan restriksi paru. Pada fibrosis paru, nilai FVC akan menunjukkan tanda restriktif (Siswanto, 1991).

2.12 Keluhan Pernapasan

Keluhan pernapasan adalah adanya gangguan pada saluran pernapasan akibat terpapar polutan udara. Jenis keluhan pernapasan pada pekerja yang terpapar oleh debu yakni bersin, batuk, hidung tersumbat, sesak napas, nyeri tenggorokan dan nyeri dada (Alsagaff dan Mukti, 2005). Menurut Mukono (2005), adanya gangguan pernafasan dapat diketahui berdasarkan keluhan sesak nafas dan batuk serta gangguan fungsi paru. Efek pencemaran terhadap saluran pernafasan mengakibatkan gejala penyakit pernafasan yang meliputi radang tenggorokan, rhinitis, bunyi mengi dan sesak nafas. Debu pada saluran pernafasan juga telah terbukti menyebabkan kadar debu berasosiasi dengan insiden gejala penyakit pernafasan terutama gejala batuk.

Gangguan pada saluran pernafasan mempunyai gejala yang berbeda yang pada dasarnya ditimbulkan oleh iritasi, kegagalan mucociliary transport, sekresi lendir yang berlebihan dan penyempitan saluran pernafasan. Tidak semua penelitian dan kegiatan program memakai gejala gangguan pernafasan yang sama. Penentuan infeksi saluran pernapasan untuk menentukan infeksi saluran pernafasan dianjurkan untuk melakukan pengamatan terhadap gejala, kesulitan bernapas, radang tenggorokan, dan batuk (WHO, 2007).

Adapun beberapa jenis keluhan pernapasan yang sering terjadi akibat pajanan debu antara lain :

1. Batuk

Batuk adalah suatu gejala gangguan atau kelainan saluran nafas. Keadaan ini merupakan suatu cara pertahanan tubuh untuk mengeluarkan lendir dan benda

asing dari saluran nafas. Batuk terjadi akibat rangsangan benda asing pada bagian peka saluran pernafasan, misalnya trakeobronkial. Inhalasi zat tertentu, polusi udara dan penutupan oleh lendir adalah beberapa keadaan yang dapat menimbulkan batuk. Batuk lebih mudah timbul pada orang yang mempunyai kelainan saluran nafas, seperti radang tenggorok, asma bronchial dan infeksi paru. Batuk juga terjadi pada perokok.

Batuk merupakan mekanisme untuk membersihkan jalan napas dari dahak dan dahak merupakan stimulus terjadi batuk. Oleh karena itu pada orang yang memproduksi dahak berlebihan, upaya penekanan batuk akan semakin sulit. Inflamasi mukosa dan iritasi pada sistem pendengaran menyebabkan refleks batuk menjadi lebih peka terhadap rangsangan. Batuk kering dan nonproduktif akan sangat mengganggu. Batuk yang berlebihan akan menyebabkan penyebaran infeksi, cedera pada jalan napas, pneumotoraks, patah tulang iga, hemoptisis dan memperberat gejala gagal jantung (Darmono, 2001).

Berbagai faktor dapat menimbulkan batuk, faktor tersebut biasa berasal dari luar maupun dari dalam tubuh. Inhalasi zat tertentu, polusi udara dan penutupan oleh lendir adalah beberapa keadaan yang dapat menimbulkan batuk. Batuk lebih mudah timbul pada orang yang mempunyai kelainan saluran nafas, seperti radang tenggorok, asma bronkial dan infeksi paru (Mannino *et al.*, 2006). Gejala batuk timbul paling dini dan merupakan gangguan yang paling sering dikeluhkan (Alsagaff dan Mukty, 2010). Paparan jangka panjang terhadap berbagai bahan kimia iritan dapat menyebabkan gejala bronchitis seperti batuk dengan atau tanpa sputum dan mengi (WHO, 1993).

3. Dahak

Dahak terbentuk secara berlebihan dari kelenjar lendir (*mucus glands*) dan sel goblet oleh adanya stimuli, misalnya yang berasal dari gas, partikulat, alergen dan mikroorganisme infeksius. Karena proses inflamasi, disamping dahak dalam saluran pernapasan juga terbentuk cairan eksudat berasal dari bagian jaringan yang berdegenerasi.

Produksi lendir pada orang dewasa yang normal adalah 100 ml/hari dan biasanya tertelan. Jika terjadi produksi yang berlebihan maka pengeluaran menjadi tidak efektif sehingga terjadi penumpukan berupa dahak dan sputum. Produksi yang berlebihan disebabkan adanya rangsangan pada membran mukosa karena infeksi. Pada infeksi dahak bercampur dengan pus serta produk inflamasi lain. Penampakan dahak dapat mempermudah penegakan diagnosis: dahak yang nampak seperti karat besi mengindikasikan infeksi pneumonia pneumokokus, dahak berwarna batu bata mengindikasikan infeksi pneumonia klebisela, dahak yang berbau busuk dan bercampur nanah menunjukkan infeksi pneumonia bakteri anaerob atau dapat juga abses paru. Pendeskripsian dahak harus disebut perkiraan jumlah produksinya dalam 24 jam, tekstur dan warnanya. Dahak yang berwarna kuning disebabkan oleh infeksi bakteri, sel eosinofil dalam jumlah banyak yang ditemukan pada dahak menunjukkan alergi seperti asma. Dahak berwarna hijau menunjukkan kemungkinan bronkiektasis. Dahak yang berasal dari saluran napas bawah akan didapati makrofag alveolar. Jika banyak dijumpai sel mukosa dahak diperkirakan berasal dari bagian atas laring. Jika ditemukan sel polimorfonuklear mungkin disebabkan oleh infeksi bakteri (Darmono, 2001).

4. Sesak napas atau dispnea

Dispnea disebut juga sebagai sesak napas, napas pendek, *breathlessness* atau *shorthness of breath*. Dispnea adalah gejala subjektif berupa keinginan penderita untuk meningkatkan upaya mendapatkan udara pernapasan. Karena bersifat subjektif dispnea tidak dapat diukur. Dispnea ditemukan pada penderita asma, obstruksi jalan napas atas, penyakit obstruksi kronik, berkurangnya keteragangan paru akibat fibrosis paru, kongesti, edema dan penyakit parenkim paru dapat menyebabkan dispnea (Djojodibroto, 2014).

Sesak nafas adalah perasaan sulit bernafas dan merupakan gejala utama dari penyakit *Cardiopulmonary*. Seorang yang mengalami sesak nafas sering mengeluh nafasnya menjadi pendek atau merasa tercekik. Sesak napas atau kesulitan bernapas disebabkan oleh penyempitan saluran pernapasan karena menguncupnya saluran pernapasan, oedema dan sekret yang menghalangi arus udara (Sandra, 2008). Penyebab dispnea secara umum yakni sistem kardiovaskuler (gagal jantung), sistem pernapasan (PPOK, penyakit parenkim paru), faktor mekanik di luar paru (aistes, obesitas, efusi pleura), psikologis (kecemasan), dan hematologi (anemia kronik).

5. Mengi atau *wheezing*

Mengi adalah napas yang berbunyi seperti bunyi suling yang menunjukkan adanya penyempitan saluran napas, baik secara fisiologik yaitu oleh karena dahak maupun secara anatomik yaitu oleh karena konstiksi. *Wheezing* dapat terjadi secara difus diseluruh dada seperti asma atau secara lokal seperti penyumbatan oleh lendir atau benda asing. Selain itu jugadapat timbul ketika melakukan

aktivitas yang cukup berat. Jika *wheezing* didahului oleh batuk pada malam hari saat tidur, kemungkinan disebabkan oleh aspirasi refluks esofagus. *Wheezing* juga dapat disebabkan oleh *central venous pooling* akibat adanya gagal jantung.

6. Nyeri dada

Nyeri pleuritik dapat bertambah jika batuk atau bernapas dalam. Nyeri pleuritik berhubungan dengan penyakit yang menimbulkan inflamasi pada pleura parietalis yang sensitif terhadap rangsangan sakit, baik rangsangan langsung maupun tidak langsung. Rasa nyeri pada pneumonia atau peradangan paru biasanya disebabkan karena adanya reaksi pleura. Rasa nyeri pada kanker paru merupakan indikasi adanya invasi pada pleura atau dinding dada. Namun pada beberapa pasien tertentu, rasa nyeri dapat timbul tanpa adanya invasi pleura dan dinding dada. Iritasi nervus interostalis juga dapat menyebabkan nyeri dada yang terlokalisasi (Djojodibroto, 2014).

Anamnesa terhadap nyeri dada untuk mendapatkan informasi mengenai seberapa berat rasa sakitnya, apakah menghilang saat tidur. Berapa lama rasa sakit dan seberapa mendadak timbul nyeri tersebut. Nyeri pleuritik biasanya terjadi selama beberapa menit atau beberapa jam dan biasanya dirasakan sebagai rasa nyeri yang tajam. Nyeri kardiak terasa berat dan seperti konstiksi. Rasa nyeri berkurang jika aktivitas fisik berkurang menunjukkan angina, jika bernapas perlahan menunjukkan pleuritis (Stark *et al.*, 1990).

2.13 Respon Imunologi Paparan Debu Batu Kali

2.13.1 Patofisiologi fibrosis paru

Paparan debu batu kali yang mengandung silika pada pengrajin batu kali dengan kadar yang terus meningkat dapat mengakibatkan terjadinya pneumokoniosis dan silikosis. Faktor utama yang berperan pada patogenesis penyakit paru ini adalah komposisi partikel debu yang terhirup oleh pekerja, sifat fisik, kadar dan lama paparan serta respon saluran napas terhadap partikel debu tersebut. Faktor pejamu (*host*) berperan penting pada respon jaringan terhadap agen atau bahan terinhalasi (Susanto, 2011). Proses terjadinya penyakit dan berbagai reaksi inflamasi tergantung dari interaksi yang terjadi antara benda asing dan zat yang terdapat pada sistem imun. Interaksi ini diperantarai oleh sitokin dan kemokin yang diproduksi oleh sel yang terdapat pada daerah radang. Sel yang menghasilkan sitokin antara lain makrofag atau monosit, sel dendritik, limfosit dan neutrophil (Abbas *et al.*, 2011).

Bagian permukaan partikel debu batu yang mengandung silika berinteraksi dengan makrofag kemudian mensekresi sejumlah sitokin lalu menimbulkan proliferasi fibroblast dan deposit bahan matriks jaringan ikat dalam jumlah yang besar (Yunus, 2009). Makrofag memiliki peran yang penting dalam proses peradangan sebagai reaksi tubuh terhadap benda asing. Makrofag merupakan monosit yang bermigrasi ke dalam jaringan paru, sedangkan monosit merupakan sel terbesar diantara sel leukosit yang jumlahnya 5-8% dari seluruh jumlah leukosit (Christina *et al.*, 2015).

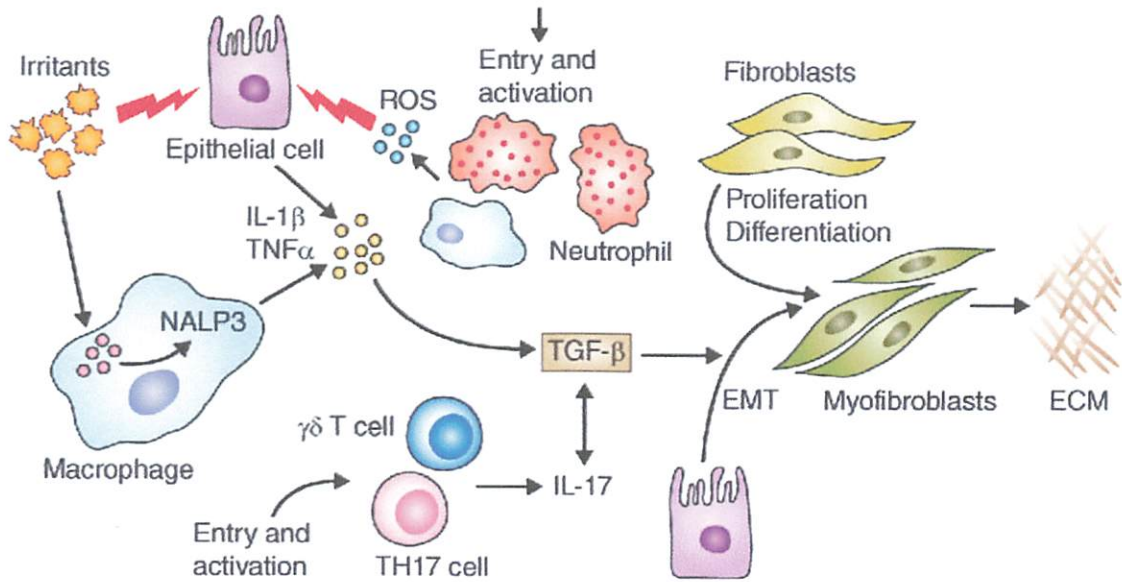
Sitokin merupakan protein atau glikoprotein, dan suatu mediator peptida yang diproduksi oleh leukosit, dihasilkan dalam suatu reaksi peradangan atau alergi. Sitokin bereaksi pada penyembuhan host akibat cedera dan berfungsi sebagai pengatur pertahanan tubuh untuk melawan sesuatu yang bersifat patogen dan menimbulkan respons inflamasi, sebagai isyarat antar sel untuk mengatur respon setempat dan terkadang juga secara sistemik. Sitokin yang dihasilkan oleh limfosit disebut dengan limfokin dan yang diproduksi oleh makrofag atau monosit disebut dengan monokin. Sitokin memodulasi reaksi host terhadap antigen asing atau agen penyebab cedera dengan cara mengatur penyembuhan, mobilisasi dan diferensiasi leukosit beserta selnya. Interaksi yang kompleks antara limfosit, sel radang, dan elemen seluler lainnya didalam jaringan juga dimediasi oleh sitokin. Sehingga dapat disimpulkan bahwa sitokin merupakan sentral patogenesis yang akan meningkat jumlahnya apabila terdapat suatu penyakit (Baratawidjaja dan Rengganis, 2012).

Menurut Susanto (2011) partikel debu akan merangsang makrofag untuk mengeluarkan produk yang merupakan mediator suatu respons peradangan dan memulai proses proliferasi fibroblast dan deposisi kolagen. Mediator makrofag penting yang bertanggung jawab terhadap kerusakan jaringan, pengumpulan sel dan stimulasi pertumbuhan fibroblast adalah :

1. Leukotrien LTB₄ dan IL-8 yang bersifat kemotaksis terhadap leukosit.
2. Sitokin IL-1, TNF- α , fibronektin, dan PDGF yang berperan dalam fibrogenesis.

Mediator yang paling banyak berperan pada patogenesis pneumokoniosis silikosis adalah *Tumor Necrosis Factor* (TNF)- α , Interleukin (IL)-6, IL-8, *Platelet Derived Growth Factor* (PDGF) dan *Transforming Growth Factor* (TGF)- β . Sebagian besar mediator tersebut sangat penting untuk proses fibrogenesis (Demedts *et al.*, 2003). Paparan debu respirabel yang terhirup oleh pekerja seperti debu batu yang mengandung kristal silika yang bersifat kronis dikaitkan dengan perubahan inflamasi kronis dalam alveoli. Kondisi alveolitis kronis menyebabkan terjadinya fibrosis paru.

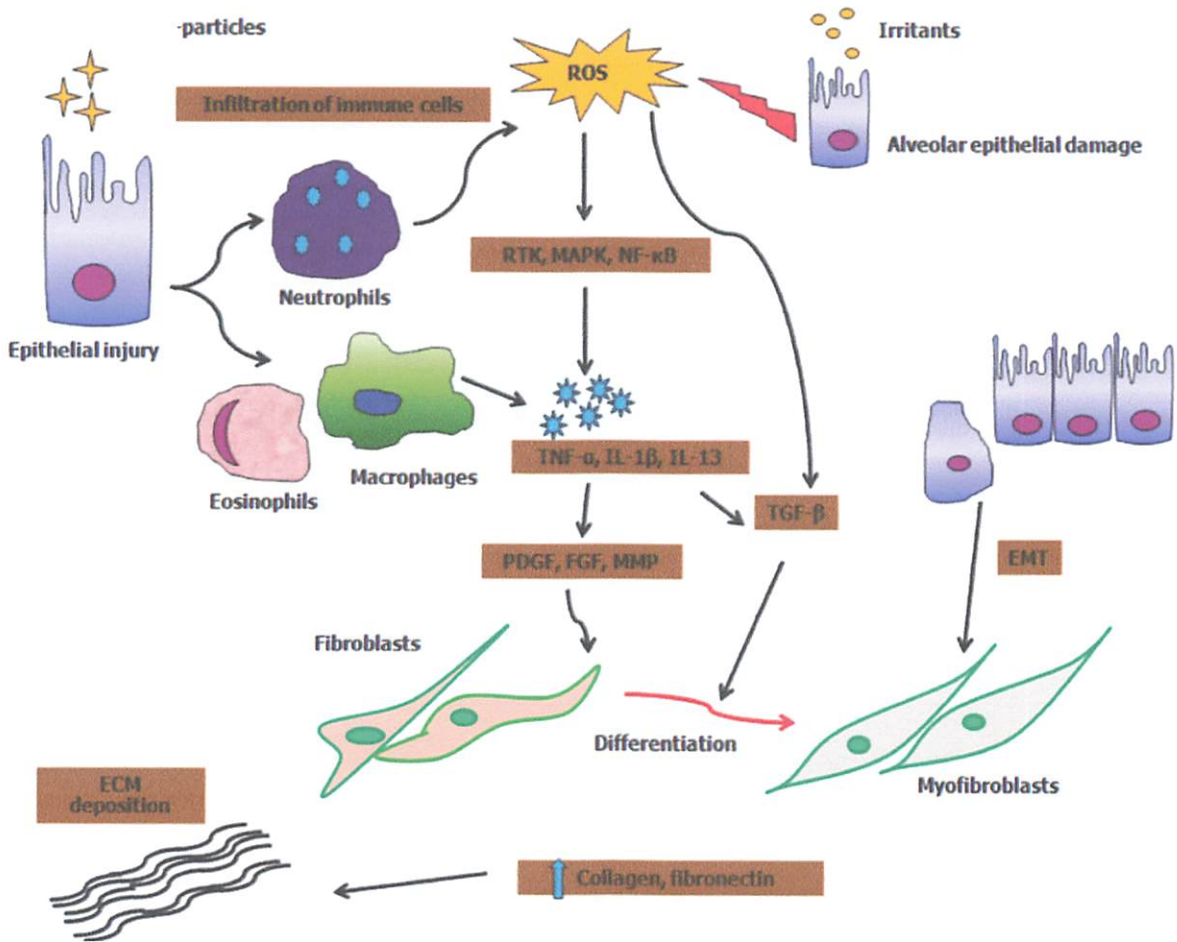
Partikel debu yang mengandung silika masuk ke dalam alveoli dan dapat melukai sel epitel paru, selanjutnya terjadi infiltrasi sel imun untuk membentuk pertahanan dengan pengangkutan leukosit dan neutrofil menuju ke bagian yang meradang, terjadi fagositosis oleh makrofag alveolar sebagai upaya pembersihan paru. Kejadian ini akan merangsang produksi *Reactive Oxygen Species* (ROS), kemokin, dan sitokin. Sitokin utama yang disekresi oleh makrofag adalah TNF- α dan IL-1 β yang kemudian mempromosikan produksi TGF- β yang merupakan sitokin profibrotik yang memicu proliferasi dan aktivasi fibroblast. TGF- β juga menginduksi pembentukan myofibroblast penghasil *Extracellular Matrix* (ECM). Mekanisme ini dapat dilihat pada gambar 2.6 (Wynn, 2011).



Gambar 2.7 Respon Immunologi terhadap Paparan Debu
Sumber : Wynn, 2011

Patofisiologi terjadinya fibrosis paru juga diperantarai oleh keterlibatan *Reactive Oxygen Species* (ROS). ROS secara luas diketahui terlibat dalam cedera sel epitel dan fibrogenesis (Inghilleri *et al.*, 2006). Terbentuknya ROS bermula dari adanya paparan debu yang mengandung partikel silika yang terhirup sehingga akan merusak epitel saluran pernapasan kemudian akan menyebabkan infiltrasi sel imun dan menginduksi mediator inflamasi seperti neutrophil. Paparan debu menghasilkan aktivasi beberapa transkripsi yang tergantung pada ROS dan jalur pensinyalan termasuk NF-kappa B, *Mitogen Activated Protein Kinase* (MAPK) dan *Reseptor Tirosin Kinase* (RTK), yang terlibat dalam regulasi peradangan dan fibrosis (Bonner, 2007). ROS telah terbukti memainkan peran penting dalam diferensiasi fibroblast kedalam myofibroblast yang dimediasi oleh TGF- β . Produksi ROS yang diinduksi oleh stressor agen debu merupakan akibat dari kegagalan makrofag untuk melakukan fagositosis untuk menelan partikel silika,

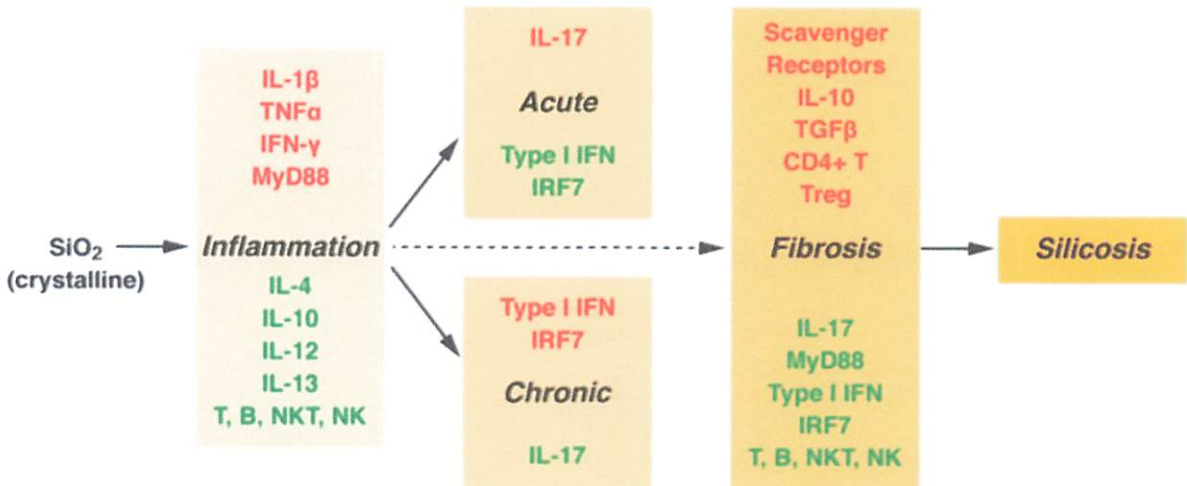
sehingga mengakibatkan kondisi peradangan. Hal ini dikaitkan dengan respon fibrotik paru dan dapat terjadi stres oksidatif (Amruta *et al.*, 2013).



Gambar 2.8 Mekanisme Terjadinya Fibrosis Akibat Paparan Partikel dan Iritan
Sumber : Amruta *et al* (2013)

Tumor Necrosis Factor (TNF)- α , Interleukin-1 (IL-1), interferon- γ (IFN- γ), fibronektin, *Platelet-Derived Growth Factor* (PDGF) dan *Transforming Growth Factor*- β (TGF- β) serta sitokin proinflamasi telah diimplikasi sebagai kunci terjadinya respon inflamasi pada silikosis. Nodul silikotik menjadi paradigma bagi mekanisme silikosis kronik. Pada akhirnya nodul tersebut akan

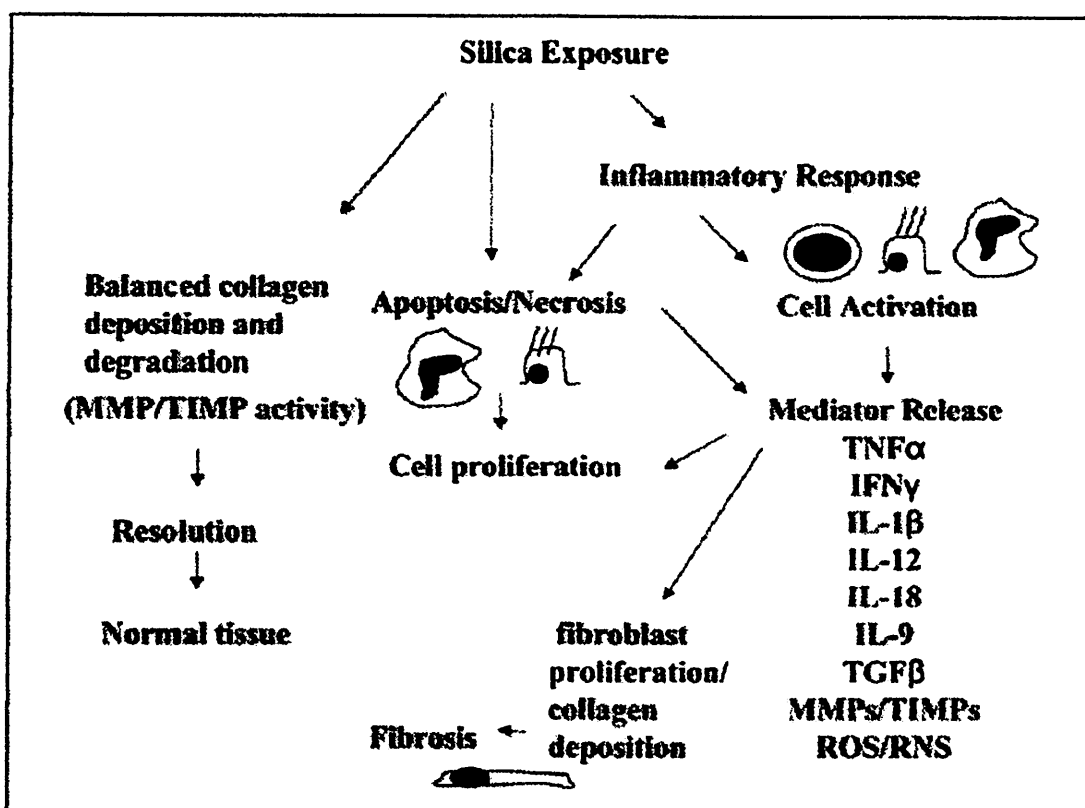
beragregasi membentuk lesi yang besar pada fibrosis massif progresif (Ikhsan *et al.*, 2009).



Gambar 2.9 Komponen Molekuler dan Seluler yang terlibat pada Silikosis
Sumber : Pollard, 2016

Pada gambar 2.8 diatas menjelaskan mengenai komponen molekuler dan seluler yang memiliki peran penting dalam terjadinya inflamasi dan fibrosis yang diakibatkan oleh pajanan debu respirabel yang mengandung kristal silika ditunjukkan dengan tulisan berwarna merah (Pollard, 2016).

Hubbard *et al.*, (2004) menjelaskan bahwa partikel debu silika akan merangsang makrofag alveolar untuk mengeluarkan produk yang merupakan mediator proinflamasi dan memulai proses proliferasi fibroblast dan deposisi kolagen. Gambar 2.9 menjelaskan mengenai berbagai mediator yang dilepaskan sebagai respon inflamasi. Pelepasan mediator tersebut memiliki peran penting dalam proses terjadinya fibrogenesis.



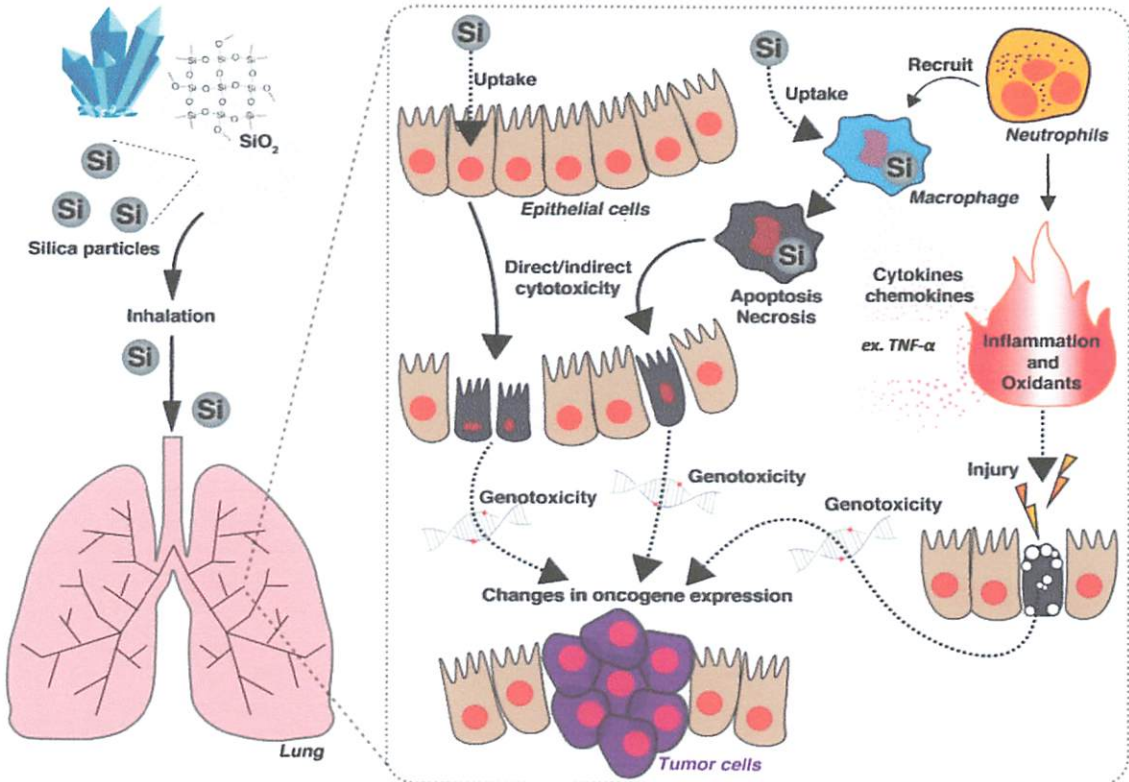
Gambar 2.10 Mekanisme Paparan Debu Silika Menyebabkan Terjadinya Fibrosis Paru

Sumber : Hubbard *et al.*, 2004

2.13.2 Patofisiologi kanker paru

Pajanan debu batu yang mengandung partikel silika terhirup dalam jangka waktu yang lama dapat mempengaruhi proses kerusakan pada sel epitel paru selanjutnya menyebabkan terjadinya karsinogenesis. Tahapan ini dimulai dari penurunan pembersihan partikel silika oleh makrofag alveolar dimana mekanisme ini tergantung dari kadar dan toksisitas partikel silika itu sendiri. Persistensi partikel silika yang ada di dalam paru kemudian akan mengaktifkan makrofag baru dan neutrofil untuk menghasilkan sitokin dan kemokin seperti TNF- α serta oksidan atau ROS. Terbentuknya sitokin dan oksidan akan menginduksi terjadinya cedera pada epitel paru dan genotoksisitas atau kerusakan pada rantai

DNA sehingga memicu perubahan pada ekspresi onkogen. Onkogen berperan dalam pembentukan tumor yang pada akhirnya dapat menyebabkan terjadinya kanker paru (Sato *et al.*, 2018). Mekanisme ini dapat dijelaskan pada Gambar 2.10 berikut :



Gambar 2.11 Mekanisme Paparan Debu Silika Menyebabkan Terjadinya Kanker Paru

Sumber : Sato *et al.*, 2018

2.14 Tumor Necrosis Factor Alpha (TNF- α)

2.14.1 Karakteristik Tumor Necrosis Factor Alpha (TNF- α)

Tumor Necrosis Factor Alpha (TNF- α) adalah salah satu sitokin proinflamasi yang paling penting dan diketahui memegang peran patogenik dalam inflamasi kronik. Inflamasi kronik ditandai dengan adanya nekrosis jaringan, *Disseminated Intravascular Coagulation* (DIC), dan kematian jaringan (Abbas *et*

al., 2000). Infeksi yang berat dapat memicu produksi TNF dalam jumlah besar yang menimbulkan reaksi sistemik. Terdapat dua bentuk TNF yaitu TNF- α dan TNF- β . TNF disebut TNF- α atas dasar historis dan untuk membedakannya dari TNF- β atau limfotoksin. TNF- α diproduksi oleh berbagai jenis sel termasuk makrofag, sel T, sel B dan sel NK.

TNF- α adalah sitokin yang paling banyak diteliti, dan merupakan bagian dari keluarga besar TNF. Aktivitas TNF- α pada endothelium dan leukosit penting dalam respon inflamasi lokal terhadap mikroba. Pada kondisi tubuh normal TNF- α tidak terdeteksi. Pada konsentrasi rendah, TNF- α bertindak pada leukosit dan endothelium dengan menginduksi inflamasi akut. Pada kadar yang tepat (0-100 pg/ml) TNF- α dapat membunuh antigen secara langsung dan memberi perlindungan dan penyembuhan. TNF- α memediasi inflamasi sistemik dengan menginduksi IL-1 dan IL-6. Sedangkan pada konsentrasi tinggi, TNF- α dapat menimbulkan kelainan patologis berupa syok sepsis dan kerusakan jaringan. (Hietbrink, 2006). Adapun aktivitas biologi dari TNF- α yakni :

1. TNF paling banyak ditemukan pada monosit dan sel T setelah teraktivasi, dimana secara biologi aktif dan memediasi destruksi sel.
2. Kombinasi antara TNF dan IL-1 *in vivo* bertanggung jawab terhadap berbagai macam kerusakan endothelium yang menghambat mekanisme antikoagulasi dan mendorong proses trombosis, sehingga TNF memiliki peran penting dalam beberapa proses patologis seperti trombosis vena, arteriosklerosis dan vaskulitis.

3. Memiliki peranan yang penting dalam proses angiogenesis.
4. TNF adalah faktor pertumbuhan bagi fibroblas, mendorong sintesis kolagenase dan prostaglandin.
5. TNF merangsang aktivitas mikrobisidal dari neutrofil dan makrofag (Sumanlatha, 2015).

Pada awalnya TNF α ditemukan pada tumor tertentu yang mengalami perdarahan, ternyata yang menyebabkan perdarahan tersebut adalah nekrosis jaringan. Sel penghasil TNF adalah sel makrofag dan sel jenis lain dengan aktifitas biologik yang berbeda pada sel sasaran yang termasuk dalam sistem imun ataupun tidak. Sejumlah jenis sel yang baru akan menghasilkan TNF apabila mendapatkan rangsangan yang cocok (Subowo, 2009). Peran *Tumor Necrosis Factor Alpha* (TNF- α) sangat besar pada inflamasi paru. TNF- α mempunyai beberapa fungsi dalam proses inflamasi dan fibrogenesis yaitu meningkatkan peran pro trombotik dan merangsang molekul adhesi dari sel leukosit serta menginduksi sel endotel, berperan dalam mengatur aktivasi makrofag dan respon imun dalam jaringan yaitu merangsang faktor pertumbuhan dan sitokin lain, berfungsi sebagai regulator dari hematopoetik. Selain itu TNF- α berfungsi sebagai faktor angiogenesis dengan membentuk pembuluh darah baru serta dapat berfungsi sebagai faktor pertumbuhan fibroblast yang mengakibatkan pembentukan jaringan ikat (Soeroso, 2007).

2.14.2 *Tumor Necrosis Factor Alpha* (TNF- α) dalam mekanisme inflamasi

Inflamasi adalah suatu proses kompleks yang dimulai dari kerusakan jaringan, yaitu disebabkan oleh faktor endogen seperti nekrosis jaringan dan faktor eksogen seperti kontak dengan bahan asing atau infeksi. Respon inflamasi merupakan bagian dari kekebalan *innate* (alami) dan kekebalan yang didapat (*acquired*). Kekebalan *innate* merupakan sistem kekebalan yang sudah didapat sejak lahir dimana elemennya terdapat pada kulit, sistem pencernaan, paru, pernapasan, sirkulasi, organ limfa dan serum (Mayer *et al.*, 2006). Inflamasi bertujuan untuk menyekat serta mengisolasi jejas, menghancurkan mikroorganisme yang menginvasi tubuh serta menghilangkan aktivitas toksinnya, dan mempersiapkan jaringan bagi kesembuhan serta perbaikan. Meskipun pada dasarnya respon bersifat protektif, namun inflamasi dapat pula berbahaya dimana respon ini dapat menyebabkan reaksi hipersensitivitas yang bisa membawa kematian atau kerusakan organ yang persisten serta progresif akibat inflamasi kronik dan fibrosis yang terjadi kemudian. Inflamasi pada umumnya ditandai oleh dua komponen utama yaitu dinding vaskuler dan respon sel radang (Mayer *et al.*, 2006).

Pengaturan respon inflamasi dicirikan oleh peran antara efek pro-inflamasi (memulai sinyal) dan anti inflamasi (menghentikan sinyal) yang dimediator oleh sejumlah sitokin. Sitokin merupakan protein *soluble* dengan berat molekul yang kecil yaitu sekitar 5-20 kDa yang diproduksi sebagai respon terhadap antigen dan bertindak sebagai mediator untuk mengatur sistem imunitas baik alamiah maupun adaptif. Sitokin merupakan pembawa pesan kimiawi, termasuk diantaranya adalah

tumor necrosis faktor, interleukin, interferon, khemokin, dan faktor pertumbuhan.

Pada umumnya sitokin digolongkan menjadi:

1. Sitokin pro-inflamasi seperti TNF- α , IL-1, interferon- α (IFN- α), IL-12, IL-18 dan *Granulocyte-Macrophage Colony Stimulating Factor* (GM-CSF).
2. Sitokin anti inflamasi seperti IL-4, IL-10, IL-13, dan *Transforming Growth Factor- β* (TGF- β) (Hartanto,2009).

TNF- α bertanggung jawab terhadap komplikasi sistemik dan infeksi berat dimana sumber utama TNF- α adalah fagosit mononuklear (fagosit oleh makrofag) teraktifasi yang dirangsang oleh antigen. *Tumor Necrosis Factor Alpha* (TNF- α) sebagai sitokin proinflamasi akan berkoordinasi dan menyebabkan peningkatan sitokin lainnya seperti IL-1 dan IL-6 yang kemudian akan menginduksi pertumbuhan sel baru atau angiogenesis. Peningkatan sitokin *Tumor Necrosis Factor Alpha* (TNF- α) selain berada di dalam saluran napas, juga beredar di sirkulasi sistemik. Peningkatan sitokin proinflamasi pada saluran napas sebagai petanda inflamasi lokal, juga akan memberikan gambaran pada peningkatan sel inflamasi secara sistemik pada gambaran darah tepi (Agarwal, 2009).

2.15 Karakteristik Individu

Karakteristik individu merupakan suatu ciri khusus yang dimiliki oleh seorang individu yang dapat menjadi pembeda antara individu satu dengan yang lainnya.

Adapun karakteristik individu yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah :

1. Usia

Usia berhubungan dengan proses penuaan atau bertambahnya umur. Semakin tua usia seseorang maka akan semakin besar kemungkinann terjadi penurunan fungsi paru (Soedjono, 2002). Penurunan Kapasitas Vital Paksa (KVP) dapat terjadi setelah usia 30 tahun, tetapi penurunan Kapasitas Vital Paksa (KVP) akan cepat setelah usia 40 tahun. Faal paru sejak masa kanak-kanak bertambah volumenya dan akan mencapai nilai maksimum pada usia 20 sampai 30 tahun. Setelah usia tersebut nilai faal paru akan terus menurun sesuai dengan pertambahan usia. Kekuatan otot maksimal pada usia 20-40 tahun dan akan berkurang sebanyak 20% setelah usia 40 tahun (Budiono, 2007). Kategori usia menurut Depkes (2009) yaitu balita 0-5 tahun, anak 5-11 tahun, remaja awal 12-16 tahun, remaja akhir 17-25 tahun, dewasa awal 26-35 tahun, dewasa akhir 36-45 tahun, lansia awal 46-55 tahun, lansia akhir 56-65 tahun dan manula > 65 tahun. Semakin tua usia seseorang maka semakin besar kemungkinan terjadi penurunan fungsi paru disertai dengan kondisi lingkungan yang buruk (Barbara et al., 2010).

Mulai pada fase anak sampai umur sekitar 22-24 tahun terjadi pertumbuhan paru sehingga pada waktu nilai fungsi paru semakin besar bersamaan dengan pertambahan umur dan nilai fungsi paru mencapai maksimal pada umur 22-24 tahun. Beberapa waktu nilai fungsi paru menetap kemudian menurun secara perlahan-lahan, biasanya umur 30 tahun sudah mulai penurunan, berikutnya nilai fungsi paru (KVP = Kapasitas Vital Paksa dan VEP₁=Volume Ekspirasi Paksa satu detik pertama) mengalami penurunan rerata sekitar 20 ml

tiap penambahan satu tahun umur individu (Rahmatullah, 2009).

Faktor usia juga dapat berpengaruh terhadap kecepatan pembersihan antigen oleh makrofag yang menjadi semakin berkurang (Ariana, 2003). Demikian pula pengaruhnya terhadap kadar TNF- α , dimana meningkatnya TNF- α dapat disebabkan oleh faktor umur. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Gupta *et al.*, (2003) terjadi peningkatan kadar TNF- α pada proses penuaan. Hal ini disebabkan karena terjadi peningkatan sinyal apoptosis dan menurunnya sinyal kelangsungan hidup. Sistem imun berpengaruh terhadap tinggi dan rendahnya kadar TNF- α . Ketika sistem imun menurun maka tubuh akan lebih mudah terserang penyakit. Hal itu dikarenakan kemampuan imunitas tubuh yang lemah untuk melawan infeksi sehingga menyebabkan TNF- α diproduksi secara berlebihan dan kadar TNF- α meningkat. Faktor usia memengaruhi kuat atau lemahnya sistem imun. Pada orang yang sudah memasuki usia tua, kecepatan respon imun mulai menurun, sehingga lebih mudah terserang penyakit dan menyebabkan kadar TNF- α meningkat (Fatmah, 2006). Pada usia muda kadar hormon khususnya *growth hormone* berada dalam kondisi optimal. Fungsi *growth hormone* dapat menekan tingginya kadar TNF- α . Hal tersebut memberikan dampak yang baik bagi kadar TNF- α di usia muda (Misitahari, 2011).

2. Masa kerja

Masa kerja ialah lamanya seorang pekerja bekerja dalam (tahun) dalam satu lingkungan perusahaan dihitung mulai saat bekerja sampai penelitian berlangsung. Semakin lama seseorang dalam bekerja maka semakin banyak dia telah terpapar bahaya yang ditimbulkan oleh lingkungan kerja tersebut

(Suma'mur, 2013). Masa kerja merupakan sifat karakteristik menurut waktu. Proses perubahan yang berhubungan dengan perjalanan waktu membutuhkan pertimbangan tentang variabel ini dalam analisis berbagai faktor yang berhubungan dengan tempat dan orang. Disamping itu, faktor waktu merupakan faktor yang cukup penting dalam menentukan definisi setiap ukuran epidemiologi dan merupakan komponen dasar dalam konsep penyebab. Perubahan sekular adalah perubahan yang terjadi sedikit demi sedikit dalam jangka waktu lama yang biasanya terjadi setelah sekian tahun (≥ 5 tahun) yang menampakkan perubahan keadaan penyakit kematian yang cukup berarti, dalam interaksi antara pejamu atau orang, penyebab atau agent dan lingkungan (Nasry, 2008). Masa kerja diperlukan untuk menilai lamanya pekerja terpapar oleh partikel debu. Semakin lama terpapar partikel debu maka semakin besar risiko terjadinya gangguan kapasitas fungsi paru. Pekerja di lingkungan kerja dengan kadar partikel debu yang tinggi dalam waktu lama memiliki risiko tinggi terkena penyakit paru. Masa kerja mempunyai kecenderungan sebagai faktor risiko terjadinya penyakit paru pada pekerja di lingkungan berdebu lebih dari 5 tahun (Khumaidah, 2009). Hal ini juga akan mempengaruhi kadar serum TNF alpha yang terus meningkat, dikarenakan dengan semakin lamanya waktu papar maka konsentrasi debu yang masuk kedalam jaringan paru juga akan semakin terakumulasi. Terlebih jika debu yang memajan terdapat kandungan silika maka dapat membuat jaringan paru terluka dan sifatnya *irreversible*. Dalam hal ini makrofag akan terus menjalankan proses fagositosisnya dan terus merilis TNF- α .

3. Status gizi

Gizi merupakan nutrisi yang diperlukan oleh para pekerja untuk memenuhi kebutuhan sesuai dengan jenis pekerjaan. Segala sesuatu aspek dari ilmu gizi pada umumnya, maka gizi kerja ditujukan untuk kesehatan dan daya kerja tenaga kerja yang setinggi-tingginya. Kesehatan dan daya kerja sangat erat hubungannya dengan tingkat gizi seseorang. Tanpa makan dan minum yang cukup kebutuhan energi untuk bekerja akan diambil dari cadangan yang terdapat dalam cadangan sel tubuh (Anugrah, 2013). Menurut Departemen gizi dan kesehatan masyarakat (2007) kekurangan makanan yang berlangsung secara terus-menerus akan menyebabkan susunan fisiologi tubuh terganggu. Secara fisiologis seseorang dengan status gizi yang kurang maupun lebih dapat mengalami penurunan Kapasitas Vital Paksa (KVP) yang pada akhirnya dapat memengaruhi terjadinya gangguan fungsi paru.

Status gizi buruk akan menyebabkan daya tahan seseorang menurun, sehingga mudah terinfeksi oleh mikroba. Infeksi saluran pernapasan, apabila terjadi berulang dan disertai batuk berdahak, akan menyebabkan bronkhitis kronis. Salah satu penilaian status gizi seseorang yaitu dengan menghitung Indeks Massa Tubuh (IMT). Memantau berat badan seseorang dapat digunakan indeks massa tubuh, akan diketahui apakah berat badan seseorang dinyatakan normal, kurus atau gemuk (Depkes, 2000). Penggunaan IMT hanya untuk dewasa berumur 18 tahun keatas dan tidak dapat diterapkan pada bayi, anak, ibu hamil dan olahragawan. Batas ambang IMT menurut Depkes RI 2003 yang merujuk ketentuan FAO atau WHO. untuk kepentingan Indonesia batas ambang

dimodifikasi berdasarkan pengalaman klinis dan hasil penelitian di beberapa negara berkembang. Adapun status gizi diukur dengan menggunakan Indeks Massa Tubuh (IMT):

$$IMT = \frac{BB (kg)}{TB^2}$$

Keterangan:

IMT : indeks masa tubuh

BB (kg) : berat badan (kilogram)

TB : tinggi badan (meter)

Batas ambang IMT untuk orang Indonesia menurut Depkes (2003) adalah sebagai berikut :

Tabel 2.4 Ambang Batas Indeks Masa Tubuh (IMT)

Kategori	Keterangan	IMT
Kurus	Kekurangan berat badan tingkat berat	< 17,0
	Kekurangan berat badan tingkat ringan	17,0-18,4
Normal	-	18,5-25,0
Gemuk	Gemuk kelebihan badan tingkat ringan	25,1-27,0
	Kelebihan berat badan tingkat berat	>27,0

Sumber : Depkes RI (2003)

Beberapa laporan menyatakan efek TNF- α pada obesitas berkaitan dengan resistensi insulin, peningkatan asam lemak bebas oleh adiposit, penurunan sintesis adiponektin, dan gangguan sinyal insulin. Mekanisme molekuler yang bertanggung jawab terhadap penurunan peran insulin, terutama pada individu obes, ialah bahwa TNF- α yang menyebabkan fosforilasi serin dari insulin receptor-substrate (IRS-1) dalam adiposit dan hepatosit yang dikultur, sebaliknya TNF- α menghambat fosforilasi tirosin dan aktivitas reseptor insulin IRS-1 (Setiawan, 2009).

4. Kebiasaan merokok

Merokok merupakan kegiatan yang dilakukan secara berulang dalam menghisap rokok mulai dari satu batang atau lebih dalam sehari. Merokok dapat menyebabkan perubahan struktur dan fungsi saluran pernapasan dan jaringan paru. Kebiasaan merokok akan mempercepat penurunan faal paru. Merokok juga dapat lebih merendahkan kapasitas vital paru dibandingkan dengan beberapa bahaya kesehatan kerja (Suyono, 2001). Penurunan kapasitas paru (VC) merupakan indikator yang dapat mengakibatkan gangguan restriktif pada paru pekerja. Menurut Rahmatullah (2009) yang menyatakan bahwa besarnya penurunan fungsi paru (FEV_1) berhubungan langsung dengan kebiasaan merokok (konsumsi rokok). Pada orang dengan fungsi paru normal dan tidak merokok mengalami penurunan FEV_1 20 ml pertahun, sedangkan pada orang yang merokok (perokok) akan mengalami penurunan FEV_1 lebih dari 50 ml pertahunnya (Rahmatullah, 2009). Penurunan volume ekspirasi paksa pertahun adalah 28,7 mL untuk non perokok, 38,4 mL untuk bekas perokok dan 41,7 mL untuk perokok aktif (Anshar, 2005).

Rokok yang dihisap mengandung berbagai macam bahan kimia dengan berbagai jenis daya kerja terhadap tubuh, asap rokok mengandung 4000 jenis bahan kimia, beberapa bahan kimia yang terdapat dalam rokok yang memberikan efek terhadap kesehatan yakni nikotin, tar, karbonmonoksida serta berbagai logam berat lainnya. *N-nitrosamine* di dalam rokok berpotensi besar sebagai zat karsinogenik terhadap jaringan paru (Sitepoe, 2000). Selain *N-nitrosamine* terdapat pula tar yang berbahaya bagi kesehatan. Tar merupakan senyawa kimia

dan kumpulan bahan kimia yang terkandung dalam asap hasil pembakaran atau residu tembakau. Tar mengandung zat karsinogen seperti polisiklik hidrokarbon aromatis, yang dapat menyebabkan terjadinya kanker paru. Tar juga dapat merangsang jalan napas, dan tertimbun di saluran napas, yang akhirnya menyebabkan batuk, sesak napas, kanker jalan napas, lidah atau bibir (Jaya, 2009).

Menurut Depkes (2003) pengaruh asap rokok dapat lebih besar daripada debu yang hanya sekitar sepertiga dari pengaruh rokok buruk. Selain itu menurut Gold *et al.*, (2005) menyatakan bahwa kebiasaan merokok pada pekerja yang terpajan debu akan memperbesar kemungkinan untuk terjadinya gangguan fungsi paru. Untuk mengukur derajat berat merokok biasanya dilakukan dengan menghitung *Indeks Brinkman* (IB), yaitu perkalian antara rerata jumlah batang rokok yang dihisap per hari dikalikan dengan lama merokok dalam tahun. Nilai yang dihasilkan dari perhitungan tersebut akan dimasukkan ke dalam 3 kategori yaitu:

Ringan	= 0-200 batang/tahun
Sedang	= 201-600 batang/tahun
Berat	= > 600 batang/tahun

5. Pemakaian alat pelindung pernapasan

Upaya untuk mengurangi atau meminimalkan paparan debu harus dilakukan terutama upaya pengendalian pada lingkungan kerja, mesin dan peralatan sebelum menggunakan Alat Pelindung Diri (APD) khususnya alat perlindungan untuk pernapasan (WHO, 1999). APD juga harus memenuhi

persyaratan yaitu nyaman dipakai, tidak mengganggu pelaksanaan pekerjaan dan memberikan perlindungan efektif terhadap bahaya yang dihadapi (Suma'mur, 2013). Pekerja yang aktivitas pekerjaannya banyak terpajan oleh partikel debu memerlukan alat pelindung diri seperti masker untuk mereduksi jumlah partikel debu yang kemungkinan dapat terhirup di tempat kerja. Masker dapat terbuat dari kain dengan ukuran pori-pori tertentu agar risiko paparan debu yang dapat terinhalasi sehingga terjadi pengendapan partikel dan akhirnya mengurangi nilai Kapasitas Vital Paksa (KVP) dapat diminimalisir (Carlisle, 2000). Beberapa jenis APD yang tepat bagi pekerja yang berada pada lingkungan kerja dengan paparan debu berkonsentrasi tinggi adalah :

a. Masker sekali pakai (masker debu)

Masker ini harus tersedia dan digunakan pada semua pekerja yang terpapar debu. Masker ini bisa digunakan untuk melindungi debu non respirabel $>10 \mu\text{m}$. Apabila digunakan dengan benar, masker ini dapat mencegah menghirup debu dan melindungi paru karena debu tidak langsung masuk melalui saluran pernapasan namun ditangkap oleh respirator ini. Kelemahan dari masker ini adalah apabila tidak sesuai dengan bentuk wajah maka debu bisa masuk ke hidung, masker ini juga tidak bisa menyaring gas dari bahan kimia, tidak baik digunakan pada tempat kerja dengan konsentrasi debu yang banyak dan debu yang memiliki toksisitas tinggi (HSE, 2013)

Institut Nasional untuk Keselamatan dan Kesehatan Kerja di Amerika (NIOSH) merekomendasikan masker N95 sebagai partikulat respirator. NIOSH menyatakan bahwa masker N95 menyediakan perlindungan yang baik terhadap

partikel pencemar di mana setidaknya 95% efektif untuk partikel halus yang berukuran 0,1-0,3 mikron. Beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa kemampuan masker N95 menyaring partikel dengan ukuran 0,1-0,3 mikron melebihi 95% bahkan bisa mencapai 99,5% jika ukuran partikel mencapai 0,75 mikron atau lebih besar (US FDA, 2015).

b. Respirator

Respirator berguna untuk melindungi pernapasan dari debu, kabut, uap, logam, asap dan gas. Alat ini dibedakan menjadi :

- 1) Respirator pemurni udara, membersihkan udara dengan cara menyaring atau menyerap kontaminan dengan toksisitas rendah sebelum memasuki sistem pernapasan. Alat pembersihnya terdiri dari filter untuk menangkap debu dari udara atau tabung kimia yang menyerap gas, uap dan kabut.
- 2) Respirator penyalur udara, membersihkan aliran udara yang terkontaminasi secara terus menerus. Udara dapat dipompa dari sumber yang jauh, dihubungkan dengan selang tahan tekanan atau dari persediaan yang *portable* seperti tabung yang berisi udara bersih atau oksigen. Jenis ini biasa dikenal dengan SCBA (*Self Contained Breathing Apparatus*) atau alat pernapasan mandiri. Digunakan untuk tempat kerja yang terdapat gas beracun atau kekurangan oksigen.

Pemilihan jenis respirator dilakukan dengan cara membandingkan nilai *Protection Factors* (PF) dengan nilai *Assigned Protection Factor* (APF). Nilai PF ditentukan berdasarkan pembagian nilai konsentrasi kontaminan dengan Nilai Ambang Batas (NAB). Dari perbandingan nilai PF dengan nilai APF dapat

ditentukan jenis respirator yang tepat untuk digunakan di tempat kerja. Selain itu, faktor lain yang dipertimbangkan dalam pemilihan respirator adalah karakteristik fisik dan kimia kontaminan.

Tabel 2.5 Jenis Respirator berdasarkan nilai APF (*Assigned Protection Factor*)

No.	Type Respirator	Quarter Mask	Half Mask	Full Face piece	Helmet/Hood	Loose-Fitting Facepiece
1.	Air Purifying Respirator	5	10	50	-	-
2.	Powered Air Purifying Respirator (PAPR)	-	50	1000	25/1000	25
3.	Supplied-Air Purifying Respirator (SARS) or Airline Respirator					
	Demand Mode	-	10	50	-	-
	Continues flow mode	-	50	1000	25/1000	25
	Pressure demand or other possitive pressure mode	-	50	1000	-	-
4.	Self Contained Breathing Apparatus (SCBA)					
	Demand mode	-	10	50	50	-
	Pressure demand or other possitive pressure mode	-	-	10000	10000	-

Sumber: OSHA's Respiratory Protection Standard: 29 CFR 1910.134

Pemakaian masker oleh pekerja dengan lingkungan kerja yang banyak mengandung debu, dapat mengurangi masuknya partikel debu kedalam saluran pernapasan. Pemakaian masker diharapkan dapat melindungi pekerja dari terjadinya gangguan pernapasan akibat paparan debu. Walaupun demikian, tidak ada jaminan bahwa dengan mengenakan masker, seorang pekerja akan terhindar dari kemungkinan terjadinya gangguan pernapasan.

2.16 Strategi Pengelolaan Risiko

Menurut Louvar & Louvar (1998), pengelolaan risiko dapat dilakukan melalui beberapa strategi antara lain menurunkan konsentrasi debu, mengurangi waktu kontak dan merelokasi populasi berisiko pada area kerja yang aman. Strategi yang pertama dapat berlaku untuk semua segmen populasi sedangkan strategi ke dua hanya mudah dilakukan bagi pekerja yang dapat diatur waktu pemajannya. Strategi yang ke tiga paling sulit untuk dilakukan karena memerlukan ketersediaan biaya yang sangat mahal. Beberapa rumus atau persamaan yang dapat digunakan untuk perhitungan dalam menentukan strategi pengelolaan risiko adalah sebagai berikut :

1. Konsentrasi aman agen risiko

$$C_{nt(aman)} = \frac{R/C \times W_b \times I_{avg}}{R \times I_E \times f_E \times D_t} \dots\dots\dots(1)$$

2. Waktu pajanan aman

$$I_{Ent(aman)} = \frac{R/C \times W_b \times I_{avg}}{C \times R \times f_E \times D_t} \dots\dots\dots(2)$$

3. Frekuensi pajanan aman

$$f_{Enk(aman)} = \frac{RfC \times W_b \times t_{avg}}{C \times R \times t_E \times D_t} \dots\dots\dots(3)$$

4. Durasi pajanan aman

$$D_{tak(aman)} = \frac{RfC \times W_b \times t_{avg}}{C \times R \times t_E \times f_E} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan :

$C_{(aman)}$: Konsentrasi aman agen risiko (mg/m^3)

$t_{E(aman)}$: Waktu pajanan aman (jam/hari)

$f_{E(aman)}$: Frekuensi pajanan aman (hari/tahun)

$D_{t(aman)}$: Durasi pajanan aman (tahun)

C : Konsentrasi agen risiko (mg/m^3)

t_E : Waktu pajanan (jam/hari)

f_E : Frekuensi pajanan (hari/tahun), 250 hari berdasarkan P2PL KEMENKES (2011)

D_t : Durasi pajanan (tahun)

W_b : Berat badan (kg)

t_{avg} : Periode waktu rata-rata (hari), yaitu 365 hari/tahun x 30 tahun = 10950 hari

R : Laju inhalasi (m^3/jam), berdasarkan rumus $5,3 \ln(W_b) - 6,9$ (US-EPA, 2001)

RfC : Nilai referensi risiko paparan debu silika pada pemajanan inhalasi ($mg/kg/hari$), studi literatur berdasarkan penelitian Arba (2016) yang telah dikonversikan dengan rerata berat badan dan laju inhalasi pekerja Indonesia sehingga diperoleh nilai sebesar 0,04420 $mg/kg/hari$.

Setelah batas aman ditentukan, maka perlu dilakukan pemilihan alternatif terhadap batas aman yang paling rasional dilakukan yang dijadikan sebagai target pencapaian dalam pengelolaan risiko (Louvar & Louvar, 1998).

BAB 3

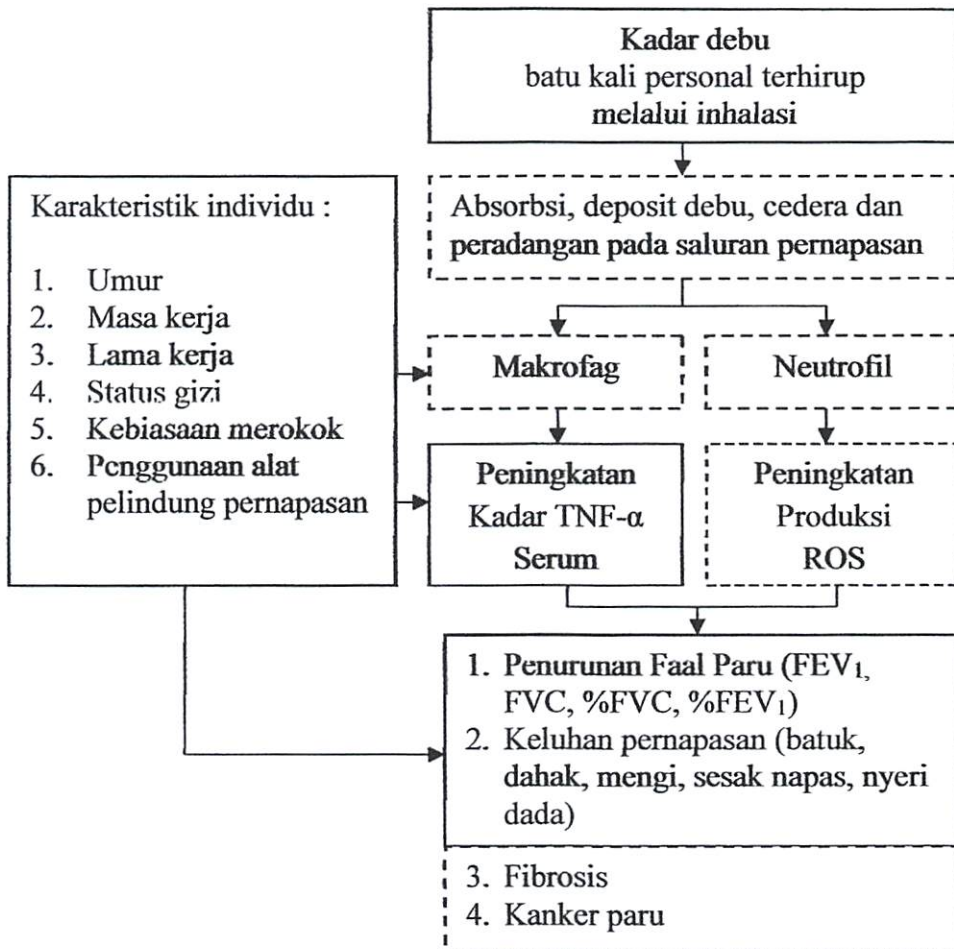
KERANGKA KONSEPTUAL



BAB 3

KERANGKA KONSEPTUAL

3.1. Kerangka Konseptual Penelitian



Keterangan :

□ : Diteliti

▤ : Tidak diteliti

Gambar 3.1 Kerangka Konsep Penelitian Pengaruh Paparan Debu Batu Kali Terhadap Peningkatan Kadar TNF-α Serum dan Penurunan Faal Paru Pada Pengrajin Batu Kali Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung.

3.2 Penjelasan Kerangka Konseptual

Berdasarkan kerangka konseptual diatas, pekerja di area *home industry* batu kali sangat mungkin terpajan debu batu kali yang mengandung partikel silika dengan ukuran sangat kecil dibawah 2,5 mikron. Debu batu kali masuk kedalam tubuh pekerja melalui inhalasi, terjadi absorpsi di saluran pernapasan dengan cara difusi pasif, yang mana kejadian ini dapat menimbulkan efek akut maupun kronis. Peningkatan deposit debu batu kali dengan kadar yang juga terus meningkat dapat menginduksi respon inflamasi dan menyebabkan cedera pada sel epitel saluran pernapasan. Hal ini selanjutnya mengakibatkan infiltrasi sel imun yang bertujuan untuk membentuk pertahanan terhadap agen yang muncul dengan pengangkutan makrofag dan neutrofil menuju ke bagian yang meradang.

Beberapa saat setelah peradangan dimulai, makrofag teraktivasi dan memulai proses fagositosis terhadap partikel debu. Pada saat terjadi proses leukositosis ini, makrofag melepaskan sitokin pro-fibrotik utama yaitu *Tumor Necrosis Factor Alpha* (TNF- α) di jaringan paru dimana hal ini juga akan meningkatkan kadar TNF- α yang terdeteksi dalam serum darah pengrajin batu kali. Aktivasi neutrofil dalam hal ini akan meningkatkan produksi oksidan yaitu *Reactive Oxygen Species* (ROS). Stimulasi TNF- α dan ROS kemudian meningkatkan regulasi sitokin profibrotik lainnya yang menginduksi pembentukan jaringan ikat dan kerusakan pada kolagen paru dalam terjadinya fibrosis (Wynn, 2011). Stimulasi tersebut pada akhirnya juga akan menginduksi terjadinya kerusakan pada rantai DNA yang memicu pertumbuhan kanker paru (Sato *et al.*, 2018).

Terjadinya inflamasi akut akan pulih dengan sendirinya apabila sel yang telah teraktivasi berhasil memusnahkan antigen yaitu partikel debu dan berhenti bekerja seiring dengan berakhirnya proses pathogenesis. Paparan debu batu kali dan aktivitas sel yang terus berlangsung selama beberapa waktu dan dengan kadar yang semakin bertambah, maka akan menyebabkan inflamasi yang bersifat kronis, selanjutnya akan mengakibatkan kerusakan pada jaringan napas dan mempengaruhi faal paru yaitu penurunan efisiensi fungsi paru (FEV_1 , FVC, $\%FEV_1$, $\%FVC$) yang ditandai dengan adanya keluhan pernapasan yang dirasakan oleh pekerja seperti batuk, dahak, mengi, sesak napas dan nyeri dada. Selain dipengaruhi oleh partikel debu yang terhirup, aktivasi sejumlah makrofag, peningkatan kadar $TNF-\alpha$ dalam serum darah dan penurunan faal paru pekerja juga dapat dipengaruhi oleh karakteristik individu seperti umur, masa kerja, lama kerja, status gizi, kebiasaan merokok dan penggunaan alat pelindung pernapasan selama bekerja.

3.3 Hipotesis Penelitian

Adapun hipotesis dalam penelitian ini adalah :

Paparan debu batu kali mempengaruhi peningkatan kadar $TNF-\alpha$ serum dan penurunan faal paru pada pengrajin batu kali Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung.

BAB 4

METODE PENELITIAN

BAB 4

METODE PENELITIAN

4.1 Jenis Penelitian dan Rancang Bangun Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian observasional yakni melakukan pengamatan, pengukuran dan pengambilan sampel di lapangan dengan tujuan untuk menganalisis pengaruh antara variabel independen (paparan debu batu kali) terhadap variabel dependen (kadar TNF- α serum dan faal paru). Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan *cross sectional* yaitu merupakan rancangan penelitian yang pengukuran dan pengamatannya dilakukan secara simultan pada satu waktu saat melakukan praktek penelitian di lapangan (Sugiyono, 2003).

4.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

4.2.1 Lokasi penelitian

Penelitian ini dilakukan pada pekerja pembuat kerajinan yang menggunakan bahan baku dari batu kali di *home industry* batu kali Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat Kabupaten Tulungagung.

4.2.2 Waktu penelitian

Penelitian dilakukan mulai bulan Maret sampai dengan bulan Mei 2019. Pengambilan data awal dilakukan pada bulan Februari 2019.



4.3 Populasi dan Sampel

4.3.1 Populasi

Populasi dalam penelitian ini adalah semua pekerja yang terpapar langsung dan yang tidak terpapar langsung oleh debu batu kali. Populasi kelompok terpapar merupakan kelompok studi yang terdiri dari seluruh pengrajin batu kali yaitu orang yang bekerja secara langsung dalam membuat barang kerajinan batu kali di Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung dengan jumlah 70 orang.

Kelompok pembanding dalam penelitian ini merupakan kelompok tidak terpapar terdiri dari seluruh pekerja non pengrajin batu kali yaitu orang yang tidak mengerjakan pembuatan kerajinan batu (pekerja bagian *finishing* dan pengelola usaha) yang bekerja di *home industry* batu kali di Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung sejumlah 50 orang.

4.3.2 Sampel

Kelompok terpapar dan kelompok tidak terpapar selanjutnya diberikan kriteria inklusi yaitu :

1. Berjenis kelamin laki-laki
2. Bekerja minimal selama 2 tahun
3. Berusia 18-50 tahun
4. Tidak memiliki riwayat penyakit saluran pernapasan seperti TBC, asma, riwayat trauma pada dada, tidak memiliki riwayat sakit jantung
5. Bersedia untuk diteliti.

4.3.3 Besar sampel

Nilai rerata untuk kelompok terpapar dan kelompok tidak terpapar mengacu pada penelitian sebelumnya yaitu diperoleh rerata pajanan debu terhadap serum TNF- α pada kelompok terpajan sebesar 2,793 sedangkan rerata pada kelompok kontrol sebesar 1,349 (Kurniawan, 2018). Adapun besar sampel dalam penelitian ini diperoleh dengan rumus uji hipotesis untuk dua proporsi dan rerata (*mean*) sebagai berikut (Purnomo, 2014) :

$$n = \frac{2 \cdot \sigma^2 (Z_\alpha + Z_\beta)^2}{(\mu_1 - \mu_2)^2}$$

$$n = \frac{2 \cdot 1,00^2 (1,96 + 0,84)^2}{(2,793 - 1,349)^2}$$

$n = 7,52$ maka dibulatkan menjadi 8

Keterangan :

Z_α : Adjusted standard deviation untuk α uji dua arah (1,96)

Z_β : Adjusted standard deviation untuk $\beta = 0,20$; power penelitian 80% (0,84)

σ : SD respons kelompok kontrol/konvensional yang diperoleh dari penelitian sebelumnya (SD = 1,00)

μ_1 : Rerata responden kelompok 1 (terpapar) yang diharapkan, diperoleh dari penelitian sebelumnya (2,793).

μ_2 : Rerata responden kelompok 2 (kontrol) yang diharapkan, diperoleh dari penelitian sebelumnya (1,349).

Apabila diperkirakan terjadi *drop out* sebesar 10% maka besar sampel dengan koreksi *drop out* adalah (Sastroasmoro, 2011):

$$n' = \frac{n}{(1-f)^2}$$

$$n' = \frac{8}{(1-0,1)^2}$$

$$n' = 10$$

Keterangan :

n' : Jumlah sampel penelitian

n : Besar sampel yang dihitung

f : Perkiraan proporsi *drop out* sekitar 10% ($f = 0,1$)

Jadi besar sampel yang dibutuhkan untuk setiap kelompok penelitian adalah 10 orang.

4.3.4 Teknik pengambilan sampel

Teknik pengambilan sampel dilakukan dengan *simple random sampling* dan dilakukan seleksi dengan menggunakan kriteria inklusi yang telah ditetapkan,

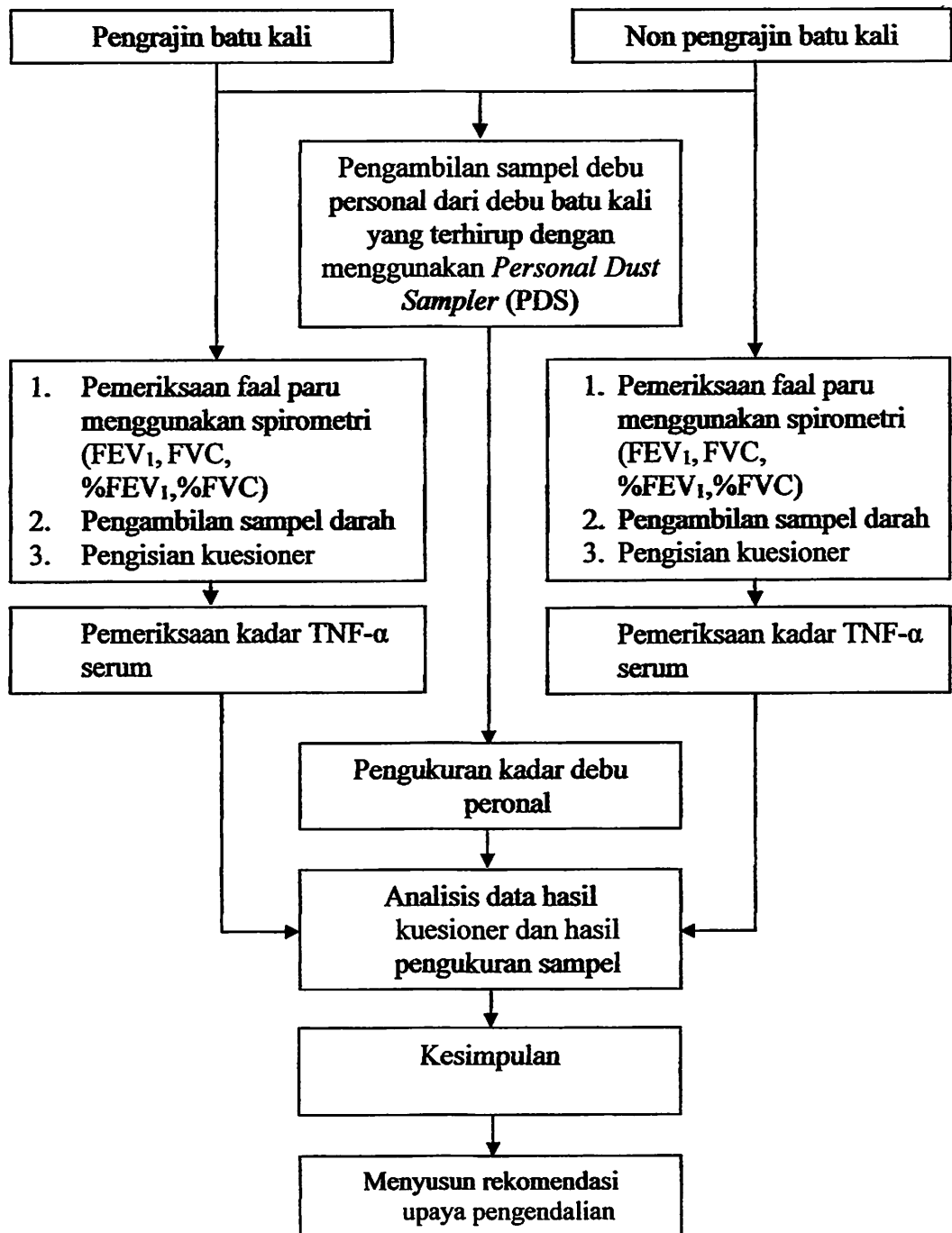
Adapun teknik pengambilan sampel dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Populasi pertama merupakan kelompok terpapar yaitu pengrajin batu kali yang bekerja di *home industry* khusus yang mengerjakan batu kali dengan produksi yang masih kontinyu yaitu sebanyak 70 orang. Selanjutnya dari total 70 orang tersebut dilakukan seleksi menggunakan kriteria inklusi untuk mendapatkan sampel yang sesuai. Sampel yang didapatkan setelah melalui proses seleksi yaitu sejumlah 40 orang. Kemudian untuk mendapatkan besar sampel yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh melalui rumus uji hipotesis untuk dua

proporsi dan rerata (*mean*) (Purnomo, 2014) dengan memperhitungkan perkiraan *drop out* 10% (Sastroasmoro, 2011) sehingga diperoleh besar sampel untuk kelompok terpapar sebanyak 10 orang yang kemudian diambil dari 40 orang yang telah lolos seleksi berdasarkan kriteria inklusi.

2. Populasi kedua merupakan kelompok tidak terpapar sebagai kelompok pembanding yaitu pekerja non pengrajin batu kali yang bekerja di *home industry* batu kali yaitu sebanyak 50 orang. Kemudian seleksi dilakukan kepada 50 orang tersebut menggunakan kriteria inklusi sehingga didapatkan 30 orang. Selanjutnya besar sampel diperoleh menggunakan rumus uji hipotesis untuk dua proporsi dan rerata (*mean*) (Purnomo, 2014) dengan memperhitungkan perkiraan *drop out* 10% (Sastroasmoro, 2011) sehingga diperoleh besar sampel untuk kelompok tidak terpapar sebanyak 10 orang yang kemudian diambil dari 30 orang non pengrajin batu kali yang telah lolos seleksi berdasarkan kriteria inklusi.

4.4 Kerangka Operasional



Gambar 4.1 Kerangka Operasional Penelitian Pengaruh Paparan Debu Batu Kali Terhadap Peningkatan Kadar TNF- α Serum dan Penurunan Faal Paru Pada Pengrajin Batu Kali Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung.

4.5 Variabel Penelitian, Definisi Operasional dan Cara Pengukuran Variabel

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah pajanan debu batu kali. Variabel tergantung dari penelitian ini adalah kadar TNF- α serum, faal paru dan keluhan pernapasan. Sedangkan karakteristik individu seperti umur, masa kerja, status gizi, kebiasaan merokok dan penggunaan alat pelindung pernapasan merupakan variabel pengganggu.

Tabel 4.1 Variabel Penelitian, Definisi Operasional dan Cara Pengukuran Variabel

No.	Variabel	Definisi Operasional	Cara Pengukuran	Kriteria	Skala Data
1.	Pajanan debu batu kali	Kadar debu batu kali (<2,5 μm) yang terhirup oleh pekerja selama 8 jam kerja	Menggunakan <i>Personal Dust Sampler</i> (PDS), dengan metode Gravimetri	NAB < 3 mg/m ³ (Permenaker No. 5 Tahun 2018)	Rasio, namun untuk deskriptif diubah menjadi nominal
2.	Kadar TNF- α	Kadar TNF- α yang diperiksa dari serum darah pekerja (pg/ml)	Dengan metode <i>Enzyme-Linked Immunosorbent Assay</i> (ELISA)	Nilai rujukan kadar TNF- α : 10-100 pg/ml	Rasio
3.	Faal Paru	Kondisi ventilasi paru yang dinilai dengan menggunakan parameter FEV ₁ , %FEV ₁ , FVC, %FVC	Pengukuran menggunakan alat spirometri	a. Normal : %FEV ₁ dan %FVC $\geq 80\%$ b. Restriksi : %FVC : < 80% c. Obstruksi : %FEV ₁ : < 75%	Rasio, namun untuk deskriptif diubah menjadi nominal

Lanjutan

Tabel 4.1 Variabel Penelitian, Definisi Operasional dan Cara Pengukuran Variabel

No.	Variabel	Definisi Operasional	Cara Pengukuran	Kriteria	Skala Data
4.	Keluhan Pernapasan	Keluhan pada saluran pernapasan yang dialami pekerja akibat terpapar agen pencemar dari pekerjaan seperti batuk, dahak, mengi, sesak napas	Kuesioner berdasarkan <i>American Thoracic Society (ATS)</i>	a. Berat : $\geq 70\%$ b. Sedang : 31-69% c. Ringan : $\leq 30\%$ (ATS, 1978)	Rasio, namun untuk deskriptif diubah menjadi ordinal
5.	Umur	Usia responden yang dihitung dalam tahun sejak tahun kelahiran sampai dengan tahun pada waktu dilakukan penelitian	Kuesioner	Dikategorikan berdasarkan <i>cut of point mean</i> (data berdistribusi normal) a. $< mean$ (< 36 tahun) b. $\geq mean$ (≥ 36 tahun)	Rasio, namun untuk deskriptif diubah menjadi nominal
6.	Masa Kerja	Periode responden bekerja mulai masuk kerja sampai penelitian dilakukan (dalam tahun)	Kuesioner	Dikategorikan berdasarkan <i>cut of point mean</i> (data berdistribusi normal) a. $< mean$ (< 14 tahun) b. $\geq mean$ (≥ 14 tahun)	Rasio, namun untuk deskriptif diubah menjadi nominal
7.	Lama Kerja	Lama waktu yang digunakan responden untuk bekerja dalam sehari (dalam jam)	Kuesioner	Dikategorikan berdasarkan <i>cut of point mean</i> a. $< mean$ (< 8 jam)	Rasio, namun untuk deskriptif diubah menjadi

Lanjutan

Tabel 4.1 Variabel Penelitian, Definisi Operasional dan Cara Pengukuran Variabel

No.	Variabel	Definisi Operasional	Cara Pengukuran	Kriteria	Skala Data
				b. $\geq mean$ (≥ 8 jam)	diubah menjadi nominal
8.	Status Gizi	Hasil perhitungan IMT yang menggambarkan status gizi berkaitan dengan kekurangan atau kelebihan berat badan	Perhitungan secara matematis $IMT = BB/TB^2$ TB diukur dengan mikrotoa dan berat badan diukur dengan timbangan badan	a. $< 18,5 =$ Kurus b. $18,5-25 =$ Normal c. $> 25 =$ Gemuk (Depkes, 2003)	Rasio, namun untuk deskriptif diubah menjadi ordinal
9.	Kebiasaan Merokok	Derajat merokok yang dinyatakan dalam <i>Indeks Brinkman</i> yaitu hasil perkalian antara lama merokok (dalam tahun) dengan rerata jumlah batang rokok yang dihisap per hari. Perokok adalah responden yang masih aktif merokok pada saat penelitian dilakukan	Kuesioner	a. 0-200: Perokok ringan b. 201-600: Perokok sedang c. >600 : Perokok berat (Depkes, 2003)	Rasio, namun untuk deskriptif diubah menjadi ordinal
10.	Pemakaian alat pelindung pernapasan	Pemakaian alat pelindung pernapasan yang sesuai dengan standar, cara pemakaian yang benar serta kondisi alat pelindung yang baik	Observasi, kemudian dilakukan penilaian dan skoring pada setiap item observasi, hasil akhir berupa skor dalam bentuk persen	a. Sesuai (jika skor $\geq 60\%$) b. Tidak sesuai (jika skor $< 60\%$) (Suma'mur, 2013)	Rasio, namun untuk deskriptif diubah menjadi nominal

4.6 Teknik dan Prosedur Pengumpulan Data

4.6.1 Prosedur pengukuran pajanan debu batu kali

Pengambilan dan pengukuran sampel debu batu kali dilakukan oleh petugas dari UPT K3 Surabaya menggunakan *Personal Dust Sampler* (PDS) dengan filter yang berbahan serat gelas (*glass microfiber filter*) dan siklon khusus untuk debu personal (*respirable*) dibawah 2,5 mikron. Kemudian untuk pengujian dilakukan di laboratorium UPT K3 dengan prosedur sebagai berikut :

1. Memasukkan filter blanko dan filter sampel kedalam desikator selama kurang lebih 24 jam sebelum filter digunakan.
2. Filter debu ditimbang menggunakan neraca analitik hingga didapatkan berat yang konstan kemudian melakukan pencatatan untuk berat awal filter tersebut. Kode B_1 untuk filter blanko dan W_1 untuk filter sampel.
3. Memindahkan filter kedalam wadah yang aman menggunakan pinset serta memberikan identitas pada wadah filter dan filter siap dibawa untuk pengambilan sampel.
4. Memasang alat PDS pada tiap pekerja dengan posisi pipa hisap berada sedekat mungkin dengan area pernapasan. Kemudian alat dihidupkan dengan menekan tombol power dan mengatur laju alir (laju hisap) alat pada 2 liter/menit.
5. Pengambilan sampel debu sesuai dengan waktu yang ditentukan serta melakukan pengukuran suhu, kelembaban dan tekanan udara. Kemudian hasilnya dicatat dalam wadah filter.

6. Setelah selesai, kemudian mematikan alat PDS dan filter diambil dengan menggunakan pinset. Filter tersebut dilipat menjadi 2 dan dimasukkan kembali ke dalam wadahnya.
7. Memasukkan filter ke dalam desikator selama 24 jam kemudian melakukan penimbangan setelahnya hingga berat konstan. Mencatat berat filter setelah digunakan. Kode B_2 (mg) untuk filter blanko dan W_2 (mg) untuk filter sampel.
8. Melakukan perhitungan kadar debu dengan rumus (SNI 7325:2009):

$$C = \frac{(W_2 - W_1) - (B_2 - B_1) \times 10^3 \text{ mg/m}^3}{V}$$

$$V = f \times t$$

Keterangan :

C	= kadar debu (mg/m ³)
W ₁	= berat filter sampel awal sebelum pengambilan sampel (mg)
W ₂	= berat filter sampel akhir setelah pengambilan sampel (mg)
B ₁	= berat filter blanko awal sebelum pengambilan sampel (mg)
B ₂	= berat filter blanko akhir setelah pengambilan sampel (mg)
V	= volume udara yang dihisap pada saat pengambilan sampel (l)
f	= kecepatan aliran udara pada waktu pengambilan sampel (l/menit)
t	= waktu pengambilan sampel (menit)
1000	= konversi liter ke m ³

4.6.2 Prosedur pengukuran faal paru

Pengukuran faal paru dilakukan dengan menggunakan parameter FEV₁, FVC, %FEV₁, %FVC. Pengukuran dilakukan oleh petugas dari UPT K3 Surabaya dengan alat spirometri. Prosedur pengukuran faal paru adalah sebagai berikut :

1. Melakukan persiapan dan kalibrasi alat yang digunakan, spirometri dihubungkan dengan listrik.
2. Memberikan penjelasan secara singkat kepada responden tentang tujuan dan manfaat penelitian serta prosedur pemeriksaan dengan spirometri sehingga responden memahami yang harus dilakukan.
3. Memasukkan data responden seperti nomor urut, nama, umur, jenis kelamin, tanggal lahir, berat badan serta tinggi badan pada alat spirometer.
4. Pelaksanaan pengukuran pada responden dilakukan dengan posisi berdiri tegak.
5. Responden diminta untuk menutup hidung selama pengukuran berlangsung, jika diperlukan dapat menempatkan penjepit hidung pada pekerja untuk mengoklusi lubang hidung.
6. Memasang *mouth piece* pada responden.
7. Menekan tombol *start*, kemudian meminta responden untuk menarik napas (inspirasi) sekuat-kuatnya semaksimal mungkin, kemudian merapatkan bibir di sekitar *mouthpiece* dan menghembuskan napas tanpa terputus secara maksimal secepatnya dan selama mungkin sampai dirasa tidak ada lagi udara di rongga dada, kemudian tarik napas lagi sekuat mungkin.
8. Pemeriksaan faal paru dianggap memenuhi syarat abila *acceptable* dan *reproducible*. Tidak *acceptable* disebabkan karena batuk, berhenti sebelum waktunya atau tidak menuruti perintah teknisi. Dikatakan *reproducible* apabila setidaknya diperoleh 3 hasil (kurva) yang dapat diterima, yaitu variasi ketiga pengukuran tidak boleh lebih dari 10% atau 100 ml.

9. Setelah pengukuran selesai, menekan tombol *stop*. Hasil pengukuran langsung dicetak dengan menekan tombol *print* pada alat. Untuk hasil pengukuran yang belum valid dilakukan pengukuran ulang.
10. Nilai yang digunakan adalah nilai yang tertinggi dari ketiga pengukuran tersebut.

4.6.3 Prosedur pengambilan sampel darah vena

Pengambilan darah vena dilakukan oleh seorang analis dengan prosedur sebagai berikut :

1. Menyiapkan peralatan yang diperlukan antara lain : spuit *disposable* 5 ml dengan jarum 22 G, alkohol swab, tali pembendung (*torniquet*), plester, dan *vacutainer plain* yang ditempel stiker sesuai dengan data responden.
2. Menyiapkan tempat pembuangan limbah medis (*sharps safety box*) yang digunakan untuk membuang jarum bekas pakai dan kantong plastik *biohazard* untuk sampah medis seperti alkohol swab bekas pakai.
3. Mencuci tangan sebelum pengambilan darah vena dengan menggunakan sabun dan air mengalir, kemudian mengeringkan dengan tissue sekali pakai.
4. Menggunakan *handscoon* selama proses pengambilan sampel darah.
5. Meminta responden untuk duduk dengan posisi tegak dan nyaman mungkin. Meminta responden meluruskan salah satu lengannya dan meletakkannya pada meja atau bangku, memilih lengan yang paling sering digunakan untuk beraktivitas atau lengan dengan pembuluh vena yang teraba atau terlihat.

6. Memasang *tourniquet* sekitar 5 cm (4-5 jari) diatas lipatan siku vena cubiti dan tidak terlalu kencang.
7. Meminta responden untuk mengepalkan jari tangan dengan tujuan agar pembuluh vena terlihat.
8. Mengambil darah pada bagian vena median cubital pada lipatan siku.
9. Melakukan perabaan (*palpasi*) untuk memastikan posisi vena, dimana vena yang teraba seperti sebuah pipa kecil, elastis dan memiliki dinding tebal. Jika vena tidak teraba, maka dilakukan pengurutan dari arah pergelangan ke siku, atau mengompres dengan air hangat selama 5 menit di daerah lengan.
10. Melakukan desinfeksi kulit pada bagian yang akan diambil (*vena cubiti*) dengan alkohol swab 70% dengan cara memutar dari dalam keluar dan dibiarkan kering untuk menghindari kontaminasi. Kulit yang sudah dibersihkan tidak boleh dipegang kembali.
11. Darah diambil sebanyak 5 ml menggunakan spuit 5 ml dan jarum 22 G
12. Menempatkan keempat jari memegang bagian bawah sebagai penyangga dan ibu jari berada diatas Menusuk bagian vena dengan posisi lubang jarum menghadap ke atas dengan sudut 30 derajat. Pada saat jarum telah masuk kedalam vena, kemudian terlihat darah masuk kedalam semprit (*flash*). Mengupayakan sekali tusuk kena dan segera melepas *tourniquet* selanjutnya meminta pasien membuka kepalan tangannya secara perlahan.
13. Setelah volume darah dianggap cukup, spuit ditarik secara perlahan, kemudian meletakkan kapas kering dan menempelkan plester pada area bekas

suntikan dengan memberikan sedikit tekanan dengan posisi lengan tetap lurus.

14. Segera melepaskan jarum untuk menghindari terjadinya *hemolysis* dan membuangnya kedalam kotak limbah medis (*sharps safety box*).
15. Membuka penutup *vacutainer plain*, kemudian darah vena dimasukkan kedalam *vacutainer plain* melalui dinding tabung untuk proses pembuatan serum.

4.6.4 Pemeriksaan TNF- α serum

Pemeriksaan kadar TNF- α serum dengan menggunakan teknik ELISA dengan prosedur sebagai berikut :

1. Pengambilan sampel serum
 - a. Mengambil ± 5 cc darah responden, memasukkan kedalam *vacuum tube*, dibiarkan maksimal selama 30 menit sampai dengan 1 jam lalu *vacuum tube* diputar.
 - b. Kemudian sampel disentrifus dalam kecepatan 3000 rpm agar serum dan darah terpisah.
 - c. Setelah terpisah, serum diambil dengan menggunakan pipet mikro dan dimasukkan kedalam tabung *aliquot* dan ditutup rapat, kemudian dimasukan kedalam *cool box* yang telah berisi *refrigerant gel* untuk pengawetan sampel hingga tiba di laboratorium.
 - d. Analisis dilakukan sesegera mungkin setelah sampel tiba di laboratorium, namun bila tidak memungkinkan sampel dapat disimpan dalam *freezer* dengan suhu -20°C .

2. Pengujian sampel serum

a. Pembuatan larutan standar

- 1) Menyiapkan *microplate* yang dilapisi dengan *monoclonal antibody* yang spesifik untuk TNF- α pada tiap lubangnya
- 2) Mengencerkan larutan standar yang tersedia dalam tabung reaksi yaitu sebagai berikut :

Tabel 4.2 Prosedur Pengenceran Larutan Standar TNF- α

Kadar	Standar	Prosedur Pengenceran
480 ng/L	Standar 5	120 μ l Original standar + 120 μ l standar diluent
240 ng/L	Standar 4	120 μ l standar 5 + 120 μ l standar diluent
120 ng/L	Standar 3	120 μ l standar 4 + 120 μ l standar diluent
60 ng/L	Standar 2	120 μ l standar 3 + 120 μ l standar diluent
30 ng/L	Standar 1	120 μ l standar 2 + 120 μ l standar diluent

- 3) Kemudian memasukkan ke setiap lubang *microplate* sebanyak 50 μ L larutan standar 1 sampai dengan 5.
- b. Kemudian memasukkan 40 μ l larutan sampel dan 10 μ l anti-TNF- α antibodi ke lubang *microplate* sampel. Lalu memasukkan 50 μ l streptavidin-HRP ke lubang *microplate* sampel dan lubang *microplate* standar. Kedua larutan kemudian dicampur atau dihomogenkan dengan perlakuan yang sama. Kemudian lubang *microplate* ditutup dengan menggunakan penutup berperekat dan diinkubasi pada suhu 37°C selama 1 jam.

- c. Mencuci *microplate* berisi standar sampel yang dilakukan sebanyak 5 kali dengan menggunakan larutan *wash buffer*. Melakukan perendaman pada *microplate* setidaknya dengan 0,35 ml *wash buffer* selama 30 detik hingga 1 menit untuk setiap pencucian.
- d. Menambahkan 50 μ L larutan *Chromogen Sol A* dan 50 μ L larutan *Chromogen Sol B* pada setiap *plate*. Setelah itu diinkubasi kembali pada suhu 37°C selama 10 menit.
- e. Menambahkan 50 μ L *stop solution* ke setiap lubang *microplate*, sampai terjadi perubahan warna dari biru menjadi kuning.
- f. Pembacaan absorbansi dengan menggunakan *Microplate Reader* dengan panjang gelombang 450 nm.
- g. Perhitungan kadar TNF- α serum darah :
Hasil yang tertera pada layar adalah hasil pengukuran absorbansi dan konsentrasi sampel. Satuan yang digunakan yaitu ng/L (1 ng/L setara dengan 1 pg/ml).

4.6.5 Pengumpulan data karakteristik subjek penelitian

Pengumpulan data primer mengenai karakteristik responden dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Pengisian kuesioner dengan metode wawancara untuk mengetahui keluhan pernapasan dan karakteristik responden yakni mengenai umur, masa kerja, lama kerja, kebiasaan merokok.
2. Observasi dilakukan untuk menilai kesesuaian pemakaian alat pelindung pernapasan dengan standar yang berlaku.

3. Pengumpulan data status gizi dengan metode, alat dan bahan serta langkah sebagai berikut:
- a. Pengukuran status gizi dengan indikator Indeks Massa Tubuh (IMT) dengan cara membagi berat badan (BB) dengan kuadrat tinggi badan (TB^2). Kemudian untuk memperoleh nilai IMT, dilakukan pengukuran terhadap berat badan dan tinggi badan pekerja.
 - b. Alat dan Bahan
 - 1) Timbangan badan dan microtoa.
 - 2) Kertas
 - 3) Pulpen
 - c. Langkah Pengukuran
 - 1) Responden diminta naik ke alat penimbang berat badan dengan posisi kaki tepat di tengah alat timbang.
 - 2) Responden harus berdiri tegak, tenang dan tidak bergerak serta kepala memandang lurus kedepan (tidak menunduk).
 - 3) Hasil pengukuran berat badan, ditunggu sampai angka pada jendela baca berhenti. Angka yang tepat dan indikator telah berada pada nilai tetap merupakan nilai dari berat badan responden.
 - 4) Hasil pengukuran tinggi badan, microtoa dipasang di tembok dengan benar dan memastikan responden dapat berdiri pada lantai yang rata. Menarik microtoa hingga menyentuh kepala responden. Memastikan microtoa berada tepat di tengah permukaan kepala responden.
 - 5) Hasil pengukuran berat badan dan tinggi badan dicatat oleh peneliti.

4.7 Pengolahan dan Analisis Data

4.7.1 Pengolahan data

Penyajian data merupakan kegiatan yang dilakukan dalam pembuatan laporan hasil penelitian yang dilakukan agar laporan dapat dipahami dan dianalisis sesuai dengan tujuan yang diinginkan, kemudian ditarik kesimpulan sehingga menggambarkan hasil penelitian (Suyanto, 2005). Teknik penyajian data yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

a. Pemeriksaan data (*editing*)

Editing dilakukan sebelum pengolahan data. Data yang dikumpulkan dari kuesioner perlu dibaca dan diperbaiki, apabila terdapat hal yang keliru atau masih meragukan, misalnya melihat kelengkapan kuesioner yang diisi, keterbacaan tulisan, kejelasan makna dan jawaban, dan kesesuaian antara pertanyaan yang lain. Hal ini dilakukan untuk memperbaiki kualitas data serta menghilangkan keraguan data.

b. Pemberian skor (*scoring*)

Dimaksudkan untuk menentukan skor atau nilai dari jawaban responden, dengan nilai tertinggi sampai nilai terendah dari kuesioner yang diajukan.

c. Tabulasi (*tabulating*)

Kegiatan ini dilakukan dengan cara memasukkan data yang diperoleh kedalam tabel sesuai dengan variabel yang diteliti.

4.7.2 Analisis data

Data yang diperoleh dalam penelitian ini disajikan dalam bentuk tabel, grafik dan narasi kemudian dianalisis menggunakan program statistika sebagaimana diuraikan pada Tabel 4.3 berikut :

Tabel 4.3 Rekapitulasi Uji Statistik

No.	Analisis	Uji Statistik
1.	Uji normalitas data untuk sampel kurang dari 50	<i>Shapiro Wilk</i>
2.	Uji pengaruh kadar debu batu kali terhadap peningkatan kadar TNF- α serum pada pengrajin batu kali	Regresi Linier Sederhana
3.	Uji pengaruh kadar debu batu kali terhadap penurunan faal paru (FEV ₁ , %FEV ₁ , FVC, %FVC) pada pengrajin batu kali	Regresi Linier Sederhana
4.	Uji pengaruh kadar TNF- α serum terhadap penurunan faal paru (FEV ₁ , %FEV ₁ , FVC, %FVC) pada pengrajin batu kali	Regresi Linier Sederhana
5.	Uji pengaruh kadar debu batu kali dan karakteristik individu (umur, masa kerja, lama kerja, status gizi, kebiasaan merokok dan penggunaan alat pelindung pernapasan) terhadap peningkatan kadar TNF- α serum pada pengrajin batu kali	Regresi Linier Berganda
6.	Uji pengaruh kadar debu batu kali dan karakteristik individu (umur, masa kerja, lama kerja, status gizi, kebiasaan merokok dan penggunaan alat pelindung pernapasan), serta peningkatan kadar TNF- α serum terhadap penurunan faal paru (FEV ₁ , %FEV ₁ , FVC, %FVC) pada pengrajin batu kali	Regresi Linier Berganda
7.	Uji pengaruh kadar debu batu kali, karakteristik individu (umur, masa kerja, lama kerja, status gizi, kebiasaan merokok dan penggunaan alat pelindung pernapasan) serta peningkatan kadar TNF- α serum terhadap keluhan pernapasan pada pengrajin batu kali	Regresi Linier Berganda

BAB 5

HASIL DAN ANALISIS DATA



BAB 5

HASIL DAN ANALISIS DATA

5.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Desa Gamping terbagi menjadi dua dusun yaitu Dusun Cerme dan Gamping. Luas wilayah Desa Gamping sebesar 472.405 Ha, dimana luas Dusun Cerme 113.640 Ha dan Dusun Gamping 108.565 Ha. Jarak desa dengan pusat kecamatan sekitar 2,5 kilometer yang dapat ditempuh dalam waktu 10 menit.

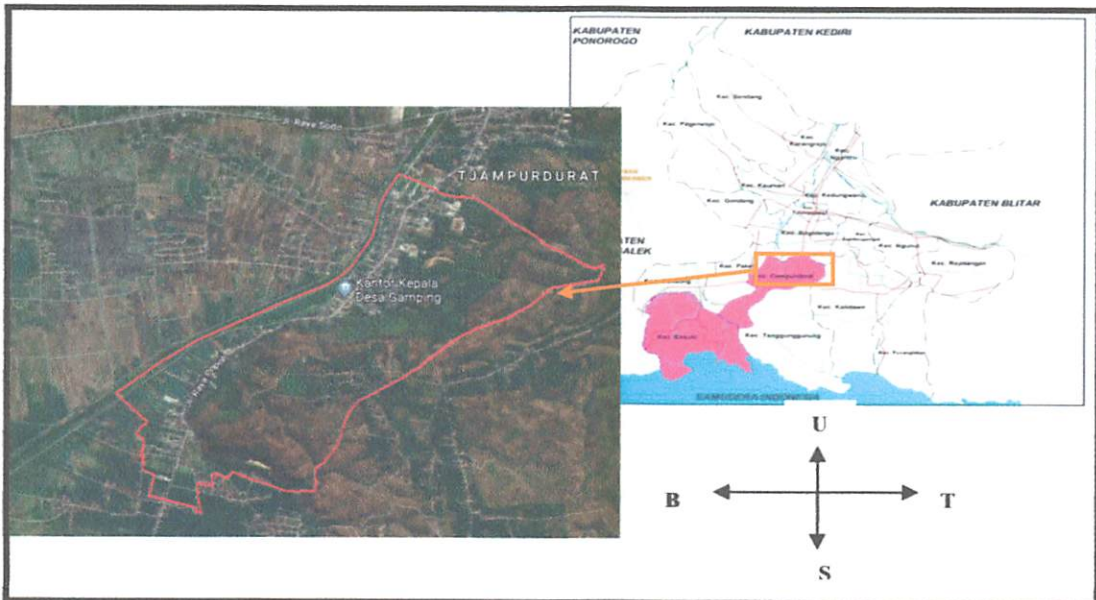
Adapun batas wilayah Desa Gamping adalah sebagai berikut :

Sebelah Utara : Desa Campurdarat

Sebelah Timur : Desa Ngepoh

Sebelah Selatan : Desa Gedangan

Sebelah Barat : Desa Tamban



Gambar 5.1 Lokasi Penelitian *Home Industry* Batu Kali di Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung

Tulungagung bagian selatan memiliki daerah perbukitan kapur yang luas dan sungai yang cukup besar, hal ini memberikan keuntungan tersendiri bagi masyarakat di Kecamatan Campurdarat, tepatnya di Desa Gamping. Sungai yang ada di wilayah tersebut menghasilkan batu kali yang kemudian ditambang dan dikreasikan oleh masyarakat setempat menjadi aneka macam produk kerajinan yang memiliki nilai jual cukup tinggi. Desa Gamping telah berkembang menjadi sentra penghasil kerajinan batu kali yang tersohor di berbagai daerah. Beberapa produk unggulan yang dihasilkan antara lain meja batu, kursi batu, meja makan, *bathtub*, hiasan ruangan yang banyak diminati konsumen lokal maupun pasar internasional. Sebagian besar produk industri batu kali dipasarkan ke daerah Semarang, Yogyakarta, Jakarta, Surabaya, dan Denpasar. Selain pasar lokal, pemasaran *home industry* kerajinan batu kali ini sudah menjangkau mancanegara seperti Amerika Serikat, Australia, Korea, Jepang, Brunei Darussalam, dan beberapa negara lainnya di daratan Eropa.

Kegiatan *home industry* kerajinan batu kali di Desa Gamping memiliki karakteristik tersendiri. Sebagian besar *home industry* merupakan milik pribadi yang dikerjakan secara perorangan serta melibatkan kerabat dan tetangga sekitar. Proses produksi dilaksanakan di suatu area khusus di depan rumah yang dikelola secara kolektif dari beberapa pengrajin. Proses produksi di wilayah ini masih berlangsung secara kontinyu karena permintaan yang masih terus ada. Potret pekerja batu kali di Desa Gamping diantaranya adalah jam kerja yang tidak mengikat sehingga semakin banyak permintaan maka semakin tinggi produksi pembuatan kerajinan batu kali. Produk kerajinan batu kali yang dihasilkan dalam

sehari dapat mencapai 8-10 buah per orang. Selain itu jenis kerajinan yang dikerjakan disesuaikan dengan permintaan konsumen, peralatan yang digunakan belum begitu canggih, serta belum tersedia sistem yang efektif untuk mengurangi pajanan debu batu kali yang mengenai pekerja.

5.2 Identifikasi Karakteristik Individu

Responden pada penelitian ini berjumlah 20 orang pekerja di *home industry* batu kali yang terbagi kedalam 2 kelompok yaitu 10 orang pengrajin yang terpapar langsung oleh debu batu kali sebagai kelompok studi dan 10 orang sebagai kelompok pembanding yaitu non pengrajin batu kali yang terdiri dari pengelola usaha dan pekerja bagian *finishing*. Karakteristik individu yang diteliti pada penelitian ini meliputi umur, masa kerja, lama kerja, status gizi, kebiasaan merokok dan pemakaian alat pelindung pernapasan.

5.2.1 Umur

Kategori umur diperoleh dari nilai *cut of point mean* berdasarkan pada pengujian *Shapiro-Wilk*. Hasil uji deskriptif menunjukkan nilai *mean* untuk umur adalah 36,3 sehingga untuk umur responden dapat dikategorikan menjadi <36 dan ≥36 tahun.

Tabel 5.1 Distribusi Frekuensi Umur Responden di *Home Industry* Batu Kali Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung Tahun 2019

Umur	Responden				Total	
	Pengrajin		Non Pengrajin		n	%
	n	%	n	%		
<36 tahun	3	30	3	30	6	30
≥36 tahun	7	70	7	70	14	70
Total	10	100	10	100	20	100
Rerata ± SD	37,00 ± 6,69		35,60 ± 10,22		p = 0,721	
Minimum/Maksimum	26/45		20/46			

Tabel 5.1 menunjukkan bahwa umur responden baik pada pengrajin maupun non pengrajin batu kali sebagian besar ≥ 36 tahun (70%). Demikian pula umur pekerja tertua pada pengrajin dan non pengrajin batu kali juga tidak jauh berbeda yaitu 45 tahun untuk pengrajin batu kali dan 46 tahun untuk non pengrajin batu kali.

Berdasarkan hasil analisis statistik dengan uji t dua sampel bebas diperoleh nilai $p = 0,721$ sehingga tidak ada perbedaan yang signifikan secara statistik antara umur pengrajin dan non pengrajin batu kali.

5.2.2 Masa kerja

Masa kerja merupakan periode responden bekerja mulai masuk kerja sampai penelitian dilakukan, yang dinyatakan dalam satuan tahun. Kategori masa kerja diperoleh dari nilai *cut of point mean*, dimana data berdistribusi normal. Adapun masa kerja responden di *home industry* batu kali Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung dapat dilihat berdasarkan Tabel 5.2 berikut :

Tabel 5.2 Distribusi Frekuensi Masa Kerja Responden di *Home Industry* Batu Kali Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung Tahun 2019

Masa Kerja	Responden				Total	
	Pengrajin		Non Pengrajin		n	%
	n	%	n	%		
<14 tahun	6	60	4	40	10	50
≥ 14 tahun	4	40	6	60	10	50
Total	10	100	10	100	20	100
Rerata \pm SD	12,50 \pm 7,52		15,60 \pm 8,96		p = 0,413	
Minimum/Maksimum	2/25		3/25			

Berdasarkan hasil pada Tabel 5.2 dapat dilihat bahwa sebagian besar pengrajin batu kali memiliki masa kerja <14 tahun (60%), sedangkan pada non pengrajin batu kali sebagian besar memiliki masa kerja \geq 14 tahun (60%). Masa kerja terlama pada kedua kelompok pekerja adalah 25 tahun. Masa kerja terpendek pada pengrajin batu kali adalah 2 tahun, lebih singkat 1 tahun dibandingkan dengan masa kerja non pengrajin batu kali yang mencapai 3 tahun.

Hasil analisis statistik dengan uji t dua sampel bebas didapatkan $p = 0,413$ dimana artinya tidak terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik antara masa kerja pengrajin dan non pengrajin batu kali.

5.2.3 Lama kerja

Lama kerja merupakan waktu yang digunakan responden untuk bekerja dalam satuan jam per hari. Berdasarkan hasil kuesioner diperoleh bahwa lama kerja pengrajin dan non pengrajin batu kali adalah sebagai berikut :

Tabel 5.3 Distribusi Frekuensi Lama Kerja Responden di *Home Industry* Batu Kali Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung Tahun 2019

Lama Kerja	Responden				Total	
	Pengrajin		Non Pengrajin		n	%
	n	%	n	%		
<8 jam	3	30	0	0	3	15
\geq 8 jam	7	70	10	100	17	85
Total	10	100	10	100	20	100
Rerata \pm SD	8,00 \pm 1,56		8,60 \pm 1,35		p = 0,370	
Minimum/Maksimum	6/12		8/12			

Hasil penelitian pada yang ditunjukkan oleh Tabel 5.3 menunjukkan bahwa lama kerja pada pengrajin dan non pengrajin batu kali sebagian besar menunjukkan \geq 8 jam dalam sehari, yaitu 70% pada pengrajin batu kali dan 100% pada non pengrajin batu kali, sedangkan lama jam kerja maksimum untuk kedua

kelompok pekerja adalah 12 jam. Hasil analisis statistik dengan uji t dua sampel bebas didapatkan $p = 0,370$ yang artinya tidak terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik antara lama kerja pengrajin dan non pengrajin batu kali.

5.2.4 Status gizi

Status gizi responden diukur dari Indeks Masa Tubuh (IMT) berdasarkan rumus berat badan (kg) dibagi dengan tinggi badan kuadrat dalam satuan (m^2). Kriteria yang digunakan dalam pengkategorian statusgizi responden berdasarkan IMT yaitu : kurus apabila $IMT < 18,5$; normal apabila $IMT 18,5-25,0$ dan gemuk apabila $IMT > 25,0$ (Depkes, 2003).

Tabel 5.4 Distribusi Frekuensi Status Gizi Responden di *Home Industry* Batu Kali Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung Tahun 2019

Status Gizi	Responden				Total	
	Pengrajin		Non Pengrajin		n	%
	n	%	n	%		
Kurus ($IMT < 18,5$)	0	0	0	0	0	0
Normal ($IMT = 18,5-25$)	5	50	9	90	14	70
Gemuk ($IMT > 25$)	5	50	1	10	6	30
Total	10	100	10	100	20	100
Rerata \pm SD	24,25 \pm 4,76		23,49 \pm 4,22		p = 0,709	
Minimum/Maksimum	18,49/32,66		19,96/34,67			

Berdasarkan Tabel 5.4 dapat diketahui bahwa status gizi (IMT) pada pengrajin batu kali berada pada kategori normal (50%) dan gemuk (50%). Sedangkan pada non pengrajin batu kali sebagian besar memiliki IMT normal (90%) dan hanya 1 orang saja yang memiliki IMT kurus. Hasil analisis statistik dengan uji t dua sampel bebas diperoleh nilai $p = 0,709$ sehingga tidak terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik antara status gizi (IMT) pengrajin dan non pengrajin batu kali.

5.2.5 Kebiasaan merokok

Kebiasaan merokok ditentukan berdasarkan *Indeks Brinkman* (IB) yaitu jumlah kumulatif rokok yang dihitung dengan cara mengalikan rerata jumlah batang rokok yang dihisap perhari oleh pekerja dikalikan dengan lama merokok (dalam tahun) secara aktif sampai dengan penelitian ini dilakukan. Apabila pekerja merupakan mantan perokok yang telah berhenti dalam jangka waktu 10 tahun maka dianggap bukan perokok. Kriteria kebiasaan merokok yaitu IB = 0-200 merupakan perokok ringan, IB = 201-600 merupakan perokok sedang dan IB > 600 termasuk perokok berat.

Tabel 5.5 Distribusi Frekuensi Kebiasaan Merokok Responden di *Home Industry* Batu Kali Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung Tahun 2019

Kebiasaan Merokok (Batang per Tahun)	Responden				Total	
	Pengrajin		Non Pengrajin		n	%
	n	%	n	%		
Ringan (IB = 0-200)	6	60	8	80	14	70
Sedang (IB = 201-600)	4	40	2	20	6	30
Berat (IB > 600)	0	0	0	0	0	0
Total	10	100	10	100	20	100
Rerata ± SD	186,80±142,04		80,70 ± 115,22		p = 0,083	
Minimum/Maksimum	0,00/456,00		0,00/324,00			

Berdasarkan Tabel 5.5 sebagian besar pekerja di *home industry* batu kali merupakan perokok ringan yaitu 60% pada pengrajin batu kali dan 80% pada non pengrajin batu kali. Jumlah maksimum batang rokok yang dihisap setiap tahun pada setiap kelompok pekerja di *home industry* batu kali yaitu 456 batang pertahun yang dikonsumsi oleh pengrajin batu kali dan 324 batang pertahun pada non pengrajin batu kali. Hasil analisis statistik dengan uji t dua sampel bebas

diperoleh nilai $p = 0,083$ sehingga tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara kebiasaan merokok pengrajin dan non pengrajin batu kali.

5.2.6 Pemakaian alat pelindung pernapasan

Pemakaian alat pelindung pernapasan penting untuk dilakukan sebagai upaya mengurangi paparan debu di tempat kerja. Alat pelindung pernapasan yang digunakan hendaknya memenuhi persyaratan yaitu nyaman saat dipakai dan yang terpenting adalah sesuai dengan standar, dalam hal ini dapat mereduksi partikel debu dengan ukuran $<2,5$ mikron. Berdasarkan hasil kuesioner dan observasi diperoleh distribusi pemakaian alat pelindung pernapasan pada pengrajin dan non pengrajin batu kali adalah sebagai berikut :

Tabel 5.6 Distribusi Frekuensi Pemakaian Alat Pelindung Pernapasan Responden di *Home Industry* Batu Kali Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung Tahun 2019

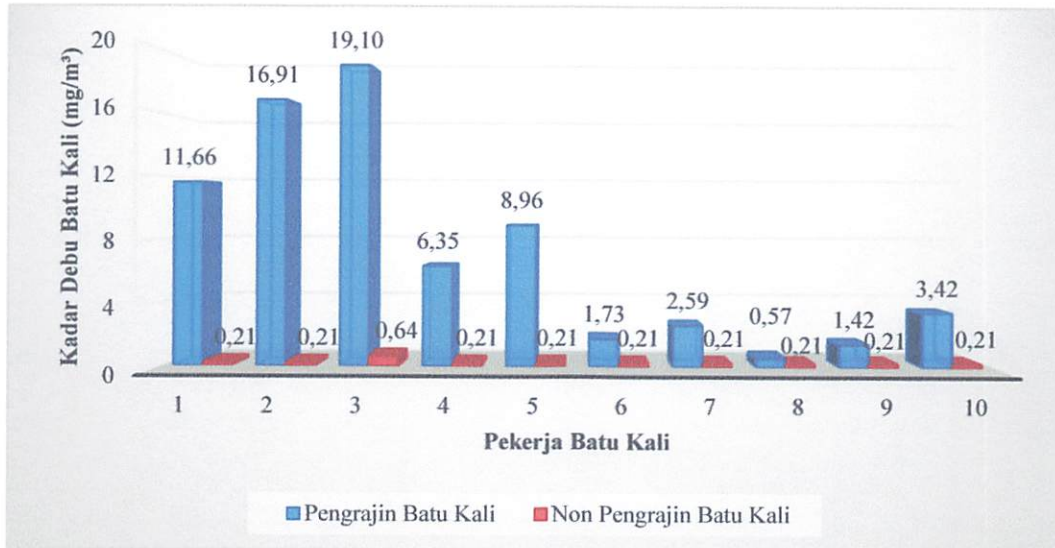
Pemakaian Alat Pelindung Pernapasan	Responden				Total	
	Pengrajin		Non Pengrajin		n	%
	n	%	n	%		
Sesuai	3	30	0	0	3	15
Tidak sesuai	7	70	10	100	17	85
Total	10	100	10	100	20	100

Hasil penelitian yang ditunjukkan oleh Tabel 5.6, sebagian besar pengrajin batu kali (70%) memakai alat pelindung pernapasan yang tidak sesuai dengan standar, sedangkan pada non pengrajin batu kali seluruhnya (100%) tidak memakai alat pelindung pernapasan selama bekerja. Sebagian besar pengrajin batu kali hanya menggunakan pelindung pernapasan dari bahan kaos yang tentunya tidak dapat mereduksi partikel debu dibawah 2,5 mikron.

5.3 Kadar Debu Batu Kali

Kadar debu batu kali yang terhirup oleh setiap pekerja dapat diperoleh dengan mengambil sampel partikel debu perorangan menggunakan alat *Personal Dust Sampler* (PDS). Berdasarkan Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi No. 5 Tahun 2018 tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja menyebutkan bahwa nilai ambang batas untuk partikel debu terhirup di tempat kerja adalah 3 mg/m^3 untuk 8 jam kerja sehari atau 40 jam kerja seminggu (Permenaker No. 5 Tahun 2018). Kadar debu batu kali terhirup pada pengrajin dan non pengrajin batu kali diketahui sebagai berikut :

Gambar 5.2 Hasil Pengukuran Kadar Debu Batu Kali pada Pengrajin dan Non Pengrajin Batu Kali di Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung Tahun 2019



Berdasarkan pengukuran kadar debu batu kali pada Gambar 5.2 menunjukkan bahwa kadar debu batu kali tertinggi yang terhirup oleh pengrajin batu kali sebesar $19,10 \text{ mg/m}^3$ dan terendah adalah $0,57 \text{ mg/m}^3$. Sebanyak 6 dari

10 orang pengrajin batu kali terpajan debu batu kali dengan kadar diatas nilai ambang batas.

Tabel 5.7 Distribusi Frekuensi Kadar Debu Batu Kali di *Home Industry* Batu Kali Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung Tahun 2019

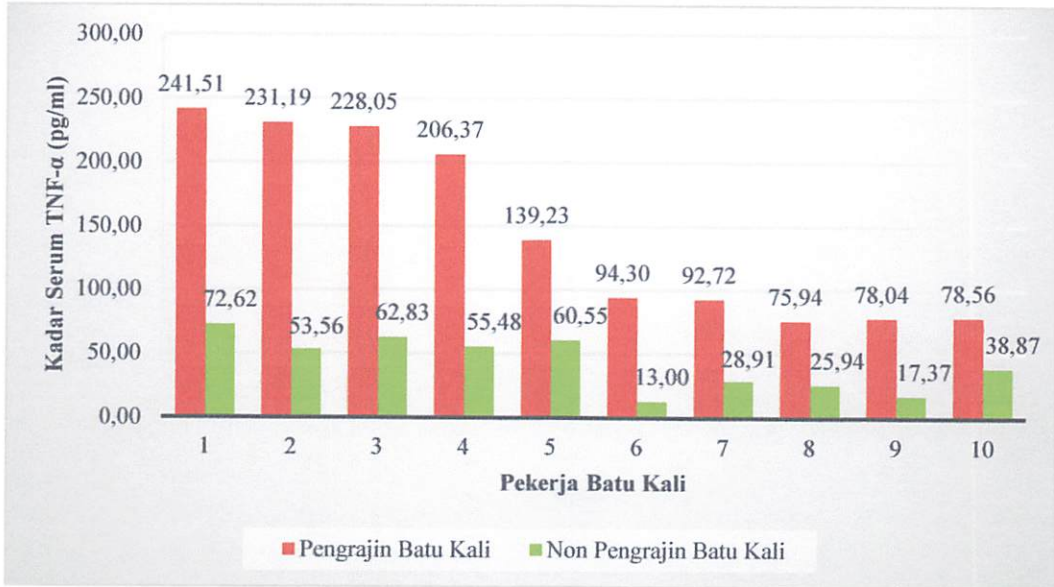
Kadar Debu Batu Kali (mg/m ³)	Responden	
	Pengrajin	Non Pengrajin
Rerata ± SD	7,27 ± 6,68	0,25 ± 0,13
Kadar minimum	0,57	0,21
Kadar maksimum	19,10	0,64
	p = 0,009	

Hasil analisis statistika dengan uji t dua sampel bebas pada Tabel 5.7 diperoleh nilai $p = 0,009$. Terdapat perbedaan yang signifikan antara kadar debu batu kali yang terhirup oleh pengrajin dan non pengrajin batu kali, yang mana rerata kadar debu batu kali yang terhirup oleh pengrajin batu kali berada diatas nilai ambang batas (NAB = 3 mg/m³) yaitu sebesar 7,27 mg/m³, sedangkan rerata kadar debu batu kali yang terhirup oleh non pengrajin batu kali masih berada dibawah nilai ambang batas (0,25 mg/m³).

5.4 Kadar TNF- α Serum

Tumor Necrosis Factor Alpha (TNF- α) adalah salah satu sitokin proinflamasi yang berperan dalam proses fibrogenesis dan karsinogenesis. TNF- α beredar atau diproduksi pada sirkulasi sistemik sehingga peningkatan kadar TNF- α dalam serum darah juga menggambarkan peningkatan kadar TNF- α yang diproduksi oleh makrofag di jaringan paru. Kadar TNF- α dalam serum darah pengrajin dan non pengrajin batu kali dianalisis dengan teknik ELISA. Hasil pengukuran kadar TNF- α serum dapat diketahui dari Gambar 5.3 berikut :

Gambar 5.3 Hasil Pengukuran Kadar TNF- α Serum Responden di *Home Industry* Batu Kali Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung Tahun 2019



Berdasarkan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 5.3 menjelaskan bahwa kadar tertinggi TNF- α serum pada pengrajin batu kali sebesar 241,51 pg/ml dan kadar terendah sebesar 75,94 pg/ml, sedangkan pada non pengrajin batu kali kadar tertinggi serum TNF- α adalah 72,62 pg/ml dan terendah adalah 13,00 pg/ml.

Tabel 5.8 Distribusi Frekuensi Kadar Serum TNF- α Responden di *Home Industry* Batu Kali Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung Tahun 2019

Kadar Serum TNF- α (pg/ml)	Responden	
	Pengrajin	Non Pengrajin
Rerata \pm SD	146,59 \pm 71,79	42,91 \pm 20,84
Kadar minimum	75,94	13,00
Kadar maksimum	241,51	72,62
p = 0,001		

Berdasarkan data pada Tabel 5.8 dapat dilihat bahwa rerata kadar TNF- α serum pada pengrajin batu kali lebih tinggi (146,59 pg/ml) apabila dibandingkan dengan rerata kadar TNF- α serum pada non pengrajin batu kali (42,91 pg/ml). Hasil analisis statistik dengan uji t dua sampel bebas diperoleh nilai p = 0,001

yang artinya terdapat perbedaan yang signifikan antara kadar TNF- α serum pengrajin dan non pengrajin batu kali. Beberapa hal tersebut mengindikasikan bahwa telah terdapat peningkatan kadar TNF- α serum pada pekerja batu kali.

5.5 Faal Paru

Faal paru pekerja batu kali diperiksa menggunakan alat spirometer. Parameter yang digunakan untuk mengetahui kondisi faal paru yaitu FEV₁, FVC, %FEV₁ dan %FVC. Terdapat 4 klasifikasi hasil pembacaan spirometri yang menggambarkan kondisi faal paru yaitu, dinyatakan normal jika nilai %FEV₁ dan %FVC \geq 80%, obstruksi jika nilai %FEV₁ < 75%, restriksi jika nilai %FVC < 80%, sedangkan gangguan campuran jika nilai %FEV₁ < 75% dan %FVC < 80%.

Forced Expiratory Volume (FEV₁) menggambarkan volume udara yang dikeluarkan pada waktu ekspirasi sekuat-kuatnya dan secepat-cepatnya setelah inspirasi sedalam-dalamnya yang dihitung setelah waktu tertentu 1 detik. Pemeriksaan faal paru dengan parameter FEV₁ digunakan sebagai rujukan untuk mengetahui terjadinya kelainan faal paru obstruktif yang diakibatkan oleh hambatan aliran udara karena adanya sumbatan atau penyempitan saluran napas. Kondisi faal paru obstruktif jika nilai %FEV₁ < 75% (Levy *et al.*, 2011).

Tabel 5.9 Distribusi Frekuensi Nilai Faal Paru FEV₁ dan %FEV₁ Responden di *Home Industry* Batu Kali Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung Tahun 2019

Keterangan	FEV ₁ (L)		%FEV ₁ (%)	
	Pengrajin	Non Pengrajin	Pengrajin	Non Pengrajin
Rerata \pm SD	2,74 \pm 0,79	2,76 \pm 0,72	79,13 \pm 5,09	89,09 \pm 10,12
Nilai minimum	1,73	1,54	73,60	82,10
Nilai maksimum	4,55	3,72	90,40	117,40
<i>p-value</i>	0,732		0,009	

Tabel 5.9 menunjukkan bahwa rerata nilai FEV₁ pada pengrajin batu kali (2,74 L) lebih rendah bila dibandingkan dengan FEV₁ pada non pengrajin batu kali (2,76 L). Begitu pula dengan nilai %FEV₁ pada pengrajin batu kali (79,13%) yang lebih rendah bila dibandingkan dengan %FEV₁ non pengrajin batu kali (89,09%).

Apabila dilihat dari nilai rerata %FEV₁, pada pengrajin batu kali belum mengalami penurunan faal paru. Namun apabila dilihat dari nilai minimum, diindikasikan bahwa telah terjadi penurunan faal paru pada pengrajin batu kali yang mengarah kepada gangguan obstruktif dimana nilai %FEV₁ berada dibawah nilai normal yaitu 73,60% (%FEV₁ < 75%). Berdasarkan hasil penelitian terdapat 3 dari 10 orang pengrajin batu kali yang mengalami penurunan faal paru %FEV₁. Hasil analisis statistik dengan uji t dua sampel bebas untuk parameter %FEV₁ diperoleh nilai p = 0,009 yang artinya terdapat perbedaan yang signifikan antara nilai %FEV₁ pengrajin dan non pengrajin batu kali.

Forced Vital Capacity (FVC) atau kapasitas vital paksa merupakan jumlah seluruh volume udara yang dikeluarkan dengan sekuat-kuatnya dan secepat-cepatnya, sesudah inspirasi sedalam-dalamnya. Nilai FVC dapat menunjukkan elastisitas dari sistem respirasi. Kelainan restriksi pada paru disebabkan karena terjadinya kekakuan paru sehingga membatasi pengembangan paru. Hal ini dapat ditunjukkan dari pemeriksaan faal paru dengan parameter %FVC < 80% (Levy *et al.*, 2011).

Tabel 5.10 Distribusi Frekuensi Nilai Faal Paru (%FVC) Responden di *Home Industry* Batu Kali Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung Tahun 2019

Keterangan	FVC (L)		%FVC (%)	
	Pengrajin	Non Pengrajin	Pengrajin	Non Pengrajin
Rerata \pm SD	2,95 \pm 1,34	3,40 \pm 0,35	80,52 \pm 24,40	100,13 \pm 5,98
Nilai minimum	1,28	2,98	40,70	92,80
Nilai maksimum	5,72	4,20	117,70	111,30
<i>p-value</i>	0,326		0,033	

Tabel 5.10 menjelaskan rerata FVC dan %FVC pada pengrajin dan non pengrajin batu kali. Berdasarkan tabel tersebut terlihat bahwa rerata FVC pada pengrajin batu kali lebih rendah (2,95 L) daripada rerata FVC pada non pengrajin batu kali (3,40 L). Rerata %FVC pada pengrajin batu kali juga lebih rendah (80,52%) daripada rerata %FVC pada non pengrajin batu kali (100,13%), namun nilainya masih diatas nilai normal (%FVC \geq 80%).

Meskipun rerata %FVC pada pengrajin batu kali masih dalam batas normal, namun untuk nilai minimumnya tertera 40,70% yang berada dibawah nilai normal. Hal ini menunjukkan bahwa telah terdapat pengrajin batu kali yang mengalami penurunan faal paru dengan gangguan restriksi dimana nilai %FVC < 80%.

Sebanyak 5 dari 10 orang pengrajin batu kali mengalami penurunan faal paru %FVC. Hasil analisis statistik dengan uji t dua sampel bebas untuk parameter %FVC diperoleh nilai $p = 0,033$ yang artinya terdapat perbedaan yang signifikan antara nilai %FVC pengrajin dan non pengrajin batu kali.

Distribusi kondisi faal paru baik pada pengrajin maupun non pengrajin batu kali dijelaskan pada Tabel 5.11 berikut :

Tabel 5.11 Distribusi Frekuensi Kondisi Faal Paru Responden di *Home Industry* Batu Kali Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung Tahun 2019

Kondisi Faal Paru	Responden				Total	
	Pengrajin		Non Pengrajin		n	%
	n	%	n	%		
Normal	3	30	10	100	11	55
Restriksi	4	40	0	0	3	15
Obstruksi	2	20	0	0	4	20
Campuran (Obstruksi dan Restriksi)	1	10	0	0	2	10
Total	10	100	10	100	20	100

Berdasarkan data pada Tabel 5.11 dapat diketahui bahwa pada kelompok pengrajin batu kali hanya terdapat 3 orang pekerja dengan kondisi faal paru yang normal. Sebagian yang lain mengalami gangguan faal paru obstruksi (20%), restriksi (40%) dan campuran (10%). Sedangkan pada non pengrajin batu kali seluruhnya (100%) memiliki kondisi faal paru normal.

5.6 Keluhan Pernapasan

Keluhan pernapasan pada pekerja diukur dengan menggunakan kuesioner keluhan pernapasan berdasarkan standar *American Thoracic Society* (ATS) yang telah dimodifikasi kemudian dilakukan skoring dan dibandingkan dengan skor maksimal sehingga didapatkan kriteria yaitu kriteria ringan (skor $\leq 30\%$), sedang (skor 31-69%) dan berat (skor $\geq 70\%$).

Tabel 5.12 Distribusi Frekuensi Keluhan Pernapasan Responden di *Home Industry* Batu Kali Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung Tahun 2019

Keluhan Pernapasan (%)	Responden				Total	
	Pengrajin		Non Pengrajin		n	%
	n	%	n	%		
Ringan ($\leq 30\%$)	3	30	10	100	13	65
Sedang (31-69%)	7	70	0	0	7	35
Berat ($\geq 70\%$)	0	0	0	0	0	100
Total	10	100	0	100	20	100
Rerata \pm SD	39,9 \pm 20,72		0,00 \pm 0,00		p = 0,000	
Minimum/Maksimum	0,00/68,50		0,00/0,00			

Berdasarkan Tabel 5.12 rerata keluhan pernapasan pada pengrajin batu kali lebih besar dari pada non pengrajin batu kali (39,9 \pm 20,72). Sebagian besar pengrajin batu kali mengalami keluhan pernapasan dengan kategori sedang (70%), sedangkan pada non pengrajin batu kali seluruhnya berada pada kategori ringan (100%). Hasil analisis statistik uji t dua sampel bebas didapatkan nilai p = 0,000 yang artinya terdapat perbedaan yang sangat signifikan antara keluhan pernapasan pengrajin dan non pengrajin batu kali.

5.7 Pengaruh Kadar Debu Batu Kali Terhadap Peningkatan Kadar TNF- α Serum

Tabel 5.13 menjelaskan tentang analisis bivariate yaitu pengaruh kadar debu batu kali terhadap peningkatan kadar TNF- α serum responden yang dianalisis secara statistika dengan menggunakan uji regresi linear sederhana.

Tabel 5.13 Pengaruh Kadar Debu Batu Kali Terhadap Peningkatan Kadar TNF- α Serum pada Pengrajin Batu Kali di Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung Tahun 2019

Variabel	R ² (Koefisien Determinasi)	β (Koefisien Regresi)	p -value
Kadar Debu Batu Kali Terhadap Peningkatan Kadar TNF- α Serum	0,823	11,489	0,000

Berdasarkan Tabel 5.13 dapat diketahui bahwa terdapat pengaruh yang signifikan antara kadar debu batu kali terhadap peningkatan kadar TNF- α serum responden (p -value = 0,000). Koefisien regresi (β) menunjukkan jika kadar debu batu kali mengalami peningkatan 1 mg/m³ maka akan diikuti oleh peningkatan kadar TNF- α serum sebesar 11,489 pg/ml. Nilai koefisien determinasi (R²) menunjukkan nilai 0,823 yang artinya kadar debu batu kali mempengaruhi peningkatan kadar TNF- α serum sebesar 82,3%, sedangkan sebesar 17,7% kemungkinan dipengaruhi oleh variabel lain.

Berdasarkan kerangka konseptual, peningkatan kadar TNF- α serum selain dapat dipengaruhi oleh kadar debu batu kali juga dapat dipengaruhi oleh faktor karakteristik individu seperti umur, masa kerja, lama kerja, status gizi, kebiasaan merokok dan pemakaian alat pelindung pernapasan.

5.8 Pengaruh Karakteristik Individu dan Kadar Debu Batu Kali Terhadap Peningkatan Kadar TNF- α Serum

Selanjutnya untuk mengetahui besar nilai signifikansi pengaruh kadar debu batu kali terhadap peningkatan kadar TNF- α serum dan untuk mengetahui kemungkinan adanya kontribusi faktor lain seperti karakteristik individu yang ikut

berpengaruh sebagaimana yang tercantum pada kerangka konseptual, maka pada Tabel 5.14 akan dijelaskan mengenai pengaruh karakteristik individu dan kadar debu batu kali terhadap peningkatan kadar TNF- α serum yang dianalisis melalui uji regresi linier berganda dengan model *Backward*.

Tabel 5.14 Pengaruh Karakteristik Individu dan Kadar Debu Batu Kali Terhadap Peningkatan Kadar TNF- α Serum pada Pengrajin Batu Kali di Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung Tahun 2019

Variabel Bebas	Kadar TNF- α Serum (Koefisien)	
	β	p
Kadar Debu Batu Kali	11,817	0,000*
Umur	1,796	0,034*
Masa Kerja	1,043	0,226
Lama Kerja	10,770	0,029*
Status Gizi (IMT)	1,863	0,234
Kebiasaan Merokok (IB)	0,062	0,294
Pemakaian Alat Pelindung Pernapasan	-4,051	0,722

Keterangan : (*) p -value < 0,05; signifikan

Hasil regresi secara simultan dengan menyertakan karakteristik individu pada Tabel 5.14 menunjukkan bahwa terdapat pengaruh yang sangat signifikan antara kadar debu batu kali terhadap peningkatan kadar TNF- α serum dengan p -value sebesar 0,000 ($p < 0,05$). Arah hubungan berdasarkan koefisien β bersifat positif yang artinya semakin tinggi kadar debu batu kali maka semakin tinggi pula peningkatan kadar TNF- α serum.

Selain dipengaruhi oleh kadar debu batu kali, variabel karakteristik individu seperti umur ($p = 0,034$) dan lama kerja ($p = 0,029$) ternyata juga memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan kadar TNF- α serum, namun nilai signifikansi masih dibawah nilai signifikansi kadar debu batu kali.

Sehingga dalam hal ini kadar debu batu kali merupakan faktor yang paling berpengaruh terhadap peningkatan kadar TNF- α serum.

Berdasarkan model regresi, apabila responden mengalami kenaikan paparan debu batu kali sebesar 1 mg/m³, maka kadar TNF- α serum juga akan mengalami peningkatan sebesar 11,817 pg/ml. Demikian juga dengan semakin bertambahnya umur dan lama kerja responden maka akan mempengaruhi peningkatan kadar TNF- α serum masing-masing sebesar 1,796 pg/ml dan 10,770 pg/ml.

5.9 Pengaruh Kadar Debu Batu Kali Terhadap Penurunan Faal Paru

Pengaruh kadar debu batu kali terhadap penurunan faal paru responden dengan parameter FEV₁, %FEV₁, FVC, %FVC dianalisis secara statistika menggunakan uji regresi linear sederhana.

Tabel 5.15 Pengaruh Kadar Debu Batu Kali Terhadap Penurunan Faal Paru (FEV₁, %FEV₁, FVC, %FVC) pada Pengrajin Batu Kali di Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung Tahun 2019

Variabel	R ² (Koefisien Determinasi)	β (Koefisien Regresi)	p -value
FEV ₁	0,057	-0,030	0,310
%FEV ₁	0,143	-0,603	0,100
FVC	0,269	-0,087	0,019*
%FVC	0,399	-2,162	0,003*

Keterangan : (*) p -value < 0,05; signifikan

Pengaruh variabel independen kadar debu batu kali terhadap variabel dependen penurunan faal paru (FEV₁ dan %FEV₁) yang ditunjukkan oleh Tabel 5.15 adalah tidak signifikan. Hal ini dimungkinkan terdapat variabel independen lain yang pengaruhnya lebih signifikan. Hal ini juga bisa dilihat dari nilai koefisien determinasi (R²) pada pengaruh kadar debu batu kali terhadap FEV₁

(0,057) dan %FEV₁ (0,143) dimana kadar debu batu kali mempengaruhi penurunan FEV₁ hanya sebesar 5,7% dan %FEV₁ sebesar 14,3%.

Pengaruh kadar debu batu kali terhadap nilai FVC ($p = 0,019$) dan %FVC ($p = 0,003$) adalah signifikan. Arah hubungan yang ditunjukkan pada koefisien β untuk pengaruh kadar debu batu kali terhadap FVC dan %FVC bersifat negatif dimana jika kadar debu batu kali meningkat maka akan terjadi penurunan faal paru. Koefisien determinasi (R^2) pada pengaruh kadar debu batu kali terhadap FVC (0,269) dan %FVC (0,399), artinya kadar debu batu kali mempengaruhi penurunan FVC hanya sebesar 26,9% dan %FVC sebesar 39,9%. Sehingga debu batu kali bukan merupakan satu-satunya variabel yang mempengaruhi penurunan faal paru.

5.10 Pengaruh Kadar TNF- α Serum Terhadap Penurunan Faal Paru

Pengaruh kadar TNF- α serum terhadap penurunan faal paru responden dengan parameter FEV₁, %FEV₁, FVC, %FVC dianalisis secara statistika menggunakan uji regresi linear sederhana dijelaskan pada tabel berikut.

Tabel 5.16 Pengaruh Kadar TNF- α Serum Terhadap Penurunan Faal Paru (FEV₁, %FEV₁, FVC, %FVC) pada Pengrajin Batu Kali di Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung Tahun 2019

Variabel	R^2 (Koefisien Determinasi)	β (Koefisien Regresi)	p -value
FEV ₁	0,121	-0,003	0,134
%FEV ₁	0,186	-0,054	0,058
FVC	0,357	-0,008	0,005*
%FVC	0,610	-0,211	0,000*

Keterangan : (*) p -value < 0,05; signifikan

Hasil uji regresi linear sederhana untuk pengaruh variabel kadar TNF- α serum terhadap penurunan faal paru menunjukkan bahwa kadar TNF- α serum

hanya berpengaruh terhadap penurunan faal paru dengan parameter FVC ($p = 0,005$) dan %FVC ($p = 0,000$). Koefisien regresi kedua parameter menunjukkan arah hubungan (nilai β) bersifat negatif yang artinya semakin tinggi kadar TNF- α serum maka nilai faal paru FVC dan %FVC akan semakin menurun. Berdasarkan nilai koefisien determinasi dapat diartikan bahwa kadar TNF- α serum mempengaruhi penurunan faal paru %FVC yang mengarah kepada gangguan restriksi sebesar 61%.

5.11 Pengaruh Karakteristik Individu, Kadar Debu Batu Kali dan Kadar TNF- α Serum Terhadap Penurunan Faal Paru

Hasil analisis uji regresi linier berganda pada Tabel 5.17 dan 5.18 menjelaskan pengaruh kadar debu batu kali terhadap penurunan faal paru (FEV_1 , % FEV_1 , FVC, %FVC) serta keterlibatan variabel lain yaitu kadar TNF- α serum dan karakteristik individu yang secara teori memiliki kontribusi dalam mempengaruhi penurunan faal paru.

Tabel 5.17 Pengaruh Karakteristik Individu, Kadar Debu Batu Kali dan Kadar TNF- α Serum Terhadap Penurunan Faal Paru (FEV_1 dan % FEV_1) pada Pengrajin Batu Kali di Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung Tahun 2019

Variabel Bebas	FEV ₁ (Koefisien)		%FEV ₁ (Koefisien)	
	β	p	β	p
Kadar Debu Batu Kali	0,068	0,436	-0,421	0,236
Kadar TNF- α Serum	-0,003	0,255	0,013	0,893
Umur	0,020	0,386	-0,541	0,219
Masa Kerja	-0,043	0,315	0,209	0,393
Lama Kerja	0,030	0,877	1,303	0,368
Status Gizi (IMT)	-0,050	0,318	-0,119	0,838
Kebiasaan Merokok (IB)	0,000	0,836	0,005	0,802
Pemakaian Alat Pelindung Pernapasan	-0,97	0,707	4,824	0,036*

Keterangan : (*) p -value < 0,05; signifikan

Berdasarkan Tabel 5.17 diketahui bahwa pengaruh kadar debu batu kali terhadap penurunan faal paru (FEV_1 dan $\%FEV_1$) ternyata tidak signifikan ($p > 0,05$). Demikian pula pada variabel lain seperti kadar $TNF-\alpha$ serum, umur, masa kerja, lama kerja, status gizi dan kebiasaan merokok pengaruhnya juga tidak signifikan terhadap penurunan faal paru (FEV_1 dan $\%FEV_1$).

Adapun variabel independen yang berpengaruh secara signifikan terhadap penurunan faal paru $\%FEV_1$ yaitu hanya pemakaian alat pelindung pernapasan ($p = 0,036$), dengan koefisien regresi (β) bernilai positif artinya dengan pemakaian alat pelindung pernapasan yang sesuai standar maka penurunan faal paru $\%FEV_1$ yang mengarah kepada gangguan obstruksi dapat dicegah.

Pengaruh kadar debu batu kali, kadar $TNF-\alpha$ serum dan karakteristik individu terhadap penurunan faal paru dengan parameter FVC dan $\%FVC$ dijelaskan pada tabel berikut :

Tabel 5.18 Pengaruh Karakteristik Individu, Kadar Debu Batu Kali dan Kadar $TNF-\alpha$ Serum Terhadap Penurunan Faal Paru (FVC dan $\%FVC$) pada Pengrajin Batu Kali di Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung Tahun 2019

Variabel Bebas	FVC (Koefisien)		$\%FVC$ (Koefisien)	
	β	p	β	p
Kadar Debu Batu Kali	0,118	0,186	-3,652	0,008*
Kadar $TNF-\alpha$ Serum	-0,010	0,001*	-0,492	0,000*
Umur	-0,097	0,030*	-0,747	0,044*
Masa Kerja	-0,077	0,078	-0,544	0,388
Lama Kerja	-0,110	0,386	-6,103	0,008*
Status Gizi (IMT)	-0,097	0,036*	-0,536	0,378
Kebiasaan Merokok (IB)	0,001	0,452	-0,014	0,580
Pemakaian Alat Pelindung Pernapasan	0,023	0,918	1,063	0,758

Keterangan : (*) p -value < 0,05; signifikan

Berdasarkan hasil analisis uji regresi berganda pada semua variabel bebas serta pengaruhnya terhadap penurunan faal paru (FVC dan %FVC), dapat diketahui bahwa kadar debu batu kali memberikan pengaruh terhadap penurunan nilai faal paru %FVC ($p = 0,008$). Variabel lain yaitu kadar TNF- α serum dan umur memberikan pengaruh terhadap penurunan nilai FVC maupun %FVC. Variabel lama kerja hanya berpengaruh terhadap penurunan %FVC ($p = 0,008$), begitu juga dengan status gizi (IMT) yang hanya berpengaruh terhadap penurunan FVC ($p = 0,036$).

Responden yang terpajan debu batu kali dengan konsentrasi yang terus meningkat kemudian diikuti oleh peningkatan kadar TNF- α serum serta memiliki umur dan lama kerja yang semakin bertambah maka pengrajin batu kali berpotensi mengalami penurunan faal paru dengan parameter %FVC sebagai penanda gangguan faal paru restriksi.

5.12 Pengaruh Karakteristik Individu, Kadar Debu Batu Kali dan Kadar TNF- α Serum Terhadap Keluhan Pernapasan

Pengaruh dari karakteristik individu, paparan debu batu kali dan peningkatan kadar TNF- α serum terhadap adanya keluhan pernapasan responden dianalisis menggunakan uji regresi linier ganda. Pada uji regresi ini juga dianalisis semua responden termasuk kelompok kontrol. Hasil analisis statistika dapat dilihat pada Tabel 5.19 berikut ini :

Tabel 5.19 Pengaruh Karakteristik Individu, Kadar Debu Batu Kali dan Kadar TNF- α Serum Terhadap Keluhan Pernapasan pada Pengrajin Batu Kali di Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung Tahun 2019

Variabel Bebas	Keluhan Pernapasan (Koefisien)	
	β	p
Kadar Debu Batu Kali	0,557	0,672
Kadar TNF- α Serum	0,257	0,000*
Umur	0,445	0,180
Masa Kerja	-0,814	0,191
Lama Kerja	2,175	0,147
Status Gizi (IMT)	-1,054	0,131
Kebiasaan Merokok (IB)	-0,012	0,655
Pemakaian Alat Pelindung Pernapasan	-6,616	0,063

Keterangan : (*) p -value < 0,05; signifikan

Hasil regresi secara simultan pada Tabel 5.19 menunjukkan bahwa kadar TNF- α serum berpengaruh secara signifikan terhadap keluhan pernapasan ($p = 0,000$). Arah hubungan (nilai β) bersifat positif dengan nilai 0,257, yang artinya bahwa semakin tinggi kadar TNF- α serum dimana setiap peningkatan 1 pg/ml kadar TNF- α serum maka keluhan pernapasan juga semakin meningkat sebesar 0,257.

Pengaruh kadar TNF- α serum terhadap adanya keluhan pernapasan menunjukkan bahwa gangguan pernapasan timbul secara bertahap melalui pajanan debu batu kali, kemudian meningkatkan kadar TNF- α serum, dan pada akhirnya menimbulkan keluhan pernapasan pada responden. Nilai p -value pada variabel pemakaian alat pelindung pernapasan sebesar 0,063 meskipun secara statistika pengaruhnya tidak signifikan namun dapat diindikasikan bahwa pemakaian alat pelindung pernapasan berpotensi menurunkan terjadinya keluhan pernapasan.

BAB 6

PEMBAHASAN

BAB 6

PEMBAHASAN



6.1 Karakteristik Individu

Karakteristik individu yang meliputi umur, masa kerja, lama kerja, status gizi dan kebiasaan merokok seseorang merupakan faktor penting yang erat hubungannya dengan status kesehatan. Terlebih jika seseorang bekerja pada lokasi yang terdapat agen berbahaya seperti adanya debu berbahaya yang setiap hari dihirup, maka pemakaian alat pelindung pernapasan sangatlah penting dalam menjaga kesehatan pernapasan. Pengrajin batu kali memiliki risiko terpajan debu yang mengandung kristal silika yang dapat menyebabkan gangguan kesehatan seperti menurunnya sistem imun serta mengganggu sistem pernapasan. Dalam paparan kronis, pajanan debu yang mengandung kristal silika dapat memicu terjadinya fibrosis dan kanker paru.

Risiko terjadinya gangguan kesehatan akibat pajanan debu batu kali tergantung dari konsentrasi debu itu sendiri, lama waktu papar dan keterlibatan faktor lain. Maka dari itu dalam penelitian ini, untuk menganalisis pengaruh kadar debu batu kali terhadap peningkatan kadar TNF- α serum dan penurunan faal paru maupun keluhan pernapasan maka keberadaan faktor lain seperti variabel umur, masa kerja, lama kerja, status gizi, kebiasaan merokok serta penggunaan alat pelindung pernapasan perlu dilibatkan dalam analisis tersebut.

6.1.1 Umur

Rerata umur responden baik pada pengrajin maupun non pengrajin batu kali tidak berbeda secara statistik ($p = 0,721$). Hasil penelitian menunjukkan umur responden maksimal adalah 46 tahun dan minimal 20 tahun. Sebagian besar pekerja muda lebih tertarik untuk menekuni sektor lain daripada bekerja di *home industry* batu kali, sehingga menyebabkan pekerja di bidang ini lebih banyak berusia diatas 36 tahun. Rerata umur pada pengrajin batu kali adalah $37,00 \pm 6,69$ tahun, sedangkan pada non pengrajin batu kali adalah $35,60 \pm 10,22$ tahun.

Menurut Suma'mur (2014) efek gangguan kesehatan akibat pajanan partikel sebagai bahan kimia disebabkan oleh berbagai faktor seperti sifat fisik partikel, sifat kimiawi, *port of entry* serta faktor dari pekerja itu sendiri. Faktor dari pekerja yang dimaksud adalah usia, penyesuaian diri, daya tahan tubuh dan derajat kesehatan tubuh. Semakin tua usia seseorang maka akan memiliki konsekuensi semakin banyak pula debu yang masuk dan tertimbun di dalam jaringan paru sebagai akibat menghirup debu setiap harinya serta menyebabkan semakin menurunnya daya tahan tubuh.

Faktor umur merupakan salah satu faktor penting yang berpengaruh terhadap kekuatan fisik maupun psikis seseorang, termasuk dalam hal ini kondisi faal paru akan meningkat seiring dengan bertambahnya umur. Pada individu normal terjadi perubahan nilai pada faal paru secara fisiologis sesuai dengan perkembangan umur dan pertumbuhan parunya. Dimulai pada fase anak sampai dengan umur 22-24 tahun terjadi pertumbuhan paru sehingga nilai fungsi paru semakin besar seiring dengan penambahan umur. Beberapa waktu kemudian nilai

faal paru menetap kemudian menurun secara perlahan, dan biasanya pada umur 30 tahun sudah mulai mengalami penurunan sebagaimana rerata usia pada pekerja batu kali yang berada diatas 30 tahun. Selanjutnya nilai Kapasitas Vital Paksa (KVP) dan FEV₁ mengalami penurunan sekitar 20 ml setiap pertambahan satu tahun umur seseorang (Yulaekah, 2007). Penelitian lain menunjukkan bahwa sekitar 19,2% kasus PPOK terjadi pada pekerja dengan usia 30-75 tahun disebabkan oleh paparan polutan debu di tempat kerja.

Semakin bertambah usia seseorang maka semakin besar kemungkinan terjadi penurunan fungsi paru disertai dengan kondisi lingkungan yang buruk (Barbara et al., 2010). Menurut Guyton (2010) selain faktor umur, ras, jenis kelamin dan postur tubuh, faktor lain yang mempengaruhi kapasitas vital paru adalah kemampuan faal paru itu sendiri, elastisitas paru, latihan, dan ukuran bagian dalam paru. Selain berpengaruh terhadap nilai faal paru, faktor usia ternyata juga dapat berpengaruh terhadap kadar TNF- α . Penelitian ini menunjukkan bahawa faktor umur memberikan pengaruh terhadap peningkatan kadar TNF- α serum (Tabel 5.14). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Gupta *et al.*, (2003) terjadi peningkatan kadar TNF- α pada proses penuaan.

6.1.2 Masa kerja

Masa kerja merupakan durasi waktu seorang pekerja batu kali bekerja dalam (tahun) dalam satu *home industry* batu kali, dihitung mulai pada saat pertama bekerja sampai penelitian berlangsung. Penelitian Ichsani (2015) menjelaskan bahwa masa kerja memiliki kecenderungan sebagai faktor risiko terjadinya penurunan kapasitas vital paru, salah satunya adalah gangguan

obstruksi pada pekerja yang bekerja pada industri berdebu sejak masa kerjanya mencapai 5 tahun.

Pekerja yang setiap harinya terpapar debu yang mengandung silika, dalam jangka panjang berpotensi mengalami penyakit paru silikosis. Jenis silikosis akselerasi dapat terjadi setelah terpapar debu selama berminggu-minggu, namun biasanya terjadi 5-10 tahun setelah dimulainya paparan (ATSDR, 2017). Paparan silika dalam jangka panjang di tempat kerja dapat memperburuk fungsi paru meskipun dengan paparan konsentrasi debu silika yang rendah (Mwaiselage *et al.*, 2004).

Penelitian ini menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan antara masa kerja pengrajin dan non pengrajin batu kali dengan masa kerja maksimum adalah 25 tahun dan minimum 2 tahun. Rerata masa kerja pada pegrajin batu kali adalah $12,50 \pm 7,52$ tahun, sedangkan pada non pengrajin batu kali adalah $15,60 \pm 8,96$ dimana dalam hal ini pekerja di *home industry* batu kali telah bekerja lebih dari 10 tahun. Menurut Arba, (2016) masa kerja memiliki kecenderungan sebagai faktor risiko terjadinya gangguan faal paru pada pekerja yang bekerja di area berdebu selama lebih dari 10 tahun. Asma dan obstruksi saluran pernapasan akut merupakan akibat dari pajanan debu dalam waktu singkat. Jika pajanan debu anorganik terjadi cukup lama maka akan timbul reaksi inflamasi awal. Dampak dari pajanan debu yang terus menerus dapat menurunkan faal paru berupa gangguan restriktif. Namun kesemuanya ini juga tergantung pada konsentrasi pajanan debu dan imunitas seseorang (Kennedy *et al.*, 1994).

Hasil penelitian Irfan (2003) menunjukkan bahwa responden yang memiliki masa kerja ≥ 5 tahun mengalami gangguan fungsi paru sebanyak 65,8%, sedangkan 34,2% tidak mengalami gangguan fungsi paru. Pekerja dengan masa kerja < 5 tahun yang mengalami gangguan fungsi paru sebanyak 6,3% dan sisanya 93,8% tidak mengalami gangguan fungsi paru. Masa kerja juga mempengaruhi peningkatan risiko akibat paparan debu. Pernyataan ini didukung oleh penelitian Hart *et al.*, (2006) yang menyatakan bahwa jumlah kematian akibat PPOK meningkat seiring dengan peningkatan masa kerja selama lebih dari 16 tahun dengan risiko 1,61 lebih besar meninggal karena PPOK.

Berdasarkan hasil analisis regresi antara pengaruh masa kerja dengan peningkatan kadar TNF- α serum tidak didapatkan hasil yang signifikan. Hal tersebut dimungkinkan terdapat faktor lain yang lebih berpengaruh seperti kadar debu yang diterima setiap orang yang berbeda, serta daya tahan tubuh yang bervariasi. Selain itu besarnya paparan yang mengenai pekerja juga berbeda karena dipengaruhi oleh suhu, kelembaban, kecepatan angin dan arah angin sehingga menyebabkan nilai akumulasi paparan selama bekerja juga berbeda.

6.1.3 Lama kerja

Lama kerja merupakan waktu yang dihabiskan seseorang berada dalam lingkungan kerja dalam waktu sehari (Mengkidi, 2006). Lama kerja seseorang pada umumnya sekitar 6-8 jam dalam sehari. Sehingga semakin lama seseorang bekerja di lingkungan yang menghasilkan bahan pencemar seperti debu yang terinhalasi melalui udara maka semakin besar seseorang berisiko mengalami gangguan pernapasan. Menurut Suma'mur (2013), lama kerja menentukan lama

pajanan seseorang terhadap faktor risiko kesehatan, dimana apabila seseorang dalam melakukan pekerjaan sehari-hari terpajan debu dengan waktu yang lama dan dengan konsentrasi yang tinggi maka akan mengakibatkan penimbunan debu pada jalan napas maupun alveoli sehingga dapat menurunkan faal paru. Akibat menghirup debu terdapat keluhan pernapasan yang langsung dirasakan oleh pekerja seperti sesak, bersin dan batuk karena adanya gangguan pada saluran pernapasan. Sehingga didalam penelitian ini jika sebagian besar lama kerja pada pengrajin dan non pengrajin batu kali ≥ 8 jam dapat berpotensi mengalami penurunan faal paru dan keluhan pernapasan.

Pajanan debu dengan durasi beberapa tahun tetapi jika dalam sehari terpajan debu dengan waktu yang cukup lama dan pada kadar yang rendah namun terakumulasi diatas batas limit paparan maka akan menunjukkan efek toksik yang jelas. Tetapi hal ini tergantung pada pertahanan tubuh oleh setiap pekerja (Sirait, 2010). Waktu pajanan atau lama kerja sangat berpengaruh dalam perhitungan *daily intake* agen risiko yang masuk kedalam tubuh pekerja, dimana semakin lama waktu kontak dengan agen maka semakin banyak agen yang masuk kedalam tubuh. Menurut Siswanto (1996), pajanan debu di tempat kerja merupakan salah satu penyebab kematian yang paling banyak ditemukan. Inhalasi debu dalam waktu yang lama dapat memperpendek usia pekerja dan menyebabkan terjadinya penyakit paru.

6.1.4 Status gizi

Status gizi responden diukur dari Indeks Masa Tubuh (IMT) berdasarkan berat badan (kg) dibagi dengan tinggi badan (m^2). Status gizi merupakan kondisi

tubuh sebagai konsumsi makanan dan gizi. Seseorang yang berada dibawah ukuran berat badan normal memiliki risiko terhadap infeksi, sedangkan seseorang yang berada diatas ukuran normal memiliki risiko penyakit degeneratif (Supriasa *et al.*, 2002). Menurut Depkes (2003), seseorang dianggap kurus apabila IMT < 18,5, dianggap normal jika IMT berada diantara nilai 18,5-25, dan dianggap gemuk jika IMT > 25. Didalam penelitian ini terdapat sebagian pekerja (30%) dalam kategori gemuk dengan IMT > 25.

Berat badan pekerja dapat digunakan untuk menghitung laju inhalasi seseorang. Berat badan dan laju inhalasi merupakan variabel yang penting untuk mengetahui jumlah *intake* agen risiko yang masuk kedalam tubuh pekerja. Besarnya nilai *intake* berbanding lurus dengan nilai konsentrasi bahan kimia, laju inhalasi, frekuensi pajanan dan durasi pajanan, dimana semakin besar nilai tersebut maka akan semakin besar pula asupan bahan kimia yang diterima seseorang. Begitu juga dengan semakin besar berat badan seseorang maka semakin besar pula risiko kesehatannya (US-EPA, 2001). Sehingga dalam penelitian ini 50% pengrajin batu kali dengan IMT kategori gemuk memiliki *intake* yang lebih besar dan semakin besar kemungkinan untuk mengalami risiko terhadap kesehatannya.

Adanya suhu di lingkungan kerja yang berkisar antara 31-36 °C, membuat debu batu yang mengandung partikel silika menjadi lebih kering dan ringan sehingga mudah terbawa oleh aliran udara sehingga memperluas penyebaran debu tersebut (Sahri, 2018). Lingkungan kerja dengan suhu tinggi yang mempengaruhi peningkatan suhu tubuh akan menyebabkan frekuensi pernapasan semakin cepat.

Lingkungan kerja yang panas akan mengakibatkan tubuh mengalami peningkatan metabolisme untuk mempertahankan suhu agar tetap stabil sehingga tubuh harus lebih banyak mengeluarkan keringat untuk menurunkan suhu tubuh. Aktivitas tersebut membutuhkan energi yang dihasilkan dari peristiwa oksidasi dengan menggunakan oksigen sehingga dibutuhkan oksigen lebih banyak dengan bernapas lebih cepat.

Berat badan seseorang berpengaruh terhadap ambilan oksigen seseorang didalam proses respirasi dan oksidasi (Habibah *et al.*, 2017). Semakin besar berat badan seseorang maka semakin cepat pula frekuensi pernapasannya, sehingga debu yang masuk didalam udara pernapasan juga lebih banyak. Menurut Departemen Gizi dan Kesehatan Masyarakat (2007) kekurangan makanan yang berlangsung secara terus-menerus akan menyebabkan susunan fisiologi tubuh terganggu. Secara fisiologis seseorang dengan status gizi yang kurang maupun lebih dapat mengalami penurunan Kapasitas Vital Paksa (KVP) yang pada akhirnya dapat mempengaruhi terjadinya gangguan fungsi paru. Sebagaimana dalam penelitian ini bahwa status gizi berpengaruh secara signifikan dengan penurunan faal paru dengan parameter FVC ($p = 0,036$). Dari hasil uji statistik diperoleh tidak terdapat perbedaan IMT yang signifikan antara pengrajin dan non pengrajin batu kali sehingga status gizi pada kedua kelompok pekerja berpotensi mempengaruhi penurunan nilai FVC faal paru.

6.1.5 Kebiasaan merokok

Didalam penelitian ini sejumlah 14 responden (70%) merupakan perokok ringan, dan sisanya sejumlah 6 responden (30%) merupakan perokok sedang.

Kebiasaan tersebut seringkali dilakukan di tempat kerja. Menurut ATSDR (2017), kebiasaan merokok merupakan perilaku yang berperan dalam menambah risiko keterpaparan debu terhadap fungsi paru meskipun dalam jumlah yang sangat sedikit. Hal ini sejalan dengan Harrington (2003) yang menjelaskan bahwa penurunan kapasitas paru tidak hanya disebabkan oleh faktor pekerjaan maupun lingkungan kerja, namun terdapat sejumlah faktor non pekerjaan yang berpengaruh, salah satunya adalah kebiasaan merokok. Kebiasaan merokok pada pekerja yang terpajan debu akan memperbesar kemungkinan untuk terjadinya gangguan fungsi paru (Gold *et al.*, 2005).

Responden pengrajin batu kali paling tinggi menghisap 456 batang rokok pertahun, sedangkan pada non pengrajin batu kali setiap tahunnya paling tinggi menghisap 324 batang. Meskipun terdapat perbedaan jumlah batang rokok maksimum yang dikonsumsi selama setahun, setelah dianalisis secara statistik tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua responden. Hal ini berarti jenis rokok yang dikonsumsi oleh kedua responden mempunyai jenis bahan atau komposisi yang sama sesuai dengan jenis rokok yang beredar di pasaran.

Faktor karakteristik individu seperti ras dan kebiasaan merokok dapat mempengaruhi kadar debu yang masuk kedalam faal paru yang mana faktor tersebut akan mengurangi tingkat eliminasi paru dan mempercepat akumulasi debu didalam paru (Kuempel, 2001). Rokok yang dihisap mengandung berbagai macam bahan kimia dengan berbagai jenis daya kerja terhadap tubuh, asap rokok mengandung 4000 jenis bahan kimia. Beberapa bahan kimia yang terdapat dalam rokok yang memberikan efek terhadap kesehatan yakni nikotin, karbonmonoksida

serta berbagai logam berat lainnya. *N-nitrosamine* di dalam rokok berpotensi besar sebagai zat karsinogenik terhadap jaringan paru (Sitepoe, 2000).

Semakin banyak bahan kimia berbahaya dari asap rokok yang masuk kedalam tubuh akan semakin mengganggu jalannya sistem pernapasan di dalam paru. Asap rokok yang masuk kedalam tubuh akan menyebabkan iritasi dan peradangan pada paru. Proses peradangan paru akan berubah menjadi permanen apabila terjadi paparan yang terus menerus. Dinding saluran napas menyempit dan produksi mukosa juga meningkat. Kerusakan pada alveoli paru menyebabkan emfisema dan paru akan kehilangan elastisitasnya.

6.1.6 Pemakaian alat pelindung pernapasan

Kebiasaan menggunakan alat pelindung pernapasan merupakan faktor yang perlu dipertimbangkan, mengingat rute paparan debu batu kali melalui jalur inhalasi. Berdasarkan hasil observasi diketahui pengrajin batu kali yang memakai alat pelindung pernapasan dan sesuai dengan standar hanya sekitar 30%, sedangkan pada kelompok non pengrajin batu kali seluruhnya tidak menggunakan alat pelindung pernapasan. Berdasarkan hasil tersebut membuktikan bahwa responden masih belum begitu paham dan menyadari akan bahaya debu batu kali bagi kesehatan pernapasan.

Alat pelindung pernapasan merupakan pengendalian terakhir yang dilakukan untuk mengurangi dampak paparan debu. Sebagian besar pekerja menggunakan alat pelindung pernapasan berupa slayer atau kaos. Berdasarkan hasil wawancara pada pengrajin batu kali, menyatakan bahwa tidak digunakannya alat pelindung pernapasan yang sesuai standar karena mengganggu pekerjaan dan

tidak nyaman. Penggunaan slayer atau kaos tidak efektif untuk mencegah dari paparan debu yang masuk kedalam saluran pernapasan karena ukuran pori-pori yang tidak sesuai untuk menyaring partikel debu batu kali yang mengandung silika, sehingga mengakibatkan udara yang mengandung debu langsung masuk ke saluran pernapasan. Jika kondisi ini terjadi secara terus menerus maka akan meningkatkan risiko terjadinya penyakit paru.

Menurut penelitian Damayanti (2007), kelompok pekerja dengan kebiasaan menggunakan alat pelindung pernapasan yang buruk mempunyai nilai faal paru yang lebih rendah (34,5%) bila dibandingkan dengan kelompok dengan kebiasaan menggunakan alat pelindung pernapasan yang baik (27,6%).

Alat pelindung pernapasan yang digunakan hendaknya sesuai dengan rekomendasi NIOSH (2015) yaitu masker N95 yang setidaknya 95% efektif untuk menyaring partikel halus dengan ukuran 0,1-0,3 mikron. Beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa kemampuan masker N95 menyaring partikel dengan ukuran 0,1-0,3 mikron melebihi 95% bahkan dapat mencapai 99,5% jika ukuran partikel mencapai 0,75 mikron atau lebih besar (US-FDA, 2015).

6.2 Kadar Debu Batu Kali

Debu adalah partikel padat yang dihasilkan dari proses alami oleh manusia maupun proses mekanis. Didalam penelitian ini debu dihasilkan dari proses mekanis penggerindaan batu kali sebagai bahan kerajinan. Polusi debu batu kali yang mengandung partikel silika akan mengendap di daerah bronkioli dan alveoli. Debu ini bersifat fibrogenik dan dapat menyebabkan kelainan faal paru.

Pengukuran sampel partikel debu batu kali diambil menggunakan alat *Personal Dust Sampler* (PDS) sehingga dapat diketahui debu yang terhirup (*respirable dust*) oleh responden selama bekerja. Pengukuran debu dilakukan selama 8 jam kerja. Berdasarkan Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi No. 5 Tahun 2018 tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Nilai Ambang Batas (NAB) pajanan debu untuk partikulat respirabel di tempat kerja adalah sebesar 3 mg/m^3 .

Berdasarkan Tabel 5.7 menunjukkan nilai rerata kadar debu batu kali pada pengrajin batu kali adalah $7,27 \pm 6,68 \text{ mg/m}^3$, sedangkan pada non pengrajin batu kali adalah $0,25 \pm 0,13 \text{ mg/m}^3$. Artinya pajanan debu batu kali terhirup secara personal pada pengrajin batu kali lebih besar daripada non pengrajin batu kali. Pada pengrajin batu kali diketahui sebanyak 6 dari 10 orang telah terpajan debu batu kali dengan kadar yang melebihi NAB dengan nilai maksimum $19,10 \text{ mg/m}^3$. Hal ini sesuai dengan peningkatan kadar TNF- α serum dan penurunan faal paru (%FEV₁ dan %FVC) yang dialami oleh sebagian pengrajin batu kali berbeda secara signifikan dengan non pengrajin batu kali. Kadar debu batu kali pada non pengrajin batu kali yang berada di bawah NAB dipengaruhi oleh lokasi tempat kerja yang tidak terpajan debu batu kali secara langsung.

Ketika bernapas, udara yang mengandung debu masuk kedalam jaringan paru. Besar ukuran debu menentukan debu dapat tertimbun di jaringan paru atau tidak. Partikel debu dengan ukuran 1-3 mikron seperti debu batu kali akan tertimbun langsung di permukaan jaringan paru. Debu batu kali yang mengandung kristal silika dapat merangsang respon imun serta bersifat fibrigenik yang dapat

merusak daerah perifer paru sehingga terbentuk jaringan parut yang mengakibatkan pengerutan pada jaringan paru (Yeung *et al.*, 1995).

Terdapat dua hal yang perlu diperhatikan dalam menentukan nilai toksisitas suatu partikulat yang terhirup oleh pekerja selama bekerja di lingkungan kerja tersebut yaitu komposisi kimia debu dan ukurannya. Kedua hal tersebut menentukan seberapa besar kadar suatu partikel masuk kedalam tubuh dimana partikel tersebut mengendap di dalam organ serta efek toksik yang akan dihasilkan (Lestari, 2010). Mengingat debu batu kali mengandung kristal silika sebesar 65-99%, maka apabila debu batu kali yang mengandung silika masuk kedalam jaringan paru maka akan menyebabkan kelainan yang diakibatkan oleh penumpukan debu dalam jaringan paru seperti terjadinya penyakit silikosis dan pneumokoniosis. Sifat toksisitas debu menentukan reaksi jaringan yang terjadi pada pneumokoniosis. Debu silika mempunyai efek biologis yang sangat kuat. Reaksi parenkim berupa fibrosis nodular merupakan contoh klasik dari silikosis (Susanto, 2011).

Studi di beberapa negara menunjukkan tinginya angka pajanan kristal silika dari industri pemotongan batu. Studi kohort selama 14 tahun dilakukan pada pengrajin batu di Israel dimana telah terdiagnosa 25 orang pekerja mengalami silikosis. Semua pekerja telah terpapar oleh debu pemotongan batu yang mengandung kristal silika yang tinggi. Para pasien memiliki penyakit paru dengan derajat sedang hingga tinggi, dimana 2 pasien menunjukkan progresif fibrosis yang masif dan 3 pasien dinyatakan meninggal dunia (Mordechai *et al.*, 2012). Selain menyebabkan fibrosis paru, pajanan debu silika dalam jangka panjang juga

diimplikasi sebagai faktor penyebab kanker paru. Sebagaimana penelitian kohort oleh Liu *et al.*, 2013 pada 34.018 pekerja di Cina, ditemukan RR kanker paru meningkat pada individu dengan paparan debu silika bahkan dengan pajanan kumulatif $< 1 \text{ mg/m}^3$.

6.3 Kadar TNF- α Serum

Tumor Necrosis Factor Alpha (TNF- α) adalah salah satu sitokin proinflamasi yang paling penting dan diketahui memegang peran patogenik dalam inflamasi kronik. Inflamasi kronik ditandai dengan adanya nekrosis jaringan dan kematian jaringan (Abbas *et al.*, 2000). Kelompok TNF- α memiliki peran penting dalam berbagai proses fisiologis dan patologis antara lain proliferasi sel, diferensiasi, apoptosis, modulasi respon imun dan induksi inflamasi (Aggarwal, 2009). Peningkatan sitokin *Tumor Necrosis Factor Alpha* (TNF- α) selain berada di dalam saluran napas, juga beredar di sirkulasi sistemik. Peningkatan sitokin proinflamasi pada saluran napas sebagai petanda inflamasi lokal, juga akan memberikan gambaran pada peningkatan sel inflamasi secara sistemik pada gambaran darah tepi (Aggarwal, 2009).

Pengukuran kadar TNF- α serum dalam darah menggunakan *human tumor necrosis factor alpha* ELISA kit dengan metode ELISA *high sensitivity*. Secara teori, terdapat banyak faktor yang mengendalikan regulasi ekspresi TNF- α , seperti adanya paparan antigen serta karakteristik individu (Aggarwal, 2009). Antigen seperti pajanan debu batu kali berpotensi meningkatkan kadar TNF- α serum. Sebagaimana diketahui pada penelitian ini bahwa terdapat perbedaan kadar TNF- α serum antara pengrajin dan non pengrajin batu kali, dengan rerata kadar TNF- α

serum pada pengrajin batu kali adalah $146,59 \pm 71,79$ pg/ml lebih tinggi dari kelompok non pengrajin batu kali yaitu $42,91 \pm 20,84$ pg/ml, dimana pengrajin batu kali merupakan kelompok yang selalu terpajan debu batu kali dengan rerata konsentrasi debu yang melebihi NAB dan bekerja selama ≥ 8 jam kerja setiap harinya.

Selain itu adanya teori yang menyatakan bahwa kandungan silika dalam debu batu kali yang sangat tinggi hingga mencapai 99% juga diindikasikan menjadi penyebab peningkatan TNF- α serum pada pengrajin batu kali yang telah terpajan secara kronis oleh debu batu kali. Hal ini sejalan dengan beberapa penelitian yang menyebutkan bahwa TNF- α merupakan biomarker potensial sebagai indikator pajanan debu respirabel yang mengandung kristalin silika (NIOSH, 2017).

Mischeler *et al.*, (2016) menyebutkan bahwa setelah terpajan 4-8 jam oleh debu yang mengandung kristalin silika terjadi peningkatan kadar TNF- α serum darah secara signifikan. Hasil riset oleh Miao *et al.*, (2011) menyebutkan bahwa rerata kadar TNF- α serum pada kelompok yang terpajan debu silika lebih tinggi ($216 \pm 51,03$ pg/ml) bila dibandingkan dengan kelompok kontrol ($6,90 \pm 2,24$ pg/ml). Pemeriksaan TNF- α dalam serum darah tepi sangat berguna dalam upaya pengawasan kesehatan kerja dan deteksi dini terhadap efek pajanan debu dalam pekerjaan.

6.4 Faal Paru

Pemeriksaan faal paru sangat perlu dilakukan untuk mengetahui kelainan pada fungsi paru. Pemeriksaan fungsi paru dilakukan dengan menggunakan alat

spirometer yang berguna untuk mendiagnosa kelainan pada sistem pernapasan secara dini. Terdapat parameter minimal yang digunakan untuk pemeriksaan fungsi paru yaitu *Forced Expiratory Volume in 1 second* (FEV_1) dan *Forced Vital Capacity* (FVC) (Alsagaff dan Mukti, 2010). Parameter yang digunakan dalam pemeriksaan faal paru dalam penelitian ini adalah FEV_1 , % FEV_1 , FVC dan %FVC.

Hasil analisis statistik dengan uji t dua sampel bebas untuk parameter % FEV_1 diperoleh nilai $p = 0,009$ yang artinya terdapat perbedaan yang signifikan antara nilai % FEV_1 pengrajin dan non pengrajin batu kali. Penurunan faal paru % FEV_1 menunjukkan gangguan faal paru obstruksi (Levy *et al.*, 2011).

Salah satu penyebab gangguan faal paru obstruksi yang dialami oleh sebagian pengrajin batu kali dapat terjadi karena pajanan kadar debu batu kali yang reratanya melebihi NAB bila dibandingkan pada non pengrajin batu kali. Pajanan debu batu kali yang mengandung partikel silika yang terus menerus terhirup selama bekerja akan masuk kedalam saluran pernapasan dan terjadi penumpukan di dalam jaringan paru dan dapat menyebabkan gangguan obstruksi. Hal ini sesuai dengan pernyataan Rahmatullah (2009) bahwa gangguan faal paru obstruksi merupakan penurunan kapasitas fungsi paru yang diakibatkan oleh penimbunan debu sehingga menyebabkan penurunan kapasitas fungsi paru. Penurunan aliran udara mulai dari saluran napas bagian atas sampai bronkiolus berdiameter kurang dari 2 mm ditandai dengan penurunan nilai FEV_1 , % FEV_1 dan kecepatan aliran udara pada saat ekspirasi.

Berdasarkan Tabel 5.10, meskipun rerata %FVC pada pengrajin batu kali masih dalam batas normal, namun untuk nilai minimum %FVC pada pengrajin batu kali tertera 40,70% yang berada dibawah nilai normal apabila dibandingkan dengan nilai minimum pada non pengrajin batu kali (92,80%). Hal ini menunjukkan bahwa terdapat pengrajin batu kali yang mengalami penurunan faal paru dengan gangguan restriksi dengan nilai %FVC < 80%. Menurut Susanto (2011) debu respirabel yang mengandung partikel silika bersifat fibrogenik dan dapat menyebabkan kelainan paru restriktif. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dijelaskan pada Tabel 5.11 yang menunjukkan bahwa sebagian besar pengrajin batu kali mengalami gangguan faal paru restriksi (40%), sedangkan sisanya mengalami gangguan faal paru obstruksi (20%), campuran (10%) dan sekitar 30% masih memiliki kondisi faal paru yang normal.

6.5 Keluhan Pernapasan

Keluhan pernapasan adalah adanya gangguan pada saluran pernapasan akibat terpapar polutan udara. Jenis keluhan pernapasan pada pekerja yang terpapar oleh debu yakni batuk, dahak, mengi, sesak napas dan nyeri dada (Alsagaff dan Mukti, 2005). Identifikasi keluhan pernapasan pada pekerja batu kali ditanyakan melalui wawancara menggunakan instrument dengan standar *American Thoracic Society* (ATS) dengan kriteria ringan ($\leq 30\%$), sedang (31-69%) dan berat ($\geq 70\%$), yang bertujuan untuk mengetahui efek dari pajanan debu batu kali di tempat kerja terhadap keluhan pernapasan pekerja.

Berdasarkan hasil wawancara, sebagian besar keluhan pernapasan pada pengrajin batu kali berada pada kategori sedang (70%), sedangkan pada non

pengrajin batu kali seluruhnya berada pada kategori ringan (100%). Hal ini berkaitan dengan tingginya konsentrasi pajanan debu batu kali yang memajan pengrajin batu kali daripada yang dialami oleh non pengrajin batu kali. Debu yang mengandung kristal silika masuk ke dalam saluran pernapasan hingga ke jaringan paru dapat menyebabkan gangguan faal paru hingga penyakit silikosis. Gangguan pada faal paru ditandai dengan adanya keluhan subyektif pada saluran pernapasan seperti batuk, dahak, sesak napas dan demam (Soegito, 2004). Sebagaimana dalam penelitian ini bahwa sebagian besar responden mengalami keluhan seperti batuk, dahak dan nyeri dada. Hanya satu responden yang memiliki keluhan sesak napas meskipun tidak sering. Hal ini sejalan dengan penelitian Nwibo *et al.*, (2012) pada penambang batu di Ebonyi bahwa pekerja yang terpapar debu dalam pajanan kronis dilaporkan memiliki angka prevalensi keluhan pernapasan yang tinggi yaitu batuk (47,6%), nyeri dada (40,7%), sesak napas (6,5%) dan mengi (5,2%) dari 403 total responden.

Menurut Djodibroto (2014), gejala respiratorik seperti batuk, dahak, sesak napas, mengi dan nyeri pleuritik merupakan manifestasi klinik atau gejala dan tanda yang mengindikasikan bahwa suatu organ mengalami kelainan dan ditentukan oleh proses patologi yang mendasarinya. Gangguan faal paru obstruksi ditandai dengan peningkatan produksi lendir yang mengakibatkan penyempitan pada saluran pernafasan (Mukono, 2008).

Terjadinya silikosis, pada tahap awal pasien melaporkan gejala seperti sesak napas dan batuk. Pada pemeriksaan fisik didapatkan suara mengi yang terdengar di daerah pertengahan paru dan terdapat fungsi paru restriktif atau pola

campuran obstruksi dan restriksi (Davis, 2006). Sebagaimana yang juga dikemukakan oleh NIOSH (2008), bahwa tanda dan gejala awal yang diakibatkan oleh pajanan debu yang mengandung kristal silika adalah sesak napas pada saat bekerja, batuk, kelelahan, penurunan nafsu makan, nyeri dada dan demam.

6.6 Pengaruh Kadar Debu Batu Kali Terhadap Peningkatan Kadar TNF- α Serum

Pengaruh kadar debu batu kali terhadap peningkatan kadar TNF- α serum ditunjukkan oleh Tabel 5.13 sebagai hasil uji regresi linear sederhana bahwa terdapat pengaruh yang signifikan antara kadar debu batu kali terhadap peningkatan kadar TNF- α serum responden (p -value = 0,000). Hal ini berbeda dengan beberapa penelitian yang menunjukkan tidak adanya pengaruh antara kadar debu dengan peningkatan kadar TNF- α serum. Sebagaimana pada penelitian Sohilauw (2014) menunjukkan hasil yang berbeda, dimana pajanan debu yang mengandung silika tidak berpengaruh secara signifikan terhadap TNF- α serum pada penambang batu kapur.

Seperti diketahui bahwa batu kali merupakan jenis batuan sedimen dalam golongan *sandstone*, yang mana menurut penelitian Pettijohn *et al.*, (2014) kandungan kristal silika pada batu kali sangat tinggi yaitu $\geq 95\%$. Berbeda halnya dengan jenis batuan lain yang memiliki kadar silika lebih kecil daripada batu kali. Berdasarkan hal ini, komposisi dari batuan terutama untuk kadar silika turut berperan dalam proses patogenesis. Semakin tinggi kadar debu yang memajan pekerja ditambah dengan adanya kandungan silika yang tinggi maka semakin tinggi pula memberikan pengaruh untuk meningkatkan sekresi sitokin TNF- α .

Pajanan debu batu kali yang mengandung silika pada pengrajin batu kali dengan kadar yang terus meningkat dapat mengakibatkan terjadinya silikosis yang ditandai dengan terjadinya fibrosis pada jaringan paru (Susanto, 2011). Proses terjadinya fibrosis tidak terlepas dari keterlibatan sitokin pro inflamasi yaitu TNF- α . Hal ini berawal dari bagian permukaan partikel debu batu yang mengandung silika berinteraksi dengan makrofag kemudian mensekresi sejumlah sitokin lalu menimbulkan proliferasi fibroblast dan deposit bahan matriks jaringan ikat dalam jumlah yang besar (Yunus, 2009). TNF- α merupakan sitokin utama yang disekresi oleh makrofag dalam proses fibrogenesis akibat pajanan debu yang mengandung silika (Wynn, 2011). Hasil penelitian oleh Lee *et al.*, (2009) pada subyek yang terpapar debu respirabel anorganik seperti debu silika menunjukkan adanya hubungan yang signifikan antara temuan radiologis dengan kadar TNF- α serum ($\rho=0,306$, $p<0,01$).

Tabel 5.13 juga menunjukkan nilai koefisien determinasi (R^2) yaitu 0,823 yang artinya kadar debu batu kali mempengaruhi peningkatan kadar TNF- α serum sebesar 82,3%, sedangkan sebesar 17,7% kemungkinan dipengaruhi oleh variabel lain. Berdasarkan teori, peningkatan kadar TNF- α serum dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adanya paparan dari agen tertentu dan karakteristik individu. Pada bab selanjutnya akan dibahas mengenai pengaruh kadar debu batu kali terhadap peningkatan TNF- α serum dengan menyertakan variabel lain yaitu karakteristik individu.

6.7 Pengaruh Karakteristik Individu dan Kadar Debu Batu Kali Terhadap Peningkatan Kadar TNF- α Serum

Berdasarkan Tabel 5.14 dapat diketahui bahwa variabel yang memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan kadar TNF- α serum responden tidak hanya oleh kadar debu batu kali ($p = 0,000$), tetapi juga dipengaruhi oleh variabel karakteristik individu seperti umur ($p = 0,034$) dan lama kerja ($p = 0,029$). Namun demikian pengaruh dari kadar debu batu kali adalah yang paling signifikan. Sebagaimana yang dikemukakan oleh Cowie *et al.*, (2005) bahwa pekerja yang terpajan debu dengan konsentrasi tinggi telah mengalami peningkatan kadar TNF- α serum secara signifikan.

Jika dilihat dari nilai koefisien regresinya, nilai β pada pengaruh kadar debu batu kali adalah yang paling tinggi daripada pengaruh variabel lain, yaitu sebesar 11,817 dengan nilai positif, yang artinya setiap kenaikan 1 mg/m³ kadar debu batu kali yang memajan pengrajin batu kali akan diikuti dengan kenaikan kadar TNF- α serum sebesar 11,817 pg/ml. Penelitian ini menunjukkan bahwa responden yang terpajan debu batu kali dengan kadar lebih dari NAB mengalami peningkatan TNF- α serum diatas nilai standar (10-100 pg/ml). Sebagaimana diketahui bahwa pada individu normal tanpa adanya pajanan agen risiko, TNF- α tidak terdeteksi. Namun pada kondisi adanya pajanan agen risiko, TNF- α disekresi sampai kondisi optimal dalam melawan agen risiko dengan kadar 10-100 pg/ml. Kadar TNF- α yang tinggi diatas nilai standar menunjukkan bahwa terjadi peningkatan sekresi TNF- α yang berlebih sebagai respon perlawanan terhadap semakin tingginya agen risiko yang memajan individu tersebut.

Hal ini sejalan dengan beberapa penelitian lain yang menyatakan bahwa pajanan debu yang mengandung kristal silika dengan kadar yang tinggi mempengaruhi peningkatan kadar TNF- α dalam serum darah responden. Mischeler *et al.*, (2016) menyebutkan bahwa setelah terpajan 4-8 jam oleh kristalin silika terjadi peningkatan kadar TNF- α serum darah secara signifikan. Level TNF- α serum dan MMP-9 meningkat pada individu yang terpapar debu silika ($p < 0,05$), dan terdapat hubungan yang signifikan antara level TNF- α serum dan MMP-9 pada individu yang terpapar debu silika ($r = 0,696$, $p < 0,01$) dan pasien dengan silikosis ($r = 0,768$, $p < 0,01$) (Jiang *et al.*, 2015).

Selain oleh kadar debu batu kali, pengaruh variabel lama kerja terhadap peningkatan kadar TNF- α serum juga signifikan dengan nilai p -value sebesar 0,029. Sebagaimana dalam penelitian El Shafi *et al.*, (2019) yang menyatakan bahwa lama kerja penambang batu yang terpapar debu batu memiliki korelasi positif yang signifikan dengan peningkatan kadar TNF- α serum ($r = 0,82$; $p = 0,001$). Lama kerja kerja dalam sehari menunjukkan lamanya responden terpapar oleh agen risiko dalam sehari dalam satuan jam. Semakin lama responden terpapar debu batu kali maka semakin banyak debu yang dihirup yang tentunya dapat mempengaruhi kondisi kesehatannya termasuk meningkatnya kadar TNF- α serum, dimana dalam penelitian ini baik pada pengrajin maupun non pengrajin batu kali sebagian besar bekerja ≥ 8 jam sehari dan maksimum bekerja selama 12 jam.

Variabel lain yaitu umur juga memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan kadar TNF- α serum ($p = 0,034$). Penelitian Bruungsgaard *et al.*, (2000) menunjukkan perbedaan yang signifikan antara kadar TNF- α

responden yang berusia muda dan tua dengan nilai p -value < 0,05. Kadar TNF- α pada responden yang berusia tua lebih tinggi (2,5 pg/ml) daripada responden yang berusia muda (1,5 pg/ml). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Gupta *et al.*, (2003) terjadi peningkatan kadar TNF- α pada proses penuaan. Hal itu dikarenakan kemampuan imunitas tubuh yang lemah untuk melawan infeksi dan agen lain sehingga menyebabkan TNF- α diproduksi secara berlebihan dan kadar TNF- α meningkat. Faktor usia mempengaruhi kuat atau lemahnya sistem imun. Pada orang yang sudah memasuki usia tua, kecepatan respon imun mulai menurun, sehingga lebih mudah terserang penyakit dan menyebabkan kadar TNF- α meningkat (Fatmah, 2006).

Hasil penelitian ini di *home industry* batu kali menunjukkan sebagian besar responden berusia ≥ 36 tahun yang mana menurut Depkes (2009) usia ini dikategorikan sebagai masa dewasa akhir, maka apabila di lingkungan kerja tempat responden bekerja terdapat agen risiko seperti debu batu kali yang notabeneanya mengandung kristal silika, dan dengan semakin bertambahnya usia responden maka tentu akan mempengaruhi respon imun atau daya tahan tubuhnya, sehingga memicu peningkatan sekresi dari TNF- α serum responden.

Faktor status gizi, masa kerja, kebiasaan merokok dan pemakaian alat pelindung pernapasan dalam penelitian ini tidak memberikan pengaruh secara signifikan terhadap penurunan kadar TNF- α serum baik pada pengrajin maupun pada non pengrajin batu kali. Diketahui bahwa status gizi responden sebagian besar masih berada dalam kategori normal (70%) dengan rerata IMT < 25, begitu pula dengan kebiasaan merokok responden yang sebagian besar merupakan

perokok ringan (70%). Variabel masa kerja dalam penelitian ini juga tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penurunan kadar TNF- α serum, hal ini dikarenakan sebagian besar pengrajin batu kali bekerja kurang dari 14 tahun. Sehingga dalam hal ini status gizi, kebiasaan merokok dan lama kerja tidak berpengaruh secara signifikan terhadap penurunan kadar TNF- α serum.

6.8 Pengaruh Kadar Debu Batu Kali Terhadap Penurunan Faal Paru

Gangguan fungsi paru disebabkan oleh adanya deposit debu dalam jaringan paru yang kemudian disebut dengan pneumokoniosis. Menurut definisi dari *International Labor Organization* (ILO) pneumokoniosis adalah akumulasi debu dalam jaringan paru dan reaksi jaringan paru terhadap adanya akumulasi debu tersebut. Apabila pengerasan alveoli telah mencapai 10% akan terjadi penurunan elastisitas paru yang kemudian menyebabkan kapasitas vital paru akan menurun dan dapat mengakibatkan berkurangnya suplai oksigen kedalam jaringan otak, jantung dan bagian tubuh lainnya (Ika, 2013).

Berdasarkan hasil uji regresi linear sederhana untuk pengaruh kadar debu batu kali terhadap penurunan faal paru dengan parameter FEV₁, %FEV₁, FVC, %FVC diperoleh bahwa pengaruh kadar debu batu kali hanya signifikan terhadap penurunan faal paru dengan parameter FVC ($p = 0,019$) dan %FVC ($p = 0,003$). Sebagaimana pada penelitian Arba (2018), menunjukkan adanya pengaruh pajanan debu yang mengandung kristal silika terhirup terhadap faal paru FVC ($b = -0,786$; $p = 0,001$) dan %FVC ($b = -2,190$; $p = 0,018$), sedangkan pengaruh kadar debu batu kali terhadap penurunan FEV₁, %FEV₁ tidak signifikan. Hal ini dikarenakan debu batu kali merupakan debu fibrogenik yang mengandung silika

sehingga berdasarkan teori, pengaruhnya terhadap faal paru menimbulkan gangguan restriksi yang ditandai oleh penurunan %FVC. Selain itu dimungkinkan terdapat faktor lain selain pajanan debu yang berpengaruh terhadap penurunan %FEV₁ seperti faktor karakteristik individu yaitu usia, jenis kelamin, ras, status gizi, kebiasaan merokok dan kebiasaan memakai alat pelindung pernapasan (Harrington dan Gill, 2003).

6.9 Pengaruh Kadar TNF- α Serum Terhadap Penurunan Faal Paru

Berdasarkan hasil penelitian pada Tabel 5.16 menunjukkan bahwa terdapat pengaruh yang signifikan kadar TNF- α serum terhadap penurunan faal paru dengan parameter FVC dan %FVC. Kadar TNF- α serum telah mempengaruhi penurunan faal paru %FVC sebesar 61%. Penurunan pada nilai %FVC menunjukkan bahwa gangguan restriksi yang dialami oleh sebagian pengrajin batu kali dipengaruhi oleh peningkatan kadar TNF- α serum. Sebagaimana diketahui bahwa TNF- α merupakan sitokin proinflamasi yang memegang peran dalam terjadinya inflamasi kronis dan fibrogenesis. Menurut Indahwati (2013) adanya reaksi inflamasi kronis pada saluran pernapasan akibat pajanan debu dapat menyebabkan gangguan pada saluran pernapasan sehingga mempengaruhi fungsi paru. Inflamasi yang bersifat kronis biasanya ditandai dengan terbentuknya jaringan ikat (Abbas *et al.*, 2000). Sehingga dengan adanya pengaruh TNF- α serum terhadap penurunan faal paru %FVC dapat diindikasikan bahwa pada faal paru dimungkinkan telah terjadi inflamasi kronis sehingga mempengaruhi kapasitas paru untuk mengembang saat bernapas. Gangguan faal paru seperti ini disebut dengan kelainan restriksi.

Penelitian oleh El Shafy *et al.*, (2018) pada penambang batu di Mesir menyebutkan bahwa terdapat korelasi antara kadar TNF- α serum dengan %FVC yang sangat signifikan ($p = 0,001$). Kadar TNF- α serum yang terus meningkat disebabkan oleh sekresi makrofag teraktivasi akibat pajanan debu batu kali dengan kandungan kristal silika yang terhirup oleh pekerja sehingga mencederai epitel paru. Hal ini dapat ditunjukkan dari hasil penelitian bahwa rerata kadar debu batu kali yang dihirup oleh pengrajin batu kali lebih tinggi daripada non pengrajin batu kali dengan nilai yang melebihi nilai ambang batas.

6.10 Pengaruh Karakteristik Individu, Kadar Debu Batu Kali dan Kadar TNF- α Serum Terhadap Penurunan Faal Paru

Setelah dilakukan uji regresi secara simultan dengan memasukkan variabel lain seperti kadar TNF- α serum dan karakteristik individu, ternyata kadar debu batu kali masih memberikan pengaruh terhadap penurunan faal paru %FVC. Hasil penelitian pada Tabel 5.17 dan 5.18 menunjukkan bahwa pajanan debu batu kali berpengaruh secara signifikan terhadap penurunan faal paru untuk parameter %FVC, sedangkan untuk faal paru %FEV₁ tidak berpengaruh secara signifikan. Hal ini dikarenakan debu batu kali mengandung kristal silika yang menyebabkan kelainan restriksi pada pengrajin batu kali. Parameter %FVC menggambarkan kelainan restriksi, sedangkan parameter %FEV₁ menggambarkan kelainan obstruksi. Menurut Susanto (2011) debu silika bersifat fibrogenik dan dapat menyebabkan kelainan paru restriksi, dan reaksi utama akibat pajanan debu di paru adalah fibrosis.

Berdasarkan hasil pengukuran kadar debu personal terhirup diperoleh rerata pada pengrajin batu kali sebesar $7,27 \text{ mg/m}^3$, sedangkan rerata pada non pengrajin batu kali sebesar $0,25 \text{ mg/m}^3$. Artinya rerata kadar debu batu kali pada kelompok pengrajin batu kali lebih besar dari kelompok non pengrajin batu kali, dengan pajanan debu melebihi NAB ($> 3 \text{ mg/m}^3$). Jika responden terpajan debu batu kali yang mengandung silika secara terus menerus dalam waktu yang cukup lama maka akan mempengaruhi kondisi faal paru.

Debu silika masuk kedalam jaringan paru kemudian difagositosis oleh makrofag, namun terjadi autolisis pada makrofag sehingga merangsang sitokin dan fibroblast dan memproduksi kolagen. Kolagen membentuk nodule dalam jaringan paru dan terjadilah fibrosis yang disebut dengan penyakit silikosis (Mukono, 2010). Semakin tinggi kadar debu yang memenajan pekerja maka semakin banyak debu yang masuk kedalam alveoli, sehingga akan terjadi penurunan elastisitas paru yang menyebabkan penurunan kapasitas vital paru dan dapat mengakibatkan berkurangnya suplai oksigen ke jaringan otak dan jantung (Alsagaff dan Mukti, 2010). Pajanan debu dengan kadar yang terus meningkat dapat menimbulkan reaksi paru yang dikaitkan dengan terbentuknya jaringan parut atau fibrosis yang berdampak pada gangguan saat seseorang mengembangkan paru (Tarlo *et al.*, 2010).

Hasil penelitian yang ditunjukkan untuk parameter $\%FEV_1$, variabel yang berpengaruh secara signifikan adalah pemakaian alat pelindung pernapasan ($p = 0,036$), dimana responden yang mengalami penurunan faal paru $\%FEV_1$ seluruhnya tidak memenuhi standar dalam penggunaan alat pelindung pernapasan.

Penurunan faal paru %FEV₁ merupakan indikator untuk gangguan faal paru obstruksi. Kebiasaan pekerja menggunakan alat pelindung pernapasan dapat melindungi saluran pernapasannya dari paparan debu (Soeripto, 2008). Suma'mur (2013) menjelaskan penggunaan alat pelindung diri seperti masker berkaitan dengan upaya pencegahan terhadap banyaknya partikulat yang tertimbun di dalam organ paru akibat pencemaran udara yang dapat mengurangi kemampuan fungsi paru.

Pekerja yang tidak pernah menggunakan alat pelindung pernapasan lebih berisiko mengalami penurunan faal paru, karena debu yang ada di udara dapat secara bebas masuk ke dalam saluran pernapasan hingga terjadi akumulasi dan terjadi penyumbatan pada saluran napas sehingga akan mengganggu proses kecepatan aliran udara ekspirasi dimana terjadi penurunan aliran udara mulai dari saluran napas bagian atas sampai bronkiolus, ditandai dengan penurunan %FEV₁.

Pajanan debu yang terus terhirup hingga melebihi ambang batas akan menyebabkan gangguan pada sistem mukosilier dan fagisitosis makrofag sehingga mengakibatkan bertambahnya produksi lendir dan otot polos di sekitar jalan napas terangsang sehingga menimbulkan penyempitan. Apabila lendir semakin banyak disertai mekanisme yang tidak sempurna maka akan terjadi resistensi jalan napas berupa obstruksi saluran pernapasan atau dikatakan sebagai penurunan faal paru %FEV₁ (Suma'mur, 2013).

Hasil penelitian Nugroho (2010) menunjukkan pekerja yang terpapar debu yang tidak menggunakan alat pelindung pernapasan memiliki risiko terjadinya gangguan fungsi paru 6 kali lebih tinggi daripada pekerja yang menggunakan alat

pelindung pernapasan ($\text{Exp } \beta = 6,542$). Menurut Damayanti *et al.*, (2007) upaya untuk melindungi pekerja dari berkembangnya penyakit pernapasan kronis akibat pajanan debu adalah dengan memakai alat pelindung pernapasan berupa masker N95.

Selain kadar debu batu kali, faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap penurunan faal paru FVC dan %FVC pada penelitian ini adalah kadar TNF- α serum. Berdasarkan penelitian oleh Lee *et al.*, (2010) menyebutkan bahwa terdapat pengaruh yang signifikan antara kadar TNF- α serum dengan penurunan faal paru %FVC ($p = 0,027$) pada responden yang terpajan debu fibrogenik. Ketika tubuh terpajan oleh debu yang mengandung silika maka TNF- α disekresi oleh makrofag teraktivasi, dimana sitokin tersebut telah diimplikasi sebagai kunci terjadinya respon inflamasi dan proses fibrogenesis. Inflamasi yang bersifat kronis, selanjutnya akan mengakibatkan kerusakan pada jaringan napas dan menurunkan efisiensi kapasitas vital paru (Demedts *et al.*, 2003).

Adapun variabel karakteristik individu yang memberikan pengaruh signifikan terhadap penurunan faal paru FVC dan %FVC adalah umur, lama kerja dan status gizi. Menurut Mardiyono (2017), terdapat hubungan negatif antara umur dengan kapasitas fungsi paru, dimana semakin bertambah umur seseorang maka semakin menurun kapasitas fungsi parunya. Sebagaimana dalam penelitian ini bahwa sebagian besar umur baik pada pengrajin dan non pengrajin batu kali berada diatas 36 tahun. Menurut Barbara *et al.*, (2010) faktor umur mempengaruhi kekenyalan paru sebagaimana jaringan lain dalam tubuh. Semakin bertambahnya

umur, dinding dada dan jalan napas menjadi lebih kaku dan kurang elastis, sehingga jumlah pertukaran udara juga menurun.

Lama kerja merupakan waktu yang dihabiskan seseorang berada dalam lingkungan kerja dalam waktu sehari (Mengkidi, 2006). Lamanya seseorang bekerja pada umumnya berkisar 6-8 jam sehari. Namun didalam penelitian ini sebagian besar responden bekerja lebih dari 8 jam sehari. Berdasarkan Tabel 5.17, terdapat pengaruh yang signifikan lama kerja terhadap penurunan faal paru %FVC ($p = 0,008$). Bila pekerja terpapar cukup lama oleh debu melebihi NAB kemungkinan besar akan timbul gangguan pada faal paru. Hal ini juga sejalan dengan penelitian pada penambang batu di Mesir bahwasannya terdapat korelasi yang signifikan antara lama kerja dengan penurunan faal paru %FVC ($r = -0,71$; $p = 0,001$) (El Shafy *et al.*, 2019). Penelitian lain pada pekerja granit di India menunjukkan bahwa terdapat pengaruh yang signifikan antara lama waktu papar dengan kapasitas vital paru (Nandini *et al.*, 2018). Menurut Soeripto (2008), semakin lama kerja maka semakin banyak debu yang tertimbun di dalam paru. Pekerja yang terpajan debu dalam waktu yang panjang mengakibatkan penimbunan debu pada jalan napas maupun alveoli sehingga fungsi paru akan menurun (Suma'mur, 2013). Hasil studi Mirdha *et al.*, (2016) pada pekerja penghancur batu menunjukkan pengaruh yang signifikan antara lama waktu papar terhadap kapasitas vital paru ($p = 0,0195$), peningkatan lama waktu papar terhadap pajanan debu batu yang mengandung silika telah meningkatkan gangguan faal paru dengan penurunan nilai %FVC.

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa status gizi berpengaruh secara signifikan terhadap penurunan faal paru FVC dengan *p-value* sebesar 0,036. Hal ini sejalan dengan teori bahwa kekurangan makanan yang terus menerus akan menyebabkan susunan fisiologis terganggu dan dapat mengganggu kapasitas vital seseorang (Depkes, 2003). Masalah kekurangan dan kelebihan gizi pada orang dewasa pada usia 18 tahun keatas merupakan masalah penting, karena selain mempunyai risiko dengan penyakit tertentu, juga dapat mempengaruhi produktivitas kerja. Gizi merupakan nutrisi yang diperlukan oleh para pekerja untuk memenuhi kebutuhan sesuai dengan jenis pekerjaan. Tubuh memerlukan zat dari makanan untuk pemeliharaan tubuh, perbaikan kerusakan sel dan jaringan dan untuk pertumbuhan, yang banyak sedikitnya keperluan ini sangat bergantung kepada usia, jenis kelamin, lingkungan dan beban yang ditanggung oleh seseorang (Suma'mur, 2013).

Hubungan gizi dengan fungsi pernapasan adalah status gizi yang kurang dapat berakibat pada turunnya sel perantara imunitas yang dapat meningkatkan kerentanan terhadap infeksi. Sel imunitas pada saluran pernapasan diperankan oleh limfosit yang dapat membunuh, mengisolasi dan menggumpalkan benda asing yang masuk. Pada pekerja yang terpajan debu dan akibat dari turunnya sel perantara imunitas maka limfosit tidak dapat membentuk pertahanan terhadap debu yang masuk kedalam saluran pernafasan sehingga akibatnya debu yang masuk kedalam saluran pernapasan dapat mencapai paru (Darmanto, 2007). Debu yang mencapai saluran pernapasan bagian bawah merangsang suatu reaksi peradangan yang menyebabkan akumulasi dan autolisis makrofag yang berisi

debu sehingga akhirnya terjadi fibrosis paru. Akibat fibrosis, paru menjadi kaku sehingga membatasi daya pengembangan paru (Yunus, 1997).

Status gizi dapat ditentukan berdasarkan berat badan dan tinggi badan seseorang. Berat badan pekerja menentukan laju inhalasinya. Guna mengetahui jumlah *intake* agen risiko yang masuk kedalam tubuh pekerja maka perlu dipertimbangkan faktor berat badan dan laju inhalasi seseorang. Besarnya nilai *intake* atau asupan suatu agen berbanding lurus dengan nilai konsentrasi bahan kimia, laju inhalasi, frekuensi pajanan dan durasi pajanan, dimana semakin besar nilai tersebut maka akan semakin besar pula asupan bahan kimia yang diterima seseorang. Sehingga apabila seseorang memiliki berat badan berlebih maka akan semakin besar laju inhalasi atau frekuensi pernapasannya sehingga kadar debu yang terhirup juga semakin besar. Semakin besarnya kadar debu yang terhirup, apalagi debu batu kali mengandung silika, maka jika masuk kedalam jaringan paru dan terakumulasi dengan jumlah yang besar akan berakibat pada gangguan restriksi yang ditandai dengan penurunan nilai %FVC pada faal paru.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar pengrajin batu kali memiliki masa kerja dibawah 14 tahun. Hasil analisis statistika dengan uji t dua sampel bebas menunjukkan tidak ada perbedaan kebiasaan merokok antara pengrajin dan non pengrajin batu kali dimana sebagian besar responden memiliki kebiasaan merokok pada kategori ringan. Sehingga dalam hal ini faktor masa kerja dan kebiasaan merokok tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penurunan faal paru baik %FEV₁ maupun %FVC. Lama kerja menunjukkan pengaruh yang tidak signifikan terhadap penurunan %FEV₁

meskipun diketahui sebagian besar responden memiliki lama kerja ≥ 8 jam sehari. Hal ini dikarenakan asupan debu batu kali dengan kandungan silika masuk kedalam saluran pernapasan yang terus meningkat seiring dengan bertambahnya jam kerja tidak hanya memberikan efek obstruktif atau penyumbatan saluran napas yang ditandai dengan penurunan nilai %FEV₁, namun debu akan terdeposit dan mencederai jaringan paru sehingga terjadi reaksi inflamasi yang pada akhirnya terjadi pembentukan jaringan ikat sehingga timbul kekakuan pada paru untuk melakukan ispirasi yang ditandai dengan penurunan %FVC.

6.11 Pengaruh Karakteristik Individu, Kadar Debu Batu Kali dan Kadar TNF- α Serum Terhadap Keluhan Pernapasan

Menurut Alsagaff dan Mukti (2010), bahwa keluhan pernapasan menunjukkan adanya gangguan pada saluran pernapasan akibat selalu terpajan polutan udara, dimana yang dimaksud dengan saluran pernapasan adalah organ pernapasan yang dimulai dari hidung sampai ke alveoli paru beserta sinus paranasal. Debu yang terhirup oleh pekerja menyebabkan timbulnya reaksi mekanisme pertahanan nonspesifik atau keluhan pernapasan berupa batuk, bersin, gangguan transport mukosilier dan fagositosis oleh makrofag. Otot polos di sekitar jalan napas dapat terangsang sehingga menimbulkan penyempitan. Keadaan ini terjadi biasanya apabila konsentrasi debu melebihi nilai ambang batas sehingga terjadi interaksi dengan monosit, makrofag dan neutrofil yang kemudian melepaskan mediator inflamasi seperti *Tumor Necrosis Factor Alpha* (TNF- α) (Hermawan, 2006).

Tabel 5.19 dalam penelitian ini menunjukkan adanya pengaruh yang signifikan dari kadar TNF- α serum terhadap keluhan pernapasan. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Ophir *et al.*, (2019) terhadap pekerja batu artifisial yang terpajan debu batu yang mengandung partikel dibawah 1 mikron, bahwasannya pajanan debu batu dengan ukuran partikel $< 1 \mu\text{m}$ dapat mempengaruhi peningkatan TNF- α serum ($p = 0,007$), serta peningkatan TNF- α serum ini dapat mempengaruhi terjadinya keluhan pernapasan ($p = 0,021$). Pengaruh kadar TNF- α serum terhadap adanya keluhan pernapasan menunjukkan bahwa gangguan pernapasan timbul secara bertahap melalui pajanan debu batu kali, kemudian meningkatkan kadar TNF- α serum, dan pada akhirnya menimbulkan keluhan pernapasan pada responden.

Nilai *p-value* pada variabel pemakaian alat pelindung pernapasan menunjukkan 0,063 meskipun secara statistik pengaruhnya tidak signifikan namun dapat diindikasikan bahwa pemakaian alat pelindung pernapasan berpotensi menurunkan terjadinya keluhan pernapasan. Minimnya pemakaian alat pelindung pernapasan pada pekerja tambang di Nigeria yang terpapar debu silika berkontribusi terhadap tingginya prevalensi keluhan pernapasan (Aigbokhaode *et al.*, 2011).

6.12 Strategi Pengelolaan Risiko

Strategi pengelolaan risiko dilakukan berdasarkan pada perhitungan batas aman sesuai dengan karakteristik pekerja maupun kondisi lingkungan kerja pada saat ini, yaitu dengan memperhitungkan nilai konsentrasi aman agen risiko, durasi aman pajanan, frekuensi aman pajanan, dan waktu pajanan aman. Batas aman

yang digunakan sebagai pilihan adalah batas aman yang paling logis dan paling memungkinkan untuk memenuhi batas aman tersebut (Louvar & Louvar, 1998).

Berdasarkan perhitungan strategi pengelolaan risiko didapatkan nilai tengah (*median*) untuk konsentrasi aman, waktu aman, frekuensi aman dan durasi aman secara berturut-turut sebesar 2,04 mg/m³, 2,95 jam/hari, 92,30 hari/tahun dan 5,01 tahun. Waktu aman, frekuensi aman dan durasi aman tidak dapat dipilih sebagai opsi pengelolaan risiko karena berdasarkan hasil penelitian pada kondisi *real time* saat ini baik pada waktu, frekuensi dan masa kerja saat ini, telah ditemukan keluhan kesehatan dan penurunan faal paru pada 70% pengrajin batu kali. Hasil perhitungan strategi pengelolaan risiko batas aman yang paling memungkinkan dan logis untuk dilakukan adalah dengan menurunkan konsentrasi agen risiko yaitu menurunkan kadar debu batu kali yang memajan pengrajin batu kali sampai pada batas aman sesuai dengan perhitungan strategi pengelolaan risiko tersebut (2,04 mg/m³).

6.13 Upaya Pengendalian

Upaya pengendalian sangat diperlukan untuk mengurangi efek yang ditimbulkan dari pajanan debu batu kali yang memajan pekerja selama berada di *home industry* batu kali. Berdasarkan perhitungan strategi pengelolaan risiko didapatkan nilai batas aman sesuai dengan kondisi antropometri dan kondisi lingkungan saat ini sebesar 2,04 mg/m³. Pemilihan nilai konsentrasi aman dikarenakan yang paling memungkinkan dan logis untuk dilakukan upaya pengendalian terhadap pajanan debu batu kali.



BAB 7

PENUTUP

7.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian pengaruh pajanan debu batu kali terhadap peningkatan kadar TNF- α serum dan penurunan faal paru pada pengrajin batu kali di Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Rerata kadar debu batu kali yang terhirup oleh pengrajin batu kali lebih tinggi dibandingkan dengan pada non pengrajin batu kali.
2. Rerata kadar TNF- α serum pada pengrajin batu kali lebih tinggi dibandingkan dengan non pengrajin batu kali.
3. Pajanan debu batu kali berpengaruh terhadap peningkatan kadar TNF- α serum pada pengrajin batu kali. Faktor karakteristik individu seperti umur dan lama kerja turut berpengaruh terhadap peningkatan kadar TNF- α serum.
4. Kadar TNF- α serum pada pengrajin batu kali berpengaruh terhadap penurunan faal paru (FVC dan %FVC) yang mengarah kepada gangguan restriksi.
5. Pajanan debu batu kali berpengaruh terhadap penurunan faal paru (%FVC) yang mengarah kepada gangguan restriksi. Keterlibatan faktor lain seperti kadar TNF- α serum, umur dan lama kerja juga berpengaruh terhadap penurunan faal paru %FVC.

6. **Pajanan debu batu kali tidak berpengaruh terhadap penurunan % FEV₁ yang mengarah kepada gangguan obstruksi, namun faktor yang mempengaruhi yaitu pemakaian alat pelindung pernapasan.**
7. **Kadar TNF- α serum berpengaruh secara signifikan terhadap keluhan pernapasan responden. Gangguan pernapasan timbul secara bertahap melalui pajanan debu batu kali, kemudian meningkatkan kadar TNF- α serum, dan pada akhirnya menimbulkan keluhan pernapasan pada responden.**

7.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagi pekerja :

- a. **Selalu menjaga kesehatan dengan melakukan olahraga secara teratur dan mengurangi konsumsi rokok agar tetap bugar guna meningkatkan kapasitas paru.**
- b. **Selalu menjaga daya tahan tubuh dengan konsumsi air mineral yang cukup, mengkonsumsi makanan atau minuman yang mengandung antioksidan dan dapat meningkatkan produksi makrofag seperti kedelai, telur dan wortel.**
- c. **Melakukan diet sehat bagi responden dengan status gizi gemuk melalui pengaturan porsi makan untuk setiap kali makan yaitu seperempat untuk sumber protein (daging, ikan atau telur), seperempat karbohidrat (nasi) dan dua perempat untuk sayuran.**

- d. Menyediakan pakaian kerja dan pakaian ganti di tempat kerja sehingga pakaian kerja tidak dibawa pulang untuk menghindari kontaminasi dan melindungi anggota keluarga dari pajanan debu silika yang menempel di baju kerja.
 - e. Mengurangi pajanan debu terhirup di tempat kerja dengan segera meninggalkan lingkungan kerja apabila pekerjaan sudah selesai.
 - f. Selalu menggunakan masker saat bekerja dengan jenis yang sesuai standar yaitu masker N-95 atau P-100 yang dapat menyaring partikel hingga 0,3 mikron.
 - g. Selalu menggunakan metode basah dalam proses pekerjaan untuk meminimalisir debu yang ditimbulkan.
2. Bagi pemilik usaha dan asosiasi pengusaha :
- a. Perlu menyediakan fasilitas masker yang memenuhi standar (N-95 atau P-100).
 - b. Diupayakan untuk melakukan rekayasa proses basah dari yang sebelumnya menggunakan selang air biasa untuk penyiraman, dengan menambahkan *nozzle* jenis *flat-spray nozzle* pada ujung selang untuk menghasilkan butiran air yang lebih besar sehingga penyiraman lebih optimal dan dapat lebih meminimalisir debu yang dihasilkan.
 - c. Bekerjasama dengan dinas terkait untuk menyelenggarakan pemeriksaan kesehatan secara berkala.
 - d. Melakukan penanaman pohon yang dapat mereduksi polusi udara akibat partikel debu seperti pohon mahoni.

3. Bagi unit kesehatan kerja dan puskesmas setempat :
 - a. Mengadakan pelatihan surveilans kesehatan kerja bagi UKK agar selanjutnya dapat diterapkan pada *home industry* batu kali yang menjadi daerah binaan puskesmas sehingga dapat mendeteksi secara dini penyakit akibat pajanan debu batu kali dan upaya pencegahan dapat dilakukan.
 - b. Melakukan pendidikan dan pelatihan kesehatan, termasuk sosialisasi potensi bahaya debu batu kali, dampak terhadap kesehatan dan cara pencegahannya.
 - c. Perlu melakukan pemeriksaan kesehatan secara berkala terkait dengan kondisi kesehatan umum dan kondisi faal paru termasuk pemeriksaan TBC yang dapat memperparah penyakit silikosis.
 - d. Perlu melakukan pemantauan lingkungan kerja secara berkala utamanya terkait dengan pengukuran fraksi debu respirabel dan kandungan silika.
4. Bagi peneliti lain
 - a. Disarankan untuk melakukan analisis debu lebih detail sampai ukuran nano agar diketahui kandungan sebenarnya dari batu kali yang dapat memberikan dampak bagi kesehatan paru pekerja.
 - b. Disarankan untuk melakukan penelitian dengan melibatkan biomarker lain yang lebih khusus seperti TGF- β yang berperan langsung terhadap pembentukan myofibroblast pembentuk jaringan fibrotic pada paru.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas AK and Lichtman A, (2011). *Basic Immunology* 3rd edition, *Saunders, an imprint of Elsevier Inc*, Philadelphia, p. 38 – 43.
- Aggarwal BB, Samanta A, Fieldman M, (2009). *TNF α Proceedings of 12th International TNF Conference Springer*, p. 413-434.
- Aghilinejad M, Naserbakht A, Naserbakht M, Attari G, (2012). *Silicosis Among Stone-Cutter Workers : A Cross-Sectional Study. National Research Institute of Tuberculosis and Lung Disease, Iran, Tanaffos*, Vol. 11, No. 2, p. 38-41.
- Aigbokhaode AQ, Isah EC, Isara AR, (2011). *Knowledge and Practice of Occupational Safety Practice among Quarry Workers in a Rural Community in Edo State, Nigeria. Journal of Community Health and Primary Health Care*. Vol. 23, No. 1 & 2, p. 16-24
- Alsagaff H, Mukti HA (2004). *Nilai Normal Faal Paru Orang Indonesia Pada Usia Sekolah dan Pekerja Dewasa Berdasarkan American Thoracic Society (ATS) 1987: Indonesia Pneumobil Project*. Surabaya : Airlangga University Press.
- Alsagaff H, Mukti HA, (2005). *Dasar-dasar Ilmu Penyakit Paru. Cetakan Ketiga*. Surabaya : Airlangga University Press.
- Alsagaff H, Mukti HA, (2010). *Dasar-dasar Ilmu Penyakit Paru*. Surabaya : Airlangga University Press.
- Amdani, (2010). *Pengaruh Pemberian Skopletin dari Buah Mengkudu (Morinda citrifolia Linn.) Terhadap Aktifitas dan Kapasitas Fagositosis Makrofag Peritoneal Mencit Putih Jantan*. Universitas Andalas, Fakultas Farmasi
- American Thoracic Society, (1978). *Recommended Respiratory Diseases Quistionnaires for Use with Adults and Children in Epidemiological Research. Am Rev Respir Dis*. Vol. 118, p. 7-53
- Amruta M, Liying W, Yon R, (2013). *Pulmonary Toxicity and Fibrogenic Response of carbon Nanotubes. Toxicol Mech Methods*, Vol. 23, No. 3, p. 196-206.
- Anshar AS, (2005). *Hubungan Paparan Debu Gamping dengan Kapasitas Vital Paksa Paru pada Pekerja Batu Gamping di UD. Usaha Maju. Jurnal Media Kesehatan Masyarakat Indonesia*.



- Anugrah Y, (2013). Faktor-faktor yang Berhubungan Dengan Kapasitas Vital Paru Pada Pekerja Penggilingan Divisi Batu Putih Di PT. Sinar Utama Karya. *Tesis*. Universitas Negeri Semarang.
- Arba S, (2016). Pengaruh Paparan Debu Silika Terhadap Kadar Interferon Gamma (IFN- γ) Serum, Faal Paru dan Keluhan Kesehatan Pekerja *Sandblasting*.
- Ariana, (2003). Pengaruh Aging Terhadap Sistem Imun. *JKM*. Vol. 3, No. 1, p. 53-58
- Arlan LG, Elder BL., dan Morgan MS, (2009). House Dust Mite Extracts Activate Cultured Human Dermal Endothelial Cell to Express Adhesion Molecule and Secrete Chytokines, *Journal of Medical Entomology*, Vol. 3, No. 46, p. 595 – 604.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), (2017). *Toxicological Profile for Silica*. US, Department of Health and Human Service
- Bardly JR, (2008). TNF-Mediated Inflammatory Disease. *Journal of Pathology*, Vol. 214, No. 2, p. 149-160.
- Bon KK, Vinitha TU, Chakraborty, Birch ME, Joseph P, Chong H, (2017). Lab-on-a-Chip Device for On-Site Biomonitoring of Workers Exposed to Respirable Silica Aerosol. NIOSH. *Expanding Research Partnerships*. State of the Science Meeting 2017, June 21-22.
- Brownell LE, Young EH, (1983). *Process Equipment Design. Silicon Dioxide*. New York : John Willey and Sons Inc.
- Brunner and Suddarth, (2001). *Keperawatan Medikal Bedah*. Volume 2. Jakarta : ECG.
- Brunsgaard H, Skihoj P, Pedersen N, Schroll M, Pedersen BK, (2000). Ageing, Tumour Necrosis Factor-Alpha (TNF- α) and Atherosclerosis. *Clinical and Experimental Immunology*; 121 : p. 255-260
- Budiono I, (2007). Faktor Risiko Gangguan Fungsi Paru pada Pekerja Pengecatan Mobil. *Tesis*. Universitas Diponegoro.
- Chanvirat K, Chaiear N, Choosong T, (2018). Determinants of Respirable Crystalline Silica Exposure among Sand-stone Workers. *American Journal of Public Health Research*, Vol. 6, No. 2, p. 44-50.

- Chen, Weihong, Y Liu, H Wang, E Hnizdo, Y Sun, L Su, X Zhang, S Weng, F Bochmann, Frank J Hearl, J Chen, T Wu, (2012). Long-Term Exposure to Silica Dust and Risk of Total and Cause-Specific Mortality in Chinese Workers: A Cohort Study. *PLoS Medicine*, Vol. 9, Issue 4 e1001206.
- Christina BB, Fransisca HC, Kristin K, Caroline, Sudiono J, (2015). Peran Monosit (Makrofag) Pada Proses Angiogenesis Dan Fibrosis. *Seminar Nasional Cendekiawan*. Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Trisakti, ISSN: 2460-8696.
- Cowie RL, Murray JF and Becklake MR, (2005). Textbook of Respiratory Medicine. 4 th Ed. Philadelphia. *Elsevier Saunders*; 82-1748.
- Damayanti T, Yunus F, Ikhsan M, Sutjahyo K, (2007). Hubungan Penggunaan Masker dengan Gambaran Klinis, Faal Paru dan Foto Toraks Pekerja Terpapar Debu Semen. Departemen Pulmonologi dan Ilmu Kedokteran Respirasi Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia, Jakarta.
- Darmanto D, (2007). *Respirologi*. Jakarta : ECG.
- Darmono, (2001). *Lingkungan Hidup dan Pencemarannya, Hubungannya Dengan Toksikologi Lingkungan*. Jakarta : UI Press.
- Davis GS, (2002). *Silicosis. Occupational Disorders of The Lung*. London : WB Saunders, p. 105-112.
- Davis GS, (2006). Occupational Disease, Silicosis. *Encyclopedia of Respiratory Medicine*, 2006, p. 226-236
- Demedts M, Nemey B, Elnes P. Pneumoconioses. In: Gibson GJ, Gedder DM, Costales U, Sterk PJ, Cervin B, (2003). *Respiratory Medicine*. London: Elsevier Science, Vol. 3, p. 675-92.
- Departemen Gizi dan Kesehatan Masyarakat, (2007). *Gizi dan Kesehatan Masyarakat*. Jakarta : Raja Grafindo Persada
- Depkes RI, (2003). Indikator Indonesia Sehat 2010 dan Pedoman Penetapan Indikator Provinsi Sehat dan Kabupaten/Kota Sehat. Jakarta
- Depkes RI, (2003). Upaya Kesehatan Kerja Sektor Informal di Indonesia. Jakarta : Depkes RI.
- Depkes RI, (2009). Klasifikasi Kelompok Usia. Jakarta : Depkes RI

- Distler JH, Schett G, Gay S, Distler O, (2008). The Controversial Role of Tumor Necrosis Factor Alpha in Fibrotic Diseases. *Arthritis Reum*, Vol. 58, No. 8, p. 2228-2235.
- Djauhari Noor, (2013). *Pengantar Geologi*. Bogor : Program Studi Teknik Geologi, Universitas Pakuan.
- Djojodibroto, (2014). *Respiologi. (Respiratory Medicine)*. Jakarta : Penerbit Buku Kedokteran ECG.
- Duque GA, Descotoux A, (2014). Macrophage Cytokine : Involvement in Infection and Infectious Disease. *Frontier in Immunology*, Vol. 5, No. 491, p. 1-12.
- Esmail N, Gharagozloo M, Rezaei A, Grunig G. Dust events, (2014). Pulmonary Diseases And Immune System. *Am J clin Exp Immuno*, Vol. 3, No.1, p. 20-29.
- Fahmi T, (2012). Hubungan Masa Kerja Dan Penggunaan APD Dengan Kapasitas Fungsi Paru Pada Pekerja Tekstil Bagian Ring Frame Spinning I Di PT. X Kabupaten Pekalongan, *disertasi*, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Semarang.
- Fatmah, (2006). Respon Imunitas yang Rendah Pada Tubuh Manusia Usia Lanjut. *Makara Kesehatan*, Vol. 10, No. 1, hal. 47-53.
- Francis C, (2006). *Perawatan Respirasi*. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Greenberg MI, Waksman J, Curtis J, (2007). Silicosis: a review. *Dis Mon*, Vol. 53, p. 394-416.
- Gupta S, Chiplunkar S, Kim C, Yel L, Gollapudi S, (2003). Effect of Age on Molecular Signaling of TNF-alpha- Induced Apoptosis in Human Lymphocytes. *Pubmed*, Vol. 124, No. 4, p. 503-509.
- Guyton AC, Hall JE, (2010). *Buku Ajar Fisiologi Kedokteran Edisi 12*. Jakarta : Penerbit Buku Kedokteran ECG.
- Habibah E, Junaidi, Hermawan I, (2017). Hubungan Berat Badan dan Kapasitas Vital Terhadap VO₂ Max Pada Anggota Ekstrakurikuler Futsal SMAN 1 Cibungbulang. Fakultas Ilmu Olahraga, Universitas Negeri Jakarta.
- Hakim A, (2014). Evaluasi Efektivitas Tanaman dalam Mereduksi Polusi Berdasarkan Karakter Fisik Pohon Pada Jalur Hijau Jalan Pajajaran Bogor. Institut Pertanian Bogor, Fakultas Pertanian.

- Hamilton RF, Thakur SA, Holian A, (2008). Silica Binding and Toxicity in Alveolar Macrophages. *Free Radic, Biol, Med*. Vol. 44, p. 1246-1258.
- Hancock A, Armstrong L, Gama R, Millar A, (1998). Production Of Interleukin 13 By Alveolar Macrophages From Normal And Fibrotic Lung. *Am. J. Respir. Cell Mol. Biol*, Vol. 18, p. 60-65
- Handajani J, Fatimah S, Asih R, Latif A, (2015). Penurunan Kadar IL-1 β Makrofag Terpapar Agregat Bakteri *Actinomyces comitans* Setelah Pemberian Minyak Astiri Temu Putih. *Majalah Kedokteran Gigi Indonesia*. Vol. 1, No. 2, p. 130-135
- Harrington JM, Gill FS, (2003). *Buku Saku Kesehatan Kerja*. Jakarta : ECG.
- Hart JE, Laden F, Schenker MB, Garshick E, (2006). Chronic Obstructive Pulmonary Disease Mortality in Diesel-Exposed Railroad Workers. *Environmental Health Perspectives*. Vol. 114, No. 7, p. 1014-1017
- Hasan, (2017). Pemberdayaan Kesehatan Pengrajin Keramik Mozaik di Desa Campurdarat Kecamatan Campurdarat Kabupaten Tulungagung. *tesis*. Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya.
- Healy CB, Coggins MA, Tonngeren MV, MacCalman L, McGoWan P, (2013). Determinants of Respirable Crystalline Silica Exposure Among Stoneworkers Involved in Stone Restoration Work. *The Annals of Occupational Hygiene*, Vol. 58, No. 1, p. 6-18.
- Herdiani N, Putri E, (2018). Gambaran Histopatologi Paru Tikus Wistar Setelah Diberi Paparan Asap Rokok. *Medical and Health Science Journal*. Vol. 2, No. 2, p. 7-14
- Herring W, (2019). *Learning Radiology, Recognizing the Basics*, 4th Edition. Elsevier
- Hietbrink F, Zoenderman L, Rijkers G, Leenen L, (2006). Trauma : The Role of The Innate Immune System. *World Journal Emergency Surgery*. Vol. 1, No.15
- Hnizdo E, Vallyathan V, (2003). Chronic obstructive pulmonary disease due to occupational exposure to silica dust: a review of epidemiological and pathological evidence. *Occup Environ Med*, Vol. 60, p. 237-243.
- Hubbard AK, Mowbray S, Thibodeau M, Giardina C, (2004). *Fibrogenesis : Cellular and Molecular Basis*. Eureka.com and Kluwer Academic/Plenum Publisher. p. 201-212.

- Ichsani, (2015), Faktor-faktor yang Berhubungan dengan Kapasitas Vital Paru Pada Pekerja Pengolahan Batu Split PT. Indonesia Putra Pratama Cilegon, *tesis*. Program Studi Kesehatan Masyarakat, Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Ika FS, (2013). Peningkatan TNF- α Serum Darah dan Penurunan Faal Paru Pada Pekerja Terhadap Endotoksin LPS dalam Debu Kapas, *tesis*. FKM Unair, Program Studi Kesehatan Lingkungan
- Ikawati Z, (2011). *Penyakit Sistem Pernapasan dan Tatalaksana Terapinya Edisi 1*. Yogyakarta : Penerbit Bursa Ilmu.
- Ikhsan M, Rainol M, Swidarmoko B, (2009). *Bunga Rampai Penyakit Paru Kerja dan Lingkungan*. Depok : Balai Penerbit FK UI.
- Indahwati L, (2013). Dampak Paparan Endotoksin LPS Debu Penggilingan Padi Terhadap Peningkatan TNF α Serum Darah dan Penurunan Faal Paru Operator, *tesis*. Program Studi Kesehatan Lingkungan Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Airlangga.
- Inghilleri S, Morbini P, Oggioni T, (2006). In Situ Assessment of Oxidant and Nitrogenic Stress in Bleomycin Pulmonary Fibrosis. *Histochem Cell Biol*, Vo. 125, p. 661-669.
- International Agency for Research on Cancer (IARC), (1997). *Silica, Some Silicates, Coal Dust and Para Aramid Fibrils*. Lyon: 1997; 68. IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemical to Humans.
- International Labour Organization (ILO), (2013). *The Prevention of Occupational Disease*. Switzerland : International Labour Organization.
- International Organization for Standardization (ISO), (1994). *Air Quality. General Aspect*.
- Jasminarti, (2013). Hubungan Paparan Kumulatif Debu Batu dengan Kadar Interleukin 13 Serum dan Faal Paru Pekerja Pemecah Batu di Kecamatan Gerokgak, Kabupaten Buleleng, Bali, *tesis*. Departemen Pulmonologi dan Kedokteran Respirasi. Fakultas Kedokteran Universitas Airlangga.
- Jiang PR, Cao Z, Qiu ZL, Pan JW, Zhang N, Wu YF, (2015). Plasma Levels of TNF- α and MMP-9 in Patients With Silicosis. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*. Vol. 19, p. 1716-1720.

- Kachuri L, Villeneuve PJ, Parent ME, (2014). Canadian Cancer Registries Epidemiology Group. Occupational Exposure to Crystalline Silica and The Risk of Lung Cancer In Canadian Men. *Int J Cancer*. Vol. 135, No. 1, p. 138–148.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, (2014). Pedoman Gizi Seimbang. Jakarta : Dirjen Bina Gizi dan KIA.
- Kementrian Tenaga Kerja dan Transmigrasi Republik Indonesia, (2018). Permenakertrans RI No : PER. 05/MEN/2018 tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja. Jakarta : Menakertrans RI.
- Kennedy SM, Dimich-Ward H, Desjardin A, Kasam A, Vedal S, Chan-Yeung M, (1994). *Respiratory Health Among Retired Grain Elevator Workers*. *Am J Respir Crit Care Med*. Vol. 150, p. 59-65.
- Khumaidah, (2009). Analisis Faktor-faktor yang Berhubungan dengan Gangguan Fungsi Paru pada Pekerja Mebel PT. Kota Jati Furnindo Kabupaten Jepara. *Tesis*. Universitas Diponegoro.
- Kristanto P, (2004). *Ekologi Industri*. Yogyakarta : Penerbit ANDI
- Kuempel ED, (2001). A Biomathematical Model of Particle Clearance and Retention in The Lungs of Coal Miners : II. Evaluation of Variability and Uncertainty. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. No. 34, Vol. 1, p. 88-101
- Kurniawan AT, Rizky ZP, Ramadhan DH, (2018). Association Between Levels of Particulate Matter 2,5 (PM_{2,5}) and Tumor Necrosis Factor-Alpha (TNF- α) in Blood of Employees at Motor Vehicle Test Center. *The 2nd International Meeting of Public Health 2016 with theme "Public Health Perspective of Sustainable Development Goals: The Challenges and Opportunities in Asia-Pacific Region"*, *KnE Life Sciences*. Vol. 2018, p. 384-390.
- Lange JB, (2008). Effects of Wood Dust : Inflammation, Genotoxicity and Cancer. *Dissertation*. Copenhagen : University of Copenhagen.
- Lee JS, Shin JH, Lee JO, Lee WJ, Hwang JH, Kim JH, Choi BS, (2009). Levels of IL-1 β , IL-6, IL-8, TNF- α , and MCP-1 in Patient Exposed to Inorganic Dusts. *Official Journal of Korean Society of Toxicology*. Vol. 25, No. 4, p. 217-224.
- Lee JS, Shin JH, Lee JO, Lee KM, Kim JH, Choi BS, (2010). Serum Levels of Interleukin-8 and Tumor Necrosis Factor-alpha in Coal Workers Pneumoconiosis : One-Year Follow-up study. *Safety and Health at Work*. No. 1, p. 69-79.

- Lestari F, (2010). *Bahaya Kimia Sampling dan Pengukuran Kontaminan Kimia di Udara*. Jakarta : Penerbit Buku Kedokteran ECG
- Levy BS, Wegma DH, Baron SL, Sokas RK, (2011). *Occupational Environmental Health: Recognizing and Preventing Disease and Injury, Sixth Edition*. UK : Oxford University Press.
- Liu Y, Steenland K, Rong Y, (2013). Exposure-Response Analysis and Risk Assessment for Lung Cancer in Relationship to Silica Exposure: a 44-Year Cohort Study of 34,018 Workers. *Am J Epidemiol*. Vol. 178, No. 9, p. 1424-1433.
- Louvar JF, Louvar BD, (1998). *Health and Environmental Risk Analysis : Fundamentals with Application*, Vol. 2, New Jersey : Prentice Hall PTR.
- Nwibo AN, Ugwuja EI, Nwambeke NO, Emelumdu OF, Ogbonnaya LU, (2012). Pulmonary Problems Among Quarry Workers of Stone Crushing Industrial Site at Umuoghara, Ebonyi State, Nigeria. *The International Journal of Occupational and Environmental Medicine*. Vol. 3, no. 4, p. 178-185
- Madina DS, (2007). Nilai Kapasitas Vital Paru dan Hubungannya dengan Karakteristik Fisik pada Atlet Berbagai Cabang Olahraga, *tesis*, Fakultas Kedokteran, Universitas Pajajaran.
- Mannino DM., Reichert MM., Davis KJ, (2006). Lung Function Decline and Outcomes in an Adult Population. *Am J Respir Crit Care Med*. Vol. 1: 173, No. 9, p. 985-990.
- Mardiyono, (2017). Hubungan Umur dan Kadar Debu Kain dengan Fungsi Paru Pekerja Wanita Perusahaan Konveksi. *Prosiding Seminar Nasional Conference of Indonesian Occupational Safety and Health (CIOSH)*
- Mayer G, Heckel A, (2006). Biologically Active Molecules with a “Ligth Switch”. *Angewandte Chemie*. Vol. 45, No. 30, p. 4900-492.
- Mengkidi, Nurjazuli, Sulistyarini, (2006). Gangguan Fungsi Paru dan Faktor-faktor yang Mempengaruhi pada Karyawan PT. Semen Tonasa Pangkep Sulawesi Selatan. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*. Vol. 5, No. 2.
- Miao RM, Zhang XT, Yan YL, He EQ, Guo P, Zhang YY, Zhao DK, Yang ZG, Chen J, Yao MY, (2011). Change of Serum TGF-beta1 and TNF-alpha in Silicosis Patients). *PubMed.gov*. Vol. 29, No. 8, p. 606-607
- Mirdha P, Solanki S, Singh B, (2016). Deterioration of Pulmonary Fuction with Duration of Exposure to Silica Dust in Stone Crusher Workers. *Indian Journal of Clinical Anatomy and Physiology*. Vol. 3, No. 4, p. 544-546

- Mischler SE, Cauda EG, Giuseppe MD, McWilliams LJ, St.Croix C, Sun M, Franks J, Ortiz LA, (2016). Differential Activation of RAW 264.7 Macrophages by Size-Segregated Crystalline Silica. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, Vol. 11, No. 57, p. 3-14.
- Misitahari MI, (2011). Pemberian Growth Hormone Menurunkan Kadar Tumor Necrosis Factor Alpha Pada Tikus Jantan yang Dislipidemia. *Tesis*, Program Pascasarjana Universitas Udayana.
- Mordechai R, Paul D, Elizabeth F, Anat A, Alexander G, Nader A, David S, (2012). Artificial Stone Silicosis : Disease Resurgence Among Artificial Stone Workers. *Chest*. Vol. 142, No. 2, p. 419-424
- Mukono HJ, (2008). Pencemaran Udara Dan Pengaruhnya Terhadap Gangguan Saluran Pernapasan. Surabaya : Airlangga University Press.
- Mukono HJ, (2010). *Toksikologi Lingkungan*. Surabaya : Airlangga University Press.
- Mukono HJ (2011). *Prinsip Dasar Kesehatan Lingkungan Edisi Kedua*. Surabaya : Airlangga University Press.
- Munasir, Triwikantoro, Zainuri M, Darminto, (2012). Uji XRD dan XRF Pada Bahan Mineral (Batu dan Pasir) Sebagai Sumber Material Cerdas (CaCO₃ dan SiO₂). *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA)*, Vol. 2, No. 1, hal. 20-29.
- Nandini C, Malleshappa K, Vastrad BC, Nafees S, (2018). Study of Lung Fuction in Granite Workers Based on Duration of Exposure. *National Journal of Physiology, Pharmacy and Pharmacology*. Vol. 8, No. 10, p. 1374-1376
- Nasry, (2008). *Epidemiologi*. Jakarta : PT. Rineka Cipta.
- Nedved, Milos dan Imamkhasani, Soemanto, (2005). *Fundamental of Chemical Safety and Major Hazard Control*. Jakarta.
- NIOSH. (2002). Health Effects Of Occupational Exposure To Respirable Crystalline Silica. In: NIOSH hazard review. Publication No. 2002-129. Cincinnati Ohio.
- NIOSH, (2008). Preventing Silicosis and Death from Sandblasting , Preventing Silicosis and Death from Rock Drilling and Preventing Silicosis and Death in Construction Workers. 1 (800) 35-NIOSH
- NIOSH, (2015). *NIOSH Directory of Personal Protective Equipment. Promoting Productive Workplace Through Safety and Health Research*.

- Noor D, (2012). *Pengantar Geologi*. Bogor : Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Pakuan
- Nugroho ASS, (2010). Hubungan Konsentrasi Debu Total Dengan Gangguan Fungsi Paru Pada Pekerja di PT KS Jakarta, *tesis*. Universitas Indonesia
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA), (2010). Occupational exposure to respirable crystalline silica—review of health effects literature and preliminary quantitative risk assessment.
- Ombuh RV, Nurjazuli, Raharjo M, (2017). Hubungan Paparan Debu Terhirup Terhadap Gangguan Fungsi Paru Pada Pekerja Bongkar Muat di Pelabuhan Manado Sulawesi Utara. *Higiene*, Vol. 3, No. 2, p. 70-75
- Ophir N, Shai AB, Korenstein R, Kramer MR, Fireman E, (2019). Functional, Inflammatory and Interstitial Impairment due to Artificial Stone Dust Ultrafine Particles Exposure. *Occup environ Med*. 2019; 0, p. 1-5
- Oriza, Novalita, (2016). Hubungan Paparan Debu dengan Kapasitas Fungsi Paru pada Pekerja di Perusahaan Ekspedisi Metra Millenium Medan. *tesis*, Universitas Sumatra Utara.
- P2PL KEMENKES, (2011). *Pedoman Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan*. Jakarta : KEMENKES RI
- Paolucci V, Romeo R, Sisinni AG, Bartoli D, Mazzei MA, Sartorelli P, (2015). Silicosis in Workers Exposed to Artificial Quartz Conglomerates Does It Differ From Chronic Simple Silicosis?. *Arch Bronchoneumol*, 114, p.4-6.
- Park SW, Ahn MH, Jang HK, Jang AS, Kim DJ, Koh ES, (2009). Interleukin 13 and its receptors in idiopathic interstitial pneumonia: clinical implications for lung function. *J Korean Med Sci*, Vol. 24, p. 614-620.
- Pascual S, Urrutia I, Ballaz A, Arrizubieta I, Altube L, Salinas C, (2011). Prevalence of Silicosis in a Marble Factory after Exposure to Quartz Conglomerates. *Archivos De Bronconeumologia*. Vol. 47, No. 1, p. 50-51.
- Petsonk EL, Parker JE, (2008). *Coal worker lung diseases and Silicosis*. In: *Fishman AP, et al. Fishman's Pulmonary Diseases and Disorder*. New York. TheMcGraw-Hill Companies, Inc, p. 967-980.
- Pettijohn FJ, Potter PE, Siever R, (1972). *Sand and Sandstone*, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg.
- Pollard KM, (2016). Silica, Silicosis and Autoimmunity, *Frontiers in Immunology*, Vol. 7, No. 97, p. 1-7.

- Price SA., Wilson., McCarty, (1995). *Fisiologi Proses-proses Penyakit*. Alih Bahasa Peter Anugrah. Jakarta : ECG.
- Purnomo W, Bramantoro T, (2014). *Langkah Praktis Sukses Menulis Karya Tulis Ilmiah Tanya-jawab Tuntas Penulisan Skripsi dan Tesis Bidang Kesehatan dan Kedokteran*. Surabaya : PT Revka Petra Media.
- Rael EL, Lockey RF, (2011). Interleukin-13 Signaling And Its Role In Asthma. *WAO Journal*, Vol. 4, hal. 54-64.
- Rachmawati S., Masykuri M., Sunarto S, (2013). Pengaruh Emisi Udara Pada Sentra Pengolahan Batu Kapur Terhadap Kapasitas Vital Paru Pekerja Dan Masyarakat Di Desa Karas Kecamatan Sedan Kabupaten Rembang. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, Vol. 11, No. 1, hal. 16-23
- Rahman A, Nukman A, Setyadi, Akib C, Sofwan, Jarot, (2008). Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Pertambangan Kapur di Sukabumi, Cirbon, Tegal, Jepara dan Tulungagung. *Jurnal Ekologi Kesehatan*. Vol. 7, No. 1, p. 665-677
- Rahmatullah P, (2009). *Pneumonitis dan Penyakit Paru Lingkungan*. Jakarta : Pusat Penerbitan Ilmu Penyakit Dalam. Jilid III Edisi V, Hal. 2279-2296.
- Re SL, Lison D, Huaux F, (2013). CD4+ T lymphocytes in lung fibrosis: diverse subsets, diverse functions. *Journal of Leukocyte Biology*, Vol. 9, p. 499-510.
- Rejeki M, (2018). Hubungan Antara Paparan Debu Silika dan Tumor Necrosis Factor Alpha Serum Pada Pekerja Industri Pengolahan Batu, *tesis*. Fakultas Kedokteran Unud, Program Studi Ilmu Penyakit Dalam.
- Saadi F, Wolf K, Kruijsdijk C, (2017). Characterization of Fontainebleau Sandstone : Quartz Overgrowth and its Impact on Pore-Throat Framework. *Journal of Petroleum and Environmental Biotechnology*, Vol. 8, No. 3, p. 1-12.
- Saffioti U, Daniel LN, Mao Y, Shi X, Williams AO, Kaighn E, (1994). Mechanism of carcinogenesis by crystalline silica in relation to oxygen radicals. *Environmental Health Perspectives*, Vol. 102, p. 159-163.
- Sahri M, (2018). Penilaian Risiko Kuantitatif Paparan Debu c-Silika Pada Pekerja Bagian Produksi Industri Keramik PT X Di Kabupaten Gresik, *tesis*. FKM Unair, Program Studi Kesehatan dan Keselamatan Kerja.
- Salawati L, (2017). Silikosis. *Jurnal Kedokteran Syiah Kuala*. Vol. 17, No. 1, p. 20-26

- Sandra C, (2008). Pengaruh Penurunan Kualitas Udara Terhadap Fungsi Paru dan Keluhan Pernapasan Pada Polisi Lalu Lintas Polwiltabes Surabaya. *tesis*. Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Airlangga.
- Sastroasmoro S, (2011). *Dasar-dasar Metodologi Penelitian Klinis. Edisi ke-4*. Jakarta : Sagung Seto.
- Sato T, Shimosato T, Klinman DM, (2018). Silicosis and Lung Cancer : Current Perspectives. *Lung Cancer : Targets and Therapy*, Vol. 9, p. 91-101.
- Schulte PA, Rice FL, Schwartz RJK, (2002). *NIOSH hazard review : health effects of occupational exposure to respirable crystalline silica*. Department of Health and Human Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication. Vol. 1, No. 129, p. 1-127.
- Setiawan M, (2009). Peran Resistensi Insulin, Adiponektin, dan Inflamasi Pada Kejadian Dislipidemia Aterogenik. *Jurnal Ilmu Kesehatan dan Kedokteran Keluarga*. Vol.5, No.2.
- Simanjuntak, Martin L. (2015). Hubungan Antara Kadar Debu, Masa Kerja, Penggunaan Masker Dan Merokok Dengan Kejadian Pneumokoniosis Pada Pekerja Pengumpul Semen Di Unit Pengantongan Semen PT. Tonasa Line Kota Bitung. *JIKMU*, Vol 5, No. 5.
- Sirait M, (2010). Hubungan Karakteristik Pekerja Dengan Faal Paru di Kilang Padi Kecamatan Porsea. *tesis*, Universitas Sumatera Utara.
- Siswanto, (1991). *Penyakit Paru Kerja*. Surabaya : Balai Hiperkes dan Keselamatan Kerja Jawa Timur.
- Siswanto, (1996). *Penyakit Akibat Debu Silika*. Surabaya : Balai Hiperkes dan Keselamatan Kerja Jawa Timur.
- Soedjono, (2002). Pengaruh Kualitas Udara (Debu, CO₂, NO_x, SO_x) Terminal terhadap Gangguan Fungsi Paru pada Pedagang Tetap Terminal Bus Induk Jawa Tengah, *Tesis*. Universitas Diponegoro.
- Soegito, (2004). Pengobatan Bronkitis Kronik Eksaserbasi Akut dengan Ciprofloxacin Dibandingkan Dengan Co Amoxyclav. *tesis*. Fakultas Kedokteran, Universitas Sumatera Utara.
- Soeripto M, (2008). *Higiene Industri*. Jakarta : Balai Penerbit Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia
- Soeroso A, (2007). Sitokin. *Jurnal Oftalmologi Indonesia*. Vol. 5, N0. 3, h. 171-180.

- Sohilauw D, (2014). Dampak Paparan Debu Batu Kapur Terhadap Peningkatan TNF- α Serum Darah dan Penurunan Faal Paru Pada Penambang di Desa Jadi Kecamatan Semanding Kabupaten Tuban, *Tesis*. Universitas Airlangga
- Standar Nasional Indonesia, (2009). *Metoda Pengukuran Kadar Debu Respirabel di Udara Tempat Kerja Secara Perseorangan*. SNI 7325:2009.
- Stark JE., Shneerson JM., Higenbottam., Flower CD, (1990). *Manual Ilmu Penyakit Paru*. Jakarta : Binarupa Aksara.
- Sugiyono, (2013). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif Dan R & D*. Bandung : Alfabeta
- Suhariyono, G., Bunawas dan Makhsun, (2006) Analysis Of Free Silica (SiO₂) In Respirable Dust With Method Of Niosh 7500,” *Prosiding Seminar Nasional Keselamatan, Kesehatan, dan Lingkungan II*, Pusat Tenaga, (December 2006), hal. 0-15.
- Suma'mur, (2013). *Higiene Perusahaan dan Kesehatan Kerja (Hiperkes)*. Jakarta : CV. Sagung Seto.
- Suma'mur, (2014). *Higiene Perusahaan dan Kesehatan Kerja (Hiperkes)*. 2 ed. Jakarta : CV Sagung Seto
- Susanto, AD, (2011). *Pneumokoniosis*. Jakarta : Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia.
- Suyanto B, Sutinah, (2005). *Metode Penelitian Sosial. Berbagai Alternatif Pendekatan*. Jakarta : Kencana Prenanda Media Group.
- Syamsudin, Sesilia AK, (2013). *Buku Ajar Farmakoterapi Gangguan Saluran Pernafasan*. Jakarta : Salemba Medika.
- Tambayong J, (2001). *Anatomi Fisiologi untuk Keperawatan*. Jakarta : Rineka Cipta.
- Tarlo SM, Paul G, Benit N, (2010). *Occupational Environmental Lung Disease*. UK : Wiley-Blackwell
- Tualeka AR, (2013). *Toksikologi Industri dan Risk Assessment*. Jawa Timur : Graha Ilmu Mulia.
- US FDA, (2015). *Masks and N95 Respirators*.

- U.S. Environmental Protection Agency (EPA), (2001). *Risk Assessment Guidance for Superfund : Volume III-Part A, Process for Conducting Probabilistic Risk Assessment*. Office of Emergency and Remedial Response, Washington DC 20460.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA), (1991). *The Guidelines for Developmental Toxicity Risk Assessment*. Office of Emergency and Remedial Response, Washington DC.
- Wahidah N, (2010). Efektivitas Suplementasi Mikromineral Seng (Zn) Terhadap Indeks Fagositosis Makrofag Mencit BALB/C Yang Diinfeksi *Salmonella typhimurium*. Jurusan Biologi Universitas Negeri Semarang
- Wang YW, Lan YJ, Yang YL, Wang, DJ, Kuang J, (2012). TNF- α and IL-1RA Polymorphisms and Silicosis Susceptibility in Chinese Workers Exposed to Silica Particles : A Case-Control Study. *Biomed Environ Sci*. Vol. 25, No. 5, p. 517-525.
- WHO, (2007). The Global Occupational Helath Network. Geneva : *Gohnet Newsletter*.
- Winariani, (2010). *Penyakit paru kerja dan pencemaran udara*. In: *Buku Ajar Ilmu Penyakit Paru*. Surabaya : Departemen Ilmu Penyakit Paru FK UNAIR- RSUD Dr. Soetomo, hal. 122-148.
- Wynn TA, (2011). Integrating mechanisms of pulmonary fibrosis. *J.Exp.Med*, Vol. 7, p. 1339-1350.
- Yeung MC, Enarson LS, (1995). Pulmonary Function Measurement In The Industrial Setting. *Chest Journal*. Vol. 2, No. 88, p. 270-275
- Yulaekah S, (2007). Paparan Debu Terhirup dan Gangguan Fungsi Paru Pekerja Industri Batu Kapur. *tesis*. Universitas Diponegoro.
- Yulianti A, Lintjewas L, Erlangga BD, Herawan W, (2016). Karakteristik Batupasir Kuarsa Gunung Walat dan Potensinya Sebagai Bahan Baku Geomaterial. *Prosiding Geotek Expo Puslit Geoteknologi LIPI*, ISBN:978-979-8636-32-5.
- Yunus , (1997). Dampak Debu Industri pada Paru Pekerja dan Pengendaliannya. *Cermin Dunia Kedokteran*. Vol. 115, hal. 45-51.
- Yunus F, Wirasiti D, Harahap F, (2009). *Bunga Rampai Penyakit Paru Kerja dan Lingkungan*. Depok : Balai Penerbit FK UI.

Zhu Z, Homer RJ, Wang Z, Chen Q, Geba GP, Wang J, et al. (1999). Pulmonary expression of interleukin-13 causes inflammation, mucus hypersecretion, subepithelial fibrosis, physiologic abnormalities, eotaxin production. *The Journal of Clinical Investigation*, Vol. 103, No. 6, p. 779-788.

LAMPIRAN



LAMPIRAN

Lampiran 1 Lembar Penjelasan Penelitian

LEMBAR PENJELASAN PENELITIAN

Asslamualaikum wr.wb

Selamat pagi dan salam sejahtera,

Perkenalkan nama saya Nima Eka Nur Rahmania, S.KM, saya adalah mahasiswa Magister Kesehatan dan Keselamatan Kerja Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Airlangga yang bermaksud melakukan penelitian di tempat Bapak/Saudara bekerja saat ini dengan judul “Pengaruh Paparan Debu Batu Kali Terhadap Peningkatan Kadar *Tumor Necrosis Factor Alpha* (TNF- α) Serum dan Penurunan Faal Paru Pada Pengrajin Batu Kali di Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung”.

Tujuan

Tujuan dari penelitian saya ini adalah untuk menganalisis pengaruh paparan debu terhadap sistem pertahanan tubuh (kadar TNF- α), penurunan fungsi paru dan keluhan pernafasan yang mungkin dialami oleh Bapak/Saudara sekalian. Ketika Bapak/Saudara sekalian melakukan proses produksi dengan batu kali, maka akan menghasilkan debu yang dapat mencemari udara. Apabila udara yang tercemar debu yang dihirup oleh Bapak/Saudara sekalian secara terus-menerus, maka akan dapat menyebabkan gangguan kesehatan.

Perlakuan yang Diterapkan Pada Responden

Dalam penelitian ini proses yang dilakukan meliputi wawancara, pengambilan kadar debu personal, pengambilan sampel darah dan pengukuran faal paru dengan tahap sebagai berikut :

1. Tahap pertama

Peneliti akan memberikan penjelasan singkat tentang penelitian melalui PSP (Penjelasan Sebelum Persetujuan), kemudian setiap responden akan mengisi *Informed Consent* dengan disaksikan oleh petugas laboratorium yang bertindak sebagai pembantu dalam pengambilan sampel.

2. Tahap kedua (Wawancara)

Wawancara akan dilakukan pada pagi hari sebelum bekerja yaitu sebelum pengambilan sampel dengan waktu kurang lebih 15 menit.

3. Tahap ketiga

Setiap responden akan menjalani pemeriksaan tanda vital (tekanan darah, nadi, pernapasan) dengan menggunakan tensimeter dan stetoskop, pengukuran berat badan dengan menggunakan alat timbangan dan tinggi badan dengan menggunakan alat mikrotoa yang telah disediakan oleh peneliti dan pengukuran dilakukan oleh petugas yang membantu peneliti (dokter). Waktu yang diperlukan kurang lebih 2 menit.

4. Tahap keempat (Pengambilan sampel darah)

Petugas dari LAB (analisis) yang membantu peneliti akan melakukan pengambilan sampel darah pada pekerja yang dilakukan sebelum kerja yaitu pada pagi hari, setiap responden diambil 5 ml, yang bertempat di ruang istirahat pekerja (waktu kurang lebih 3 menit).

Langkah-langkah pengambilan sampel darah adalah:

- a. Persiapan peralatan oleh petugas
- b. Petugas akan mencuci tangan terlebih dahulu sebelum pengambilan darah dengan menggunakan sabun dan air mengalir, kemudian mengeringkan dengan tissue sekali pakai. Hal ini bertujuan untuk mencegah terjadinya infeksi.
- c. Selanjutnya Bapak/Saudara diminta untuk duduk dengan posisi tegak dan nyaman mungkin. Bapak/Saudara diminta untuk meluruskan salah satu lengan dan meletakkannya pada meja atau bangku, kemudian memilih lengan yang paling sering digunakan untuk beraktivitas atau lengan dengan pembuluh vena teraba/terlihat sebagai tempat untuk mengambil darah.
- d. Petugas memasang *torniquet* kira-kira 5 cm (4-5 jari) di atas lipatan siku.
- e. Bapak/Saudara diminta untuk mengepalkan jari tangan dengan tujuan agar pembuluh darah terlihat.
- f. Darah akan diambil pada bagian *vena median cubital* pada lipatan siku.
- g. Petugas akan melakukan perabaan untuk memastikan posisi pembuluh darah vena. Jika pembuluh darah vena tidak teraba, petugas akan melakukan pengurutan dari arah pergelangan ke siku, atau mengompres dengan air hangat selama 5 menit di daerah lengan.
- h. Sebelum mengambil darah, petugas akan memasang *torniquet* kemudian melakukan desinfeksi kulit pada bagian yang akan diambil dengan alkohol 70% dengan cara memutar dari dalam keluar dan biarkan kering untuk

menghindari kontaminasi. Kulit yang sudah dibersihkan tidak boleh dipegang lagi.

- i. Petugas mulai melakukan pengambilan darah, dimana darah diambil sebanyak 2 ml menggunakan spuit 3 ml dan jarum 22 G dengan menempatkan keempat jari memegang bagian bawah sebagai penyangga dan ibu jari berada diatas. Menusuk bagian vena dengan posisi lubang jarum menghadap keatas dengan sudut 30 derajat. Jika jarum telah masuk kedalam pembuluh darah vena, akan terlihat darah masuk kedalam spuit.



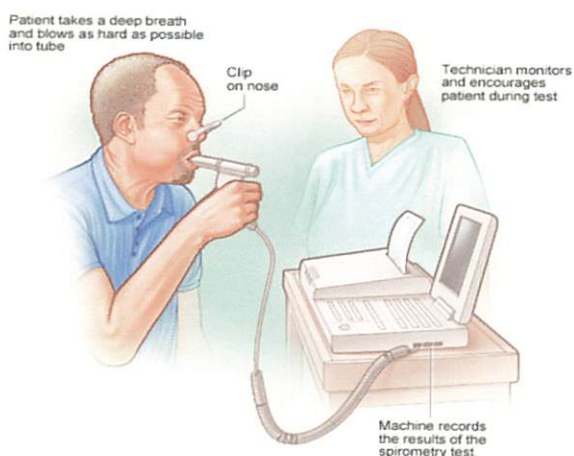
- j. Setelah darah terlihat mulai masuk kedalam spuit, petugas akan segera melepas *torniquet* dan meminta Bapak/Saudara untuk membuka kepalan tangan secara perlahan. Setelah sampel darah mencukupi, kemudian petugas menarik spuit perlahan-lahan, dan meletakkan kapas dan menempelkan plester pada area bekas suntikan dengan memberikan sedikit tekanan dengan posisi lengan tetap lurus.
- k. Jarum segera dilepaskan untuk menghindari terjadinya *hemolysis* dan dibuang kedalam kotak limbah medis.
- l. Petugas membuka penutup *vacuum tainer plain*, kemudian darah vena dimasukkan kedalam *vacutainer plain* melalui dinding tabung untuk proses pembuatan serum.

5. Tahap kelima (Pengukuran faal paru)

Pengukuran faal paru dilakukan oleh petugas dari UPT K3 dengan menggunakan spirometer saat sebelum kerja (waktu kurang lebih 10 menit). Adapun langkah pengukuran faal paru adalah :

- a. Persiapan peralatan
- b. Pengukuran faal paru dilakukan dalam posisi berdiri
- c. Hidung Bapak/Saudara dijepit dengan menggunakan tangan sendiri dengan pengawasan dari petugas
- d. Memasang *mouth piece* yang digunakan sekali pakai

- e. Sambil menekan tombol start, petugas memberi aba-aba kepada responden untuk menarik napas secara penuh kemudian menghembuskan napas ke alat tanpa terputus sekuat, secepat dan sehabis mungkin. Hal ini dilakukan paling sedikit tiga kali perlakuan



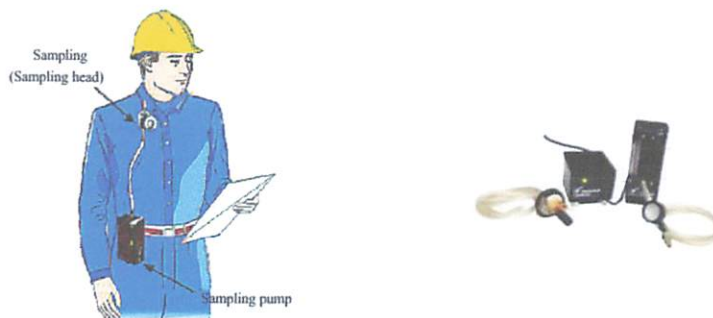
- f. Setelah selesai, selanjutnya menekan tombol stop dan jika data yang diharapkan sudah dianggap sesuai maka dilanjutkan dengan menekan tombol print, sehingga akan keluar data hasil rekaman dan dapat langsung dibaca hasilnya. Apabila data dianggap belum sesuai dengan yang diharapkan, maka dapat diulangi kembali pada prosedur semula.
- g. Nilai yang digunakan adalah nilai tertinggi dari ketiga pengukuran

6. Tahap keenam (Pengambilan kadar debu batu kali)

Sampel debu personal akan diambil dengan menggunakan alat PDS (*Personal Dust Sampler*) yang dipasang pada setiap responden selama 8 jam kerja. Prosedur ini akan dilakukan oleh petugas dari Unit Pelaksana Tekhnis Keselamatan dan Kesehatan Kerja (UPT K3) Surabaya. Selama bekerja Bapak/Saudara akan menggunakan alat ini. Berikut langkah pengambilan sampel debu personal :

- a. Petugas mengambil kertas filter yang telah dimasukkan kedalam desikator selama 24 jam sebelum digunakan dan menimbang kertas filter tersebut menggunakan neraca analitik, setelah itu mencatat berat awal filter tersebut.

- b. *Personal Dust Sampler* (PDS) dipasang pada tubuh Bapak/Saudara dengan posisi pipa hisap alat berada sedekat mungkin dengan organ pernapasan, kemudian PDS diaktifkan dengan menekan tombol power dan diatur laju alir (hisap) alat pada 2L/menit.



- c. Dilakukan pengambilan sampel debu sesuai dengan waktu yang telah ditentukan.
- d. Setelah selesai maka petugas mematikan alat PDS dan mengambil filter dari alat dengan menggunakan pinset, selanjutnya melipatnya menjadi dua dan memasukkannya kembali pada wadah.
- e. Petugas memasukkan filter kedalam desikator selama 24 jam dan dilakukan penimbangan, kemudian dicatat berat filter yang telah digunakan.

7. Tahap ketujuh

Peneliti akan menyerahkan hasil pengujian LAB yang meliputi kadar debu personal, kadar serum TNF- α dan hasil pemeriksaan faal paru kepada setiap responden melalui sms dan amplop tertutup.

Manfaat Untuk Subjek Penelitian

Manfaat yang Bapak/Saudara peroleh jika bekerjasama dalam penelitian ini adalah :

1. Keuntungan secara langsung, yaitu mendapatkan informasi atau pengetahuan tentang kualitas udara di tempat kerja, dapat mengetahui kondisi kesehatan (kondisi kekebalan tubuh, status fungsi paru, dan gejala gangguan pernapasan) yang terkait dengan pajanan debu batu kali sehingga dapat dilakukan upaya pencegahan terjadinya pajanan debu lebih lanjut agar tidak terjadi gangguan kesehatan yang lebih parah. Dalam pemeriksaan ini Bapak/Saudara tidak dikenakan biaya sedikitpun.
2. Keuntungan secara tidak langsung yaitu dari hasil penelitian yang diperoleh akan disampaikan kepada pihak puskesmas setempat dengan harapan puskesmas memperoleh data kesehatan mengenai gambaran kondisi

kesehatan kerja di *home industry* batu kali di wilayah kerjanya, sehingga akan membantu kebijakan puskesmas dalam melaksanakan surveilans kesehatan kerja.

Bahaya Potensial

Dalam penelitian ini risiko yang mengakibatkan efek samping pada proses pengambilan sampel darah tidak ada, kecuali apabila teknik pengambilan sampel darah kurang tepat, dimungkinkan terjadi hematoma (perdarahan di bawah kulit dengan pembentukan gumpalan darah). Prosedur ini akan menimbulkan nyeri pada area pengambilan sampel darah. Pada beberapa kasus proses ini dapat menimbulkan sedikit memar atau bengkak. Beberapa risiko tersebut jarang terjadi, tidak menimbulkan efek serius dan dapat dihilangkan dengan mengompres dengan air hangat. Sedangkan pada proses pengukuran faal paru (tes spirometri) pada umumnya sangatlah aman. Sangatlah jarang untuk terjadi pusing singkat setelah tes spirometri dilakukan, dan gangguan ini akan segera hilang dengan sendirinya setelah beberapa saat. Apabila kemungkinan terjadi hematoma setelah suntik dalam pengambilan darah atau terjadi keluhan pusing sesaat setelah tes spirometri, maka peneliti menyediakan dokter umum dan bekerjasama dengan puskesmas setempat (Puskesmas Campurdarat) untuk melakukan penatalaksanaan sesuai dengan Panduan Praktek Klinik yang berlaku.

Hak Untuk Undur Diri

Partisipasi Bapak/Saudara bersifat sukarela tanpa paksaan dan apabila tidak berkenan mengikuti penelitian, Bapak/Saudara berhak untuk menolak atau sewaktu-waktu dapat mengundurkan diri tanpa sanksi apapun.

Insentif untuk Responden

Insentif yang akan diberikan atas keikutsertaan responden dalam penelitian akan diberikan berupa snack box, makanan siang dan paket sembako.

Kerahasiaan Responden

Semua informasi dan hasil pemeriksaan Bapak/Saudara akan dijaga kerahasiannya dan hanya akan digunakan untuk penelitian ini. Hasil penelitian akan dipublikasikan tanpa identitas Bapak/Saudara.

Informasi Tambahan

Bapak/Saudara diberi kesempatan untuk menanyakan semua hal yang belum jelas sehubungan dengan penelitian ini. Jika Bapak/Saudara memerlukan informasi atau penjelasan lebih lanjut mengenai penelitian ini maka dapat menghubungi saya (**Nima Eka Nur Rahmania, S.KM**) no HP xxx, atau institusi penyelenggara penelitian yaitu FKM Unair, Jl. Mulyorejo, Surabaya (telp. 031. 5920948).

Lampiran 2 Lembar *Informed Consent*

INFORMED CONCENT
(Pernyataan Persetujuan Ikut Penelitian)

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama :
 Umur :
 Alamat :
 No. HP :

Telah mendapatkan penjelasan secara lengkap mengenai :

1. Penelitian yang berjudul “Pengaruh Paparan Debu Batu Kali Terhadap Peningkatan Kadar *Tumor Necrosis Factor Alpha (TNF- α)* Serum dan Penurunan Faal Paru Pada Pengrajin Batu Kali di Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung”.
2. Perlakuan yang akan diterapkan pada subjek
3. Manfaat yang akan diperoleh oleh subjek penelitian
4. Potensi bahaya yang akan timbul
5. Hak untuk undur diri
6. Insentif, kerahasiaan responden, informasi tambahan

Dengan ini saya menyatakan (bersedia / tidak bersedia *) untuk menjadi subjek penelitian ini.

Demikian pernyataan ini saya buat tanpa paksaan dan tekanan dari pihak manapun.

Peneliti Tulungagung, 2019
Responden

Nima Eka Nur R, S.KM (.....)

Saksi

(.....)

*coret yang tidak perlu

Lampiran 3 Lembar Kuesioner

LEMBAR KUISIONER PENELITIAN
PENGARUH PAJANAN DEBU BATU KALI TERHADAP
PENINGKATAN KADAR *TUMOR NECROSIS FACTOR ALPHA* (TNF- α)
SERUM DAN PENURUNAN FAAL PARU
PADA PENGRAJIN BATU KALI

Terimakasih atas kesediaan Bapak/Saudara untuk berpartisipasi dalam penelitian ini. Kerjasama Bapak/Saudara sangat penting untuk keberhasilan penelitian ini. Bapak/Saudara diminta untuk menjawab pertanyaan dengan terus terang dan seakurat mungkin.

Hari / Tanggal wawancara :

Pewawancara :

I. Karakteristik Individu

Identitas Responden :
 Nomor Responden :
 Nama :
 Alamat :
 No. HP :
 Pendidikan :
 Berat Badan :
 Tinggi Badan :
 IMT :

A. Masa Kerja

1. Sudah berapa lama Bapak/Saudara bekerja di *home industry* ini?
2. Berapa jam Bapak/Saudara bekerja dalam satu hari?

3. Apakah terdapat jam istirahat saat melakukan pekerjaan?
 - a. Ya, berapa lamajam
 - b. Tidak
4. Dalam satu minggu berapa hari Bapak/Saudara bekerja?
.....hari

B. Riwayat Pekerjaan

1. Sebelum bekerja di *home industry* ini apakah Bapak/Saudara pernah bekerja di tempat lain?
 - a. Ya, di mana.....
 - b. Tidak
2. Pada saat ini apakah ada pekerjaan lain selain di *home industry* ini?
 - a. Ya, sebutkan.....
 - b. Tidak
3. Apakah Bapak/Saudara pernah bekerja dengan pekerjaan dibawah ini ?
 - a. Ya, untuk :
 - Pekerjaan berdebu
 - Pertambangan batubara
 - Pertambangan lainnya.....
 - Bukit kapur.....
 - Pengecoran logam.....
 - Pembuatan tembikar.....
 - Pemintalan kapas, rami kasar atau halus.....
 - Dengan asbes.....
 - Pekerjaan berdebu lainnya.....
 - b. Tidak
4. Apakah Bapak/Saudara pernah terpapar secara teratur terhadap gas atau uap kimia yang mengiritasi ?
 - a. Ya, sebutkan.....
 - b. Tidak

C. Riwayat Penyakit

1. Pernahkah Bapak/Saudara didiagnosis menderita TB paru?
YA/TIDAK
2. Pernahkah Bapak/Saudara didiagnosis menderita kanker paru?
YA/TIDAK
3. Pernahkah Bapak/Saudara didiagnosis menderita Asma?
YA/TIDAK
4. Pernahkah Bapak/Saudara didiagnosis menderita radang paru?
YA/TIDAK
5. Pernahkah Bapak/Saudara didiagnosis menderita penyakit jantung?
YA/TIDAK
6. Pernahkah Bapak/Saudara mengalami operasi rongga dada?
YA/TIDAK
7. Pernahkah Bapak/Saudara trauma/cedera pada dada?
YA/TIDAK
8. Jika pernah didiagnosis mengalami penyakit Asma/TBC/Bronkitis, kapan didiagnosis mengalami penyakit tersebut?
 - a. Setelah bekerja di *home industry*
 - b. Sebelum bekerja di *home industry*

D. Kebiasaan Merokok

1. Apakah Bapak/Saudara merokok ?
 - a. Ya, merokok sampai saat ini
(Jika merokok sampai saat ini lanjut ke nomor 2)
 - b. Ya, pernah merokok, tetapi berhenti
(Jika berhenti merokok, lanjut ke nomor 3)
 - c. Tidak pernah merokok sama sekali → Lanjut ke pertanyaan E
2. Jika merokok sampai saat ini, maka jawablah pertanyaan dibawah ini:
 - a. Umur berapa pertama kali merokok.....tahun
 - b. Berapa banyak batang rokok yang dihisap per hari.....batang
3. Jika pernah merokok dan berhenti, maka jawablah pertanyaan dibawah ini:
 - a. Sudah berapa lama Bapak/Saudara berhenti merokok..... tahun

- b. Berapa banyak batang rokok yang Bapak/Saudara hisap per harinya.....batang
 - c. Berapa lama Bapak/Saudara merokok..... tahun
4. Selama Bapak/Saudara merokok, jenis rokok apa yang Bapak/Saudara hisap? (Boleh pilih lebih dari 1)
- a. Rokok kretek
 - b. Rokok putih/filter
 - c. Cerutu
 - d. Pipa
 - e. Rokok daun (melinting sendiri)

E. Penggunaan Alat Pelindung Pernapasan

1. Apakah Bapak/Saudara memakai alat pelindung pernapasan saat bekerja ?
- a. Ya
 - b. Tidak
2. Jenis alat pelindung pernapasan apa yang Bapak/Saudara gunakan ?
- a. Slayer
 - b. Masker sekali pakai
 - c. Masker debu
 - d. Respirator
3. Seberapa sering Bapak/Saudara menggunakan masker selama bekerja ?
- a. Tidak pernah
 - b. Kadang-kadang
 - c. Selalu

II. Keluhan Pernapasan

Berdasarkan kuesioner keluhan pernapasan standard ATS (*American Thoracic Society*).

Berikut ini terdapat beberapa pertanyaan, Bapak/Saudara diminta menyebutkan sudah berapa lama Bapak/Saudara menderita suatu penyakit atau gejala yang ditanyakan. Apabila penyakit atau gejala tersebut sudah berlangsung lama, maka kemungkinan Bapak/Saudara sudah lupa kapan tepatnya maka dalam hal ini tidak diperkenankan untuk menjawab “LUPA” atau “TIDAK INGAT”, tetapi mohon Bapak/Saudara mengingat lagi dan mengusahakan mengungkapkan sampai pada taksiran waktu yang mendekati kebenaran.

1. BATUK (Bobot 25)

a. Apakah Bapak/Saudara pernah menderita batuk ? (mendehem tidak termasuk batuk)

1. Ya

Skor :

0. Tidak → ke pertanyaan 1c

b. Apakah Bapak/Saudara pernah batuk sampai 4-6 kali setiap hari, selama sekurang-kurangnya 4 hari dalam seminggu?

1. Ya

Skor :

0. Tidak

c. Apakah batuk yang Bapak/Saudara alami terjadi pada waktu bangun tidur di pagi hari?

1. Ya

Skor :

0. Tidak

d. Apakah batuk yang Bapak/Saudara alami terjadi sepanjang hari, baik siang maupun malam ?

1. Ya

Skor :

0. Tidak

JIKA SALAH SATU PERTANYAAN NO. 1a-d DIJAWAB YA, MAKA AJUKAN KEDUA PERTANYAAN BERIKUT INI:

e. Apakah Bapak/Saudara pernah batuk seperti ini sekurang-kurangnya tiga bulan berturut-turut dalam waktu setahun ini ?

1. Ya

0. Tidak ke pertanyaan 2 a

Skor :

f. Selama berapa tahun Bapak/Saudara batuk seperti ini?

1. Ya

0. Tidak

Skor :

2. DAHAK/RIAK (Bobot 20)

a. Apakah Bapak/Saudara pernah mengeluarkan dahak/riak dari dalam dada?

1. Ya

0. Tidak → ke pertanyaan 2 c

Skor :

b. Apakah Bapak/Saudara pernah mengeluarkan dahak/riak sampai dua kali sehari, sekurang-kurangnya 4 hari dalam seminggu?

1. Ya

0. Tidak

Skor :

c. Apakah Bapak/Saudara biasanya mengeluarkan dahak/riak pada waktu bangun tidur di waktu pagi ?

1. Ya

0. Tidak

Skor :

d. Apakah Bapak/Saudara biasanya mengeluarkan dahak/riak sepanjang hari baik siang maupun malam?

1. Ya

0. Tidak

Skor :

JIKA SALAH SATU PERTANYAAN NO. 2a-d DIJAWAB YA, MAKA AJUKAN KEDUA PERTANYAAN BERIKUT INI:

e. Apakah Bapak/Saudara mengeluarkan dahak/riak seperti sekurang-kurangnya tiga bulan berturut-turut dalam setahun ini?

1. Ya

0. Tidak

Skor :

f. Selama berapa tahun Bapak/Saudara telah mengalami masalah dahak/riak ini ?

2..... tahun

1. kurang dari 1 tahun.....

Skor :

3. SERANGAN BATUK DAN DAHAK/RIAK (Bobot 15)

Berikan contoh batuk berdahak yang dimaksud

a. Pernahkah Bapak/Saudara mengalami serangan batuk dengan dahak/riak meningkat yang berlangsung sekurang-kurangnya 3 minggu berturut-turut dalam setahun?

1. Ya

0. Tidak

Skor :

b. Selama berapa tahun Bapak/Saudara telah mengalami serangan batuk dengan dahak/riak seperti ini?

2..... tahun

1. kurang dari 1 tahun.....

Skor :

4. MENGI / NAFAS BERBUNYI (Bobot 10)

Berikan contoh mengi/nafas berbunyi yang dimaksud

a. Apakah Bapak/Saudara pernah mengalami bunyi mengi atau bengek pada saat bernafas?

1) Ketika Bapak/Saudara flu atau pilek?

1. Ya

0. Tidak

Skor :

2) Yang juga timbul pada saat tidak flu atau pilek ?

1. Ya

0. Tidak

Skor :

JIKA SALAH SATU PERTANYAAN DIATAS DIJAWAB YA, MAKA AJUKAN KEDUA PERTANYAAN BERIKUT INI:

b. Apakah bunyi mengi tersebut terjadi hampir setiap hari (4 hari atau lebih dalam seminggu) ?

1. Ya
0. Tidak

Skor :

c. Selama berapa tahun Bapak/Saudara telah mengalami bunyi mengi tersebut?

2..... tahun

1. Kurang dari 1 tahun.....

Skor :

d. Apakah Bapak/Saudara pernah mendapat serangan nafas berbunyi mengi seperti ini disertai sesak nafas ?

1. Ya
0. Tidak → ke pertanyaan 5

Skor :

e. Pernahkah Bapak/Saudara sering mengalami serangan seperti ini?

1. Ya
0. Tidak

Skor :

f. Apakah Bapak/Saudara pernah melakukan pengobatan untuk serangan seperti itu?

1. Ya
0. Tidak

Skor :

5. SESAK NAPAS (Bobot 20)

a. Apakah ada kelainan atau penyakit selain penyakit paru atau jantung yang menyebabkan Bapak/Saudara sukar bernafas ?

1. Ya, sebutkan.....ke pertanyaan 5 c
0. Tidak ke pertanyaan 5 b

Skor :

b. Apakah Bapak/Saudara mengalami sesak nafas bila melakukan aktifitas fisik?

1. Ya
0. Tidak ke pertanyaan 6 a

Skor :

- c. Apakah karena sesak nafas membuat Bapak/Saudara sulit melakukan pekerjaan fisik yang berat ?
1. Ya
0. Tidak
- Skor :
- d. Apakah Bapak/Saudara pernah mengalami sesak nafas yang membuat anda lemas dan tidak dapat melanjutkan aktifitas ?
1. Ya
0. Tidak
- Skor :
- e. Apakah Bapak/Saudara pernah mengalami sesak napas sampai Bapak/Saudara merasakan nyeri di dada ?
1. Ya
0. Tidak
- Skor :
- f. Apakah Bapak/Saudara sehari-hari merasakan terlalu pendek nafas dan bernafas secara cepat ?
1. Ya
0. Tidak
- Skor :

6. NYERI DADA (Bobot 10)

- a. Apakah Bapak/Saudara pernah mengalami nyeri pada dada pada saat bernapas?
1. Ya
0. Tidak
- Skor :
- b. Apakah rasa nyeri yang tajam terjadi selama beberapa menit atau jam?
1. Ya
0. Tidak
- Skor :
- c. Apakah rasa nyeri juga dirasakan pada saat tidur ?
1. Ya
0. Tidak → ke pertanyaan e
- Skor :

d. Apakah ketika pekerjaan fisik semakin berat maka rasa nyeri dada juga terasa semakin bertambah ?

1. Ya
0. Tidak

Skor :

e. Apakah nyeri dada tersebut juga dirasakan pada saat bernapas pelan?

1. Ya
0. Tidak

Skor :

Keterangan :

Skor maksimal = 540

Skor = nilai x bobot

Persentase = $\frac{\text{Skor total}}{\text{Skor maksimal}} \times 100\%$

Kriteria keluhan pernapasan =

Berat : $\geq 70\%$

Sedang : 31 – 69 %

Ringan : $\leq 30\%$

III. Atopi

1. Adakah riwayat alergi dalam keluarga?

YA/TIDAK

2. Apakah Bapak/Saudara mengalami napas mengi atau bunyi ngik apabila terkena udara dingin?

YA/TIDAK

3. Apakah Bapak/Saudara mengalami napas mengi atau bunyi ngik apabila terkena flu?

YA/TIDAK

4. Apakah Bapak/Saudara mudah sesak jika terkena asap/terlalu capek/ketika menghirup bau menyengat?

YA/TIDAK

5. Apakah mata Bapak/Saudara gatal jika terkena asap/terlalu capek/ketika menghirup bau menyengat?

YA/TIDAK

6. Apakah Bapak/Saudara mengalami sesak napas pada malam hari/menjelang pagi?

YA/TIDAK

7. Apakah Bapak/Saudara sering menderita eksim (luka di kulit disertai rasa gatal)?

YA/TIDAK

8. Apakah Bapak/Saudara sering mengalami gatal atau kemerahan di kulit?

YA/TIDAK

Lampiran 4 Lembar Pemeriksaan Kondisi Fisik, Kadar TNF- α Serum dan Faal Paru

LEMBAR PEMERIKSAAN

**PENELITIAN TENTANG PAJANAN DEBU BATU KALI TERHADAP
PENINGKATAN KADAR SERUM TNF- α DAN
PENURUNAN FAAL PARU PADA PENGRAJIN
BATU KALI DESA GAMPING, KECAMATAN CAMPUR DARAT,
KABUPATEN TULUNGAGUNG**


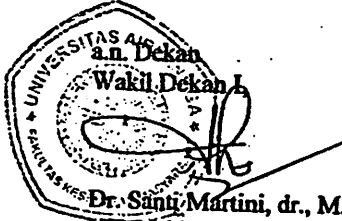
<p>SUBYEK</p> <p>Nama : Alamat : Umur : Lama bekerja : tahun Paparan debu besi : Tinggi Badan : cm Berat Badan : kg</p>	
<p>PEMERIKSAAN TANDA VITAL</p> <p>Tekanan Darah : mmHg Nadi : /menit Pernapasan : /menit</p>	<p>PEMERIKSAAN FAAL PARU</p> <p>Gangguan faal Paru Tidak ada / Ada</p> <p>1 Obstruksi 2 Restriksi 3 Campuran</p> <p>Nilai FEV₁ : Nilai FVC : Nilai % FEV₁ : Nilai % FVC :</p>
<p>KADAR TNF-α Serum:</p>	

Lampiran 5 Lembar Observasi Pemakaian Alat Pelindung Pernapasan


**LEMBAR OBSERVASI
PEMAKAIAN ALAT PELINDUNG PERNAPASAN**

No	Deskripsi	Keterangan		Skor
		Ya	Tidak	
1.	Pekerja memakai alat pelindung pernapasan			
2.	Alat pelindung pernapasan yang digunakan sesuai dengan standar yang dapat menyaring partikel debu dibawah 3 mikron			
3.	Kondisi alat pelindung pernapasan baik dan layak pakai			
4.	Alat pelindung pernapasan nyaman dipakai dan tidak mengganggu pekerjaan			
5.	Selalu dilakukan penggantian filter secara berkala (untuk respirator) Pemakaian masker debu digunakan hanya sekali pakai (untuk masker debu atau partikulat)			

Lembar 6 Surat Izin Penelitian

	KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI UNIVERSITAS AIRLANGGA FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT Kampus C Mulyorejo Surabaya 60115 Telp. 031-5920948, 5920949 Fax. 031-5924618 Website : http://www.fkm.unair.ac.id ; E-mail : info@fkm.unair.ac.id
	1 April 2019
Nomor : 2272/UN3.1.10/PPd/2019 Lampiran : satu eksemplar Hal : Permohonan izin penelitian	
Yth. Kepala Dinas Kesehatan Kabupaten Tulungagung Di Tulungagung	
<p>Dalam rangka pelaksanaan penelitian guna penyelesaian penyusunan tesis bagi mahasiswa Program Magister Program Studi Kesehatan Dan Keselamatan Kerja Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Airlangga tahun akademik 2018/2019, maka dengan ini kami mohon izin untuk mengadakan penelitian bagi mahasiswa tersebut dibawah ini :</p>	
Nama : Nima Eka Nur Rahmania NIM : 101714253008 Judul Tesis : Pengaruh Paparan Debu Batu Kali Terhadap Peningkatan Kadar ^{Serum} Seron TNF- α Dan Penurunan Faal Paru Pada Pengrajin Batu Kali Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung	
Pembimbing : 1. Dr. Noeroel Widajati, S.KM., M.Sc 2. Dr. Abdul Rohim Tualeka, Drs., M.Kes	
Lokasi : Kab. Tulungagung	
Terlampir kami sampaikan proposal penelitian yang bersangkutan. Atas perhatian dan bantuan Saudara kami sampaikan terima kasih.	
 Dr. Santi Martini, dr., M.Kes NIP 196609271997022001	
Tembusan Yth : - Dekan FKM UNAIR - KPS Kesehatan Dan Keselamatan Kerja Program Magister FKM UNAIR - Kepala Puskesmas Kec. Campurdarat Kab. Tulungagung - Kantor Kecamatan Campurdarat Kab. Tulungagung - Kantor Desa Gamping Kab. Tulungagung - Yang bersangkutan	

Lampiran 7 Sertifikat Etik Penelitian



KOMISI ETIK PENELITIAN KESEHATAN
HEALTH RESEARCH ETHICS COMMITTEE
FACULTAS KESEHATAN MASYARAKAT UNIVERSITAS AIRLANGGA
FACULTY OF PUBLIC HEALTH UNIVERSITY AIRLANGGA

KETERANGAN LAYAN ETIK
DESCRIPTION OF ETHICAL APPROVAL
"ETHICAL APPROVAL"

No. 163/EA/KEFK/2019

Protokol penelitian yang diusulkan oleh:
The research protocol proposed by:

Peneliti Utama: Nima Eka Nur Rahmania
Principal Investigator:

Nama Institusi: Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Airlangga
Name of the Institution: Faculty of Public Health Universitas Airlangga

Dengan judul:
Title:

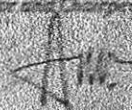
"Pengaruh Paparan Debu Batu Kali Terhadap Peningkatan Kadar Serum TNF-alpha dan Penurunan Fisiologi Paru Pada Pengrajin Batu Kali Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung"
"The Effect of Sandstone Dust Exposure on Increased TNF-alpha Serum Level and Decrease in Lung Physiology in Sandstone Craftsmen in Gamping Village, Campurdarat, Tulungagung"

Dinyatakan layak etik sesuai 7 (tujuh) standar WHO 2011, yaitu 1) Nilai Sosial, 2) Nilai Ilmiah, 3) Pemerataan Beban dan Manfaat, 4) Risiko, 5) Bujukan/Dispensasi, 6) Kerahasiaan dan Privasi, dan 7) Persetujuan Setelah Penjelasan, yang merujuk pada Pedoman (CIOMS 2016). Hal ini seperti yang ditunjukkan oleh terpenuhinya indikator setiap standar.

Declared to be ethically appropriate in accordance to 7 (seven) WHO 2011 Research: 1) Social Values, 2) Scientific Values, 3) Equitable Assessment and Benefits, 4) Risk, 5) Persuasion/Dispensation, 6) Confidentiality and Privacy, and 7) Informed Consent, referring to the 2016 CIOMS Guidelines. This is as indicated by the fulfillment of the indicators of each standard.

Pernyataan Etik Etik ini berlaku selama kurun waktu tanggal 14 Mei 2019 sampai dengan tanggal 14 Mei 2020
This declaration of ethics applies during the period May 14, 2019 until May 14, 2020

Sesahaja, 14 Mei 2019
Professor and Chairperson



Prof. Dr. Merryana Achana, S.S.M., M.Biomed
NIP. 19590517194052004

Lampiran 8 Surat Permohonan Tenaga Pengambilan Sampel Darah

UNIVERSITAS AIRLANGGA
FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT
PROGRAM MAGISTER
PROGRAM STUDI KESEHATAN DAN KESELAMATAN KERJA
 Kampus C, Mulyorejo Surabaya 60115 Telp. (031) 5921948, 5921949 Fax. (031) 5922019
 Website: <http://www.fkm.unair.ac.id> - Email: info@fkm.unair.ac.id

Nomor : 24 /UN3 1 10/S2 K3.PPd.2019
 Hal : Permohonan Tenaga
 Pengambilan Sampel Darah

28 Maret 2019

Yth Kepala
 Puskesmas Campurdarat
 Kec. Campurdarat - Kab. Tulungagung

Schubungan dengan adanya keharusan untuk melakukan penelitian tesis sebagai syarat untuk menyelesaikan studi pada Program Magister Program Studi Kesehatan dan Keselamatan Kerja Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Airlangga bagi mahasiswa tersebut dibawah ini :

Nima Eka Nur Rahmania NIM 101714253008

Maka dengan ini kami mohon bantuan tenaga medis guna melakukan pengambilan darah pada pengerajin batu kali Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung. Sebagai informasi kegiatan penelitian tersebut akan di laksanakan pada akhir bulan April 2019. Adapun segala biaya yang ada ditanggung oleh mahasiswa yang bersangkutan.

Demikian permohonan kami atas bantuan dan kerjasamanya disampaikan terima kasih.

Koordinator Program Studi,
 S2 Kesehatan dan Keselamatan Kerja

Dr. Abdul Rohim Tualeka, Drs., M Kes.
 NIP 196611241998031002

Lampiran 9 Output Analisis Uji Statistik

1. Hasil Uji Normalitas

Explore

Case Processing Summary

	Cases					
	Valid		Missing		Total	
	N	Percent	N	Percent	N	Percent
Umur	20	100,0%	0	0,0%	20	100,0%
Masa Kerja	20	100,0%	0	0,0%	20	100,0%
Lama Kerja	20	100,0%	0	0,0%	20	100,0%
IMT	20	100,0%	0	0,0%	20	100,0%
IB	20	100,0%	0	0,0%	20	100,0%
APD	20	100,0%	0	0,0%	20	100,0%
Kadar Debu	20	100,0%	0	0,0%	20	100,0%
Kadar TNFa	20	100,0%	0	0,0%	20	100,0%
FEV1	20	100,0%	0	0,0%	20	100,0%
%FEV1	20	100,0%	0	0,0%	20	100,0%
FVC	20	100,0%	0	0,0%	20	100,0%
%FVC	20	100,0%	0	0,0%	20	100,0%
Keluhan Pemapasan	20	100,0%	0	0,0%	20	100,0%

Descriptives

		Statistic	Std. Error	
Umur	Mean	36,3000	1,88777	
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	32,3488	
		Upper Bound	40,2512	
	5% Trimmed Mean		36,6667	
	Median		39,0000	
	Variance		71,274	
	Std. Deviation		8,44237	
	Minimum		20,00	
	Maximum		46,00	
	Range		26,00	
	Interquartile Range		14,75	
	Skewness		-,851	,512

Masa Kerja	Kurtosis		-,648	,992
	Mean		14,0500	1,83457
	95% Confidence Interval for	Lower Bound	10,2102	
	Mean	Upper Bound	17,8898	
	5% Trimmed Mean		14,1111	
	Median		13,5000	
	Variance		67,313	
	Std. Deviation		8,20446	
	Minimum		2,00	
	Maximum		25,00	
	Range		23,00	
	Interquartile Range		15,75	
	Skewness		-,154	,512
	Kurtosis		-1,531	,992
Lama Kerja	Mean		8,3000	,32525
	95% Confidence Interval for	Lower Bound	7,6192	
	Mean	Upper Bound	8,9808	
	5% Trimmed Mean		8,2222	
	Median		8,0000	
	Variance		2,116	
	Std. Deviation		1,45458	
	Minimum		6,00	
	Maximum		12,00	
	Range		6,00	
	Interquartile Range		,00	
	Skewness		1,696	,512
	Kurtosis		3,190	,992
	Mean		23,8687	,98293
IMT	95% Confidence Interval for	Lower Bound	21,8114	
	Mean	Upper Bound	25,9260	
	5% Trimmed Mean		23,5671	
	Median		23,2900	
	Variance		19,323	
	Std. Deviation		4,39578	
	Minimum		18,49	
	Maximum		34,67	
	Range		16,18	
	Interquartile Range		4,99	
	Skewness		1,077	,512
	Kurtosis		,918	,992

IB	Mean		133,7500	30,66576	
	95% Confidence Interval for	Lower Bound	69,5658		
	Mean	Upper Bound	197,9342		
	5% Trimmed Mean		123,2778		
	Median		144,0000		
	Variance		18807,776		
	Std. Deviation		137,14145		
	Minimum		,00		
	Maximum		456,00		
	Range		456,00		
	Interquartile Range		224,00		
	Skewness		,830	,512	
	Kurtosis		-,006	,992	
	Mean		2,2500	,20359	
	95% Confidence Interval for	Lower Bound	1,8239		
Mean	Upper Bound	2,6761			
5% Trimmed Mean		2,3333			
Median		2,5000			
Variance		,829			
APD	Std. Deviation		,91047		
	Minimum		,00		
	Maximum		3,00		
	Range		3,00		
	Interquartile Range		1,00		
	Skewness		-1,017	,512	
	Kurtosis		,260	,992	
	Mean		3,7609	1,30653	
	95% Confidence Interval for	Lower Bound	1,0263		
	Mean	Upper Bound	6,4955		
	5% Trimmed Mean		3,1061		
	Median		,6030		
	Variance		34,141		
	Kadar Debu	Std. Deviation		5,84299	
		Minimum		,21	
Maximum			19,10		
Range			18,89		
Interquartile Range			5,41		
Skewness			1,771	,512	
Kurtosis			2,133	,992	
Kadar TNFa		Mean		94,7513	16,54658

FEV1	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	60,1189	
		Upper Bound	129,3837	
	5% Trimmed Mean		91,1399	
	Median		74,2780	
	Variance		5475,787	
	Std. Deviation		73,99856	
	Minimum		13,00	
	Maximum		241,51	
	Range		228,51	
	Interquartile Range		85,45	
	Skewness		1,086	,512
	Kurtosis		-,106	,992
	Mean		2,7485	,16553
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	2,4020	
		Upper Bound	3,0950	
	5% Trimmed Mean		2,7156	
	Median		2,7400	
Variance		,548		
Std. Deviation		,74029		
Minimum		1,54		
Maximum		4,55		
Range		3,01		
Interquartile Range		1,00		
Skewness		,425	,512	
Kurtosis		,590	,992	
Mean		84,1100	2,08486	
95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	79,7463		
	Upper Bound	88,4737		
5% Trimmed Mean		82,8444		
Median		83,2500		
Variance		86,933		
Std. Deviation		9,32376		
Minimum		73,60		
Maximum		117,40		
Range		43,80		
Interquartile Range		7,78		
Skewness		2,408	,512	
Kurtosis		8,587	,992	
Mean		3,1785	,21885	
95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	2,7204		
	Upper Bound			
FVC				

	Mean	Upper Bound	3,6366	
	5% Trimmed Mean		3,1428	
	Median		3,2200	
	Variance		,958	
	Std. Deviation		,97873	
	Minimum		1,28	
	Maximum		5,72	
	Range		4,44	
	Interquartile Range		,99	
	Skewness		,453	,512
	Kurtosis		1,593	,992
	Mean		90,3250	4,47344
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	80,9620	
		Upper Bound	99,6880	
	5% Trimmed Mean		91,5611	
	Median		93,6500	
	Variance		400,233	
%FVC	Std. Deviation		20,00581	
	Minimum		40,70	
	Maximum		117,70	
	Range		77,00	
	Interquartile Range		25,43	
	Skewness		-1,003	,512
	Kurtosis		,766	,992
	Mean		19,9460	5,57796
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	8,2712	
		Upper Bound	31,6208	
	5% Trimmed Mean		18,3567	
	Median		,0000	
	Variance		622,274	
Keluhan Pemasasan	Std. Deviation		24,94541	
	Minimum		,00	
	Maximum		68,50	
	Range		68,50	
	Interquartile Range		44,18	
	Skewness		,702	,512
	Kurtosis		-1,212	,992

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Umur	,870	20	,012	,186	20	,069
Masa Kerja	,216	20	,025	,897	20	,056
Lama Kerja	,432	20	,071	,677	20	,083
IMT	,148	20	,200	,909	20	,061
IB	,185	20	,070	,874	20	,054
APD	,295	20	,061	,788	20	,105
Kadar Debu	,286	20	,056	,675	20	,062
Kadar TNFa	,252	20	,082	,829	20	,072
FEV1	,095	20	,200	,972	20	,790
%FEV1	,215	20	,056	,760	20	,060
FVC	,145	20	,200	,956	20	,474
%FVC	,168	20	,140	,923	20	,113
Keluhan Pernapasan	,338	20	,034	,765	20	,404

2. Hasil Uji Perbedaan Karakteristik Individu, Kadar Debu Batu Kali, Kadar Serum TNF- α , Kondisi Faal Paru (%FEV₁ & FVC), Serta Keluhan Pernapasan antara Pengrajin dan Non Pengrajin Batu Kali

```
T-TEST GROUPS=VAR00008(1 2)
/MISSING=ANALYSIS
/VARIABLES=Umur Masa_Kerja Lama_Kerja IMT IB APD Kadar_Debu
Kadar_TNFa FEV1 pFEV1 FVC pFVC Keluhan
/CRITERIA=CI(.95).
```

T-Test

Notes	
Output Created	18-JUL-2019 21:05:21
Comments	
Input	Active Dataset DataSet0 Filter <none> Weight <none> Split File <none> N of Rows in Working Data File 20 Definition of Missing User defined missing values are treated as missing.
Missing Value Handling	Statistics for each analysis are based on the cases with no missing or out-of-range data for any variable in the analysis. Cases Used T-TEST GROUPS=VAR00008(1 2) /MISSING=ANALYSIS /VARIABLES=Umur Masa_Kerja Lama_Kerja IMT IB APD Kadar_Debu Kadar_TNFa FEV1 pFEV1 FVC pFVC Keluhan /CRITERIA=CI(.95).
Syntax	
Resources	Processor Time 00:00:00,02 Elapsed Time 00:00:00,02

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Umur	Equal variances assumed	2,808	,111	,362	18	,721	1,40000	3,86494	-6,71994	9,51994
	Equal variances not assumed			,362	15,528	,722	1,40000	3,86494	-6,81360	9,61360
Masa Kerja	Equal variances assumed	1,273	,274	-,838	18	,413	-3,10000	3,69820	-10,86963	4,66963
	Equal variances not assumed			-,838	17,472	,413	-3,10000	3,69820	-10,86648	4,66648
Lama Kerja	Equal variances assumed	,101	,754	-,919	18	,370	-,60000	,65320	-1,97232	,77232
	Equal variances not assumed			-,919	17,625	,371	-,60000	,65320	-1,97441	,77441
IMT	Equal variances assumed	,892	,357	,379	18	,709	,76322	2,01170	-3,46319	4,98964
	Equal variances not assumed			,379	17,741	,709	,76322	2,01170	-3,46763	4,99407
IB	Equal variances assumed	,146	,707	1,834	18	,083	106,10000	57,83710	-15,41124	227,61124

	Equal variances not assumed			1,834	17,266	,084	106,10000	57,83710	-15,78261	227,98261
APD	Equal variances assumed	36,000	,000	-6,708	18	,000	-1,50000	,22361	-1,96978	-1,03022
	Equal variances not assumed			-6,708	9,000	,000	-1,50000	,22361	-2,00583	-,99417
Kadar Debu	Equal variances assumed	26,833	,000	3,320	18	,004	7,01920	2,11430	2,57721	11,46119
	Equal variances not assumed			3,320	9,007	,009	7,01920	2,11430	2,23691	11,80149
Kadar TNFa	Equal variances assumed	32,539	,000	4,386	18	,000	103,67780	23,63954	54,01296	153,34264
	Equal variances not assumed			4,386	10,506	,001	103,67780	23,63954	51,34771	156,00789
FEV1	Equal variances assumed	,290	,597	,348	18	,732	,13200	,37925	-,66478	,92878
	Equal variances not assumed			,348	17,755	,732	,13200	,37925	-,66557	,92957
%FEV1	Equal variances assumed	,480	,497	-2,910	18	,009	-10,27000	3,52928	-17,68473	-2,85527
	Equal variances not assumed			-2,910	13,436	,012	-10,27000	3,52928	-17,86945	-2,67055

FVC	Equal variances assumed	7,826	,012	-1,032	18	,316	-,45100	,43695	-1,36900	,46700
	Equal variances not assumed			-1,032	10,247	,326	-,45100	,43695	-1,42141	,51941
%FVC	Equal variances not assumed			-2,468	10,077	,033	-19,61000	7,94541	-37,29520	-1,92480
Keluhan Pernapasan	Equal variances assumed	17,569	,001	6,086	18	,000	39,89200	6,55434	26,12185	53,66215
	Equal variances not assumed			6,086	9,000	,000	39,89200	6,55434	25,06506	54,71894

3. Hasil Uji Pengaruh Kadar Debu Batu Kali terhadap Penurunan Kadar TNF- α

Regression

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
Kadar TNFa	94,7513	73,99856	20
Kadar Debu	3,7609	5,84299	20

Correlations

		Kadar TNFa	Kadar Debu
Pearson Correlation	Kadar TNFa	1,000	,907
	Kadar Debu	,907	1,000
Sig. (1-tailed)	Kadar TNFa	.	,000
	Kadar Debu	,000	.
N	Kadar TNFa	20	20
	Kadar Debu	20	20

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Kadar Debu ^b	.	Enter

a. Dependent Variable: Kadar TNFa

b. All requested variables entered.

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,907 ^a	,823	,813	31,99062

a. Predictors: (Constant), Kadar Debu

b. Dependent Variable: Kadar TNFa

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	85618,756	1	85618,756	83,661	,000 ^b
	Residual	18421,196	18	1023,400		
	Total	104039,952	19			

a. Dependent Variable: Kadar TNFa

b. Predictors: (Constant), Kadar Debu

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	51,544	8,572		6,013	,000
	Kadar Debu	11,489	1,256	,907	9,147	,000

a. Dependent Variable: Kadar TNFa

4. Hasil Uji Pengaruh Kadar Debu Batu Kali terhadap Penurunan Faal Paru FEV₁

Regression

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
FEV1	2,7485	,74029	20
Kadar Debu	3,7609	5,84299	20

Correlations

		FEV1	Kadar Debu
Pearson Correlation	FEV1	1,000	-,239
	Kadar Debu	-,239	1,000
Sig. (1-tailed)	FEV1	.	,155
	Kadar Debu	,155	.
N	FEV1	20	20
	Kadar Debu	20	20

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Kadar Debu ^b		Enter

a. Dependent Variable: FEV1

b. All requested variables entered.

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,239 ^a	,057	,005	,73855

a. Predictors: (Constant), Kadar Debu

b. Dependent Variable: FEV1

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	,595	1	,595	1,090	,310 ^b
	Residual	9,818	18	,545		
	Total	10,413	19			

a. Dependent Variable: FEV1

b. Predictors: (Constant), Kadar Debu

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	2,862	,198		14,463	,000
	Kadar Debu	-,030	,029	-,239	-1,044	,310

a. Dependent Variable: FEV1

5. Hasil Uji Pengaruh Kadar Debu Batu Kali terhadap Penurunan Faal Paru %FEV₁

Regression

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
%FEV1	84,1100	9,32376	20
Kadar Debu	3,7609	5,84299	20

Correlations

		%FEV1	Kadar Debu
Pearson Correlation	%FEV1	1,000	-,378
	Kadar Debu	-,378	1,000
Sig. (1-tailed)	%FEV1	.	,050
	Kadar Debu	,050	.
N	%FEV1	20	20
	Kadar Debu	20	20

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Kadar Debu ^b	.	Enter

a. Dependent Variable: %FEV1

b. All requested variables entered.

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,378 ^a	,143	,095	8,86879

a. Predictors: (Constant), Kadar Debu

b. Dependent Variable: %FEV1

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	235,920	1	235,920	2,999	,100 ^b
	Residual	1415,798	18	78,655		
	Total	1651,718	19			

a. Dependent Variable: %FEV1

b. Predictors: (Constant), Kadar Debu

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	86,378	2,377		36,346	,000
	Kadar Debu	-,603	,348	-,378	-1,732	,100

a. Dependent Variable: %FEV1

6. Hasil Uji Pengaruh Kadar Debu Batu Kali terhadap Penurunan Faal Paru FVC

Regression

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
FVC	3,1785	,97873	20
Kadar Debu	3,7609	5,84299	20

Correlations

		FVC	Kadar Debu
Pearson Correlation	FVC	1,000	-,519
	Kadar Debu	-,519	1,000
Sig. (1-tailed)	FVC	.	,010
	Kadar Debu	,010	.
N	FVC	20	20
	Kadar Debu	20	20

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Kadar Debu ^b		Enter

a. Dependent Variable: FVC

b. All requested variables entered.

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,519 ^a	,269	,229	,85946

a. Predictors: (Constant), Kadar Debu

b. Dependent Variable: FVC

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	4,904	1	4,904	6,639	,019 ^b
	Residual	13,296	18	,739		
	Total	18,200	19			

a. Dependent Variable: FVC

b. Predictors: (Constant), Kadar Debu

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	3,506	,230		15,221	,000
	Kadar Debu	-,087	,034	-,519	-2,577	,019

a. Dependent Variable: FVC

7. Hasil Uji Pengaruh Kadar Debu Batu Kali terhadap Penurunan Faal Paru %FVC

Regression

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
%FVC	90,3250	20,00581	20
Kadar Debu	3,7609	5,84299	20

Correlations

		%FVC	Kadar Debu
Pearson Correlation	%FVC	1,000	-,631
	Kadar Debu	-,631	1,000
Sig. (1-tailed)	%FVC	.	,001
	Kadar Debu	,001	.
N	%FVC	20	20
	Kadar Debu	20	20

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Kadar Debu ^b	.	Enter

a. Dependent Variable: %FVC

b. All requested variables entered.

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,631 ^a	,399	,365	15,93853

a. Predictors: (Constant), Kadar Debu

b. Dependent Variable: %FVC

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	3031,754	1	3031,754	11,934	,003 ^b
	Residual	4572,663	18	254,037		
	Total	7604,417	19			

a. Dependent Variable: %FVC

b. Predictors: (Constant), Kadar Debu

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	98,456	4,271		23,052	,000
	Kadar Debu	-2,162	,626	-,631	-3,455	,003

a. Dependent Variable: %FVC

8. Hasil Uji Pengaruh Kadar Debu Batu Kali dan Karakteristik Individu Terhadap Peningkatan Kadar Serum TNF- α

```
REGRESSION
/MISSING LISTWISE
/STATISTICS COEFF OUTS R ANOVA COLLIN TOL
/CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)
/NOORIGIN
/DEPENDENT Kadar_TNFa
/METHOD=BACKWARD Umur Masa_Kerja Lama_Kerja IMT IB APD
Kadar_Debu
/SCATTERPLOT=(*SDRESID , *ZPRED)
/RESIDUALS DURBIN HISTOGRAM(ZRESID) NORMPROB(ZRESID)
/SAVE RESID.
```

Regression

Notes

Output Created	18-JUL-2019 20:58:04	
Comments		
Input	Active Dataset	DataSet0
	Filter	<none>
	Weight	<none>
	Split File	<none>

	N of Rows in Working Data File	20
Missing Value Handling	Definition of Missing	User-defined missing values are treated as missing.
	Cases Used	Statistics are based on cases with no missing values for any variable used.
Syntax		REGRESSION /MISSING LISTWISE /STATISTICS COEFF OUTS R ANOVA COLLIN TOL /CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10) /NOORIGIN /DEPENDENT Kadar_TNFa /METHOD=BACKWARD Umur Masa_Kerja Lama_Kerja IMT IB APD Kadar_Debu /SCATTERPLOT=(*SDRESID ,*ZPRED) /RESIDUALS DURBIN HISTOGRAM(ZRESID) NORMPROB(ZRESID) /SAVE RESID.
Resources	Processor Time	00:00:00,77
	Elapsed Time	00:00:00,98
	Memory Required	4260 bytes
	Additional Memory Required for Residual Plots	864 bytes
Variables Created or Modified	RES_7	Unstandardized Residual

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Kadar Debu, Lama Kerja, IMT, Umur, APD, IB, Masa Kerja ^b		Enter
2		APD	Backward (criterion: Probability of F-to- remove >= ,100).

3		. Masa Kerja	Backward (criterion: Probability of F-to- remove >= ,100).
4		. IMT	Backward (criterion: Probability of F-to- remove >= ,100).
5		. IB	Backward (criterion: Probability of F-to- remove >= ,100).

a. Dependent Variable: Kadar TNFa

b. All requested variables entered.

Model Summary^f

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,953 ^a	,909	,856	28,08822
2	,952 ^b	,907	,864	27,25099
3	,951 ^c	,904	,870	26,68346
4	,945 ^d	,894	,865	27,16567
5	,941 ^e	,885	,864	27,32206

a. Predictors: (Constant), Kadar Debu, Lama Kerja, IMT, Umur, APD, IB, Masa Kerja

b. Predictors: (Constant), Kadar Debu, Lama Kerja, IMT, Umur, IB, Masa Kerja

c. Predictors: (Constant), Kadar Debu, Lama Kerja, IMT, Umur, IB

d. Predictors: (Constant), Kadar Debu, Lama Kerja, Umur, IB

e. Predictors: (Constant), Kadar Debu, Lama Kerja, Umur

f. Dependent Variable: Kadar TNFa

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	94572,578	7	13510,368	17,125	,000 ^b
	Residual	9467,374	12	788,948		
	Total	104039,952	19			
2	Regression	94385,935	6	15730,989	21,183	,000 ^c
	Residual	9654,017	13	742,617		
	Total	104039,952	19			
3	Regression	94071,857	5	18814,371	26,424	,000 ^d
	Residual	9968,095	14	712,007		
	Total	104039,952	19			
4	Regression	92970,349	4	23242,587	31,495	,000 ^e
	Residual	11069,603	15	737,974		
	Total	104039,952	19			
5	Regression	92096,035	3	30698,678	41,124	,000 ^f
	Residual	11943,917	16	746,495		
	Total	104039,952	19			

a. Dependent Variable: Kadar TNEa

b. Predictors: (Constant), Kadar Debu, Lama Kerja, IMT, Umur, APD, IB, Masa Kerja

c. Predictors: (Constant), Kadar Debu, Lama Kerja, IMT, Umur, IB, Masa Kerja

d. Predictors: (Constant), Kadar Debu, Lama Kerja, IMT, Umur, IB

e. Predictors: (Constant), Kadar Debu, Lama Kerja, Umur, IB

f. Predictors: (Constant), Kadar Debu, Lama Kerja, Umur

Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
(Constant)	56,670	60,223		,941	,365		
Umur	1,839	1,565	,210	1,175	,263	,238	4,207
Masa Kerja	-,953	1,664	-,106	-,573	,577	,223	4,487
Lama Kerja	10,109	4,939	,199	2,047	,063	,805	1,243
IMT	1,112	1,800	,066	,618	,548	,663	1,508
IB	,075	,062	,138	1,207	,251	,578	1,731
APD	-4,051	8,328	-,050	-,486	,635	,722	1,385
Kadar Debu	10,957	1,365	,865	8,028	,000	,653	1,532
(Constant)	43,074	51,754		,832	,420		
Umur	1,907	1,513	,218	1,260	,230	,240	4,174
Masa Kerja	-1,043	1,604	-,116	-,650	,527	,226	4,431
Lama Kerja	10,645	4,671	,209	2,279	,040	,847	1,181
IMT	1,374	1,666	,082	,824	,425	,728	1,373
IB	,081	,059	,149	1,371	,193	,602	1,662
Kadar Debu	11,143	1,272	,880	8,763	,000	,708	1,412
(Constant)	52,749	48,537		1,087	,295		
Umur	1,115	,880	,127	1,268	,226	,680	1,472
Lama Kerja	1,429	4,419	,225	2,586	,022	,907	1,102
IMT	1,836	1,476	,109	1,244	,234	,890	1,123
IB	,073	,056	,136	1,296	,216	,625	1,600
Kadar Debu	11,374	1,195	,898	9,514	,000	,768	1,302
(Constant)	85,407	41,560		2,055	,058		
Umur	1,343	,876	,153	1,534	,146	,710	1,408
Lama Kerja	10,822	4,471	,213	2,421	,029	,918	1,089
IB	,062	,057	,114	1,088	,294	,642	1,557
Kadar Debu	11,209	1,210	,885	9,267	,000	,778	1,286
(Constant)	74,501	40,566		1,837	,085		
Umur	1,796	,775	,205	2,317	,034	,917	1,090
Lama Kerja	10,770	4,497	,212	2,395	,029	,918	1,089
Kadar Debu	11,817	1,079	,933	10,957	,000	,989	1,011

a. Dependent Variable: Kadar TNFa

Excluded Variables^a

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics		
						Tolerance	VIF	Minimum Tolerance
2	APD	-.050 ^b	-.486	.635	-.139	.722	1,385	.223
	APD	-.056 ^c	-.569	.579	-.156	.731	1,367	.604
3	Masa Kerja	-.116 ^c	-.650	.527	-.178	.226	4,431	.226
	APD	-.090 ^d	-.982	.343	-.254	.847	1,181	.634
4	Masa Kerja	-.178 ^d	-1,121	.281	-.287	.276	3,625	.276
	IMT	.109 ^d	1,244	.234	.315	.890	1,123	.625
	APD	-.100 ^e	-1,099	.289	-.273	.857	1,167	.857
	Masa Kerja	-.126 ^e	-.798	.437	-.202	.293	3,410	.293
5	IMT	.090 ^e	1,023	.322	.255	.915	1,093	.897
	IB	.114 ^e	1,088	.294	.271	.642	1,557	.642

a. Dependent Variable: Kadar TNFa

b. Predictors in the Model: (Constant), Kadar Debu, Lama Kerja, IMT, Umur, IB, Masa Kerja

c. Predictors in the Model: (Constant), Kadar Debu, Lama Kerja, IMT, Umur, IB

d. Predictors in the Model: (Constant), Kadar Debu, Lama Kerja, Umur, IB

e. Predictors in the Model: (Constant), Kadar Debu, Lama Kerja, Umur

9. Hasil Uji Pengaruh Kadar TNF- α Serum terhadap Penurunan Faal Paru FEV₁

Regression

[DataSet0]

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Kadar TNFa ^b	.	Enter

a. Dependent Variable: FEV1

b. All requested variables entered.

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,347 ^a	,121	,072	,71327

a. Predictors: (Constant), Kadar TNFa

b. Dependent Variable: FEV1

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1,255	1	1,255	2,467	,134 ^b
	Residual	9,158	18	,509		
	Total	10,413	19			

a. Dependent Variable: FEV1

b. Predictors: (Constant), Kadar TNFa

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	3,078	,263		11,687	,000
	Kadar TNFa	-,003	,002	-,347	-1,571	,134

a. Dependent Variable: FEV1

10. Hasil Uji Pengaruh Kadar TNF- α Serum terhadap Penurunan Faal Paru %FEV₁

Regression

[DataSet0]

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Kadar TNFa ^b		Enter

a. Dependent Variable: %FEV1

b. All requested variables entered.

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,431 ^a	,186	,141	8,64271

a. Predictors: (Constant), Kadar TNFa

b. Dependent Variable: %FEV1

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	307,181	1	307,181	4,112	,058 ^b
	Residual	1344,537	18	74,696		
	Total	1651,718	19			

a. Dependent Variable: %FEV1

b. Predictors: (Constant), Kadar TNFa

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	89,259	3,191		27,975	,000
	Kadar TNFa	-,054	,027	-,431	-2,028	,058

a. Dependent Variable: %FEV1

11. Hasil Uji Pengaruh Kadar TNF- α Serum terhadap Penurunan Faal Paru FVC

Regression

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Kadar TNFa ^b		Enter

a. Dependent Variable: FVC

b. All requested variables entered.

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,598 ^a	,357	,322	,80607

a. Predictors: (Constant), Kadar TNFa

b. Dependent Variable: FVC

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	6,505	1	6,505	10,012	,005 ^b
	Residual	11,695	18	,650		
	Total	18,200	19			

a. Dependent Variable: FVC

b. Predictors: (Constant), Kadar TNFa

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	3,928	,298		13,199	,000
	Kadar TNFa	-,008	,002	-,598	-3,164	,005

a. Dependent Variable: FVC

12. Hasil Uji Pengaruh Kadar TNF- α Serum terhadap Penurunan Faal Paru %FVC

Regression

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Kadar TNFa ^b		Enter

a. Dependent Variable: %FVC

b. All requested variables entered.

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,781 ^a	,610	,589	12,83202

a. Predictors: (Constant), Kadar TNFa

b. Dependent Variable: %FVC

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	4640,526	1	4640,526	28,182	,000 ^b
	Residual	2963,891	18	164,661		
	Total	7604,418	19			

a. Dependent Variable: %FVC

b. Predictors: (Constant), Kadar TNFa

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	110,336	4,737		23,291	,000
	Kadar TNFa	-,211	,040	-,781	-5,309	,000

a. Dependent Variable: %FVC

13. Hasil Uji Pengaruh Kadar Debu Batu Kali, Kadar TNF- α Serum dan Karakteristik Individu Terhadap Penurunan Faal Paru (FEV₁)

REGRESSION

/MISSING LISTWISE

/STATISTICS COEFF OUTS R ANOVA COLLIN TOL

/CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)

/NOORIGIN

/DEPENDENT FEV1

/METHOD=BACKWARD Umur Masa_Kerja Lama_Kerja IMT IB APD

Kadar_Debu Kadar_TNFa

/SCATTERPLOT=(*SDRESID , *ZPRED)

/RESIDUALS DURBIN HISTOGRAM(ZRESID) NORMPROB(ZRESID)

/SAVE RESID.

Regression

Notes		
Output Created		18-JUL-2019 20:53:52
Comments		
Input	Active Dataset	DataSet0
	Filter	<none>
	Weight	<none>
	Split File	<none>
Missing Value Handling	N of Rows in Working Data File	20
	Definition of Missing	User-defined missing values are treated as missing.
	Cases Used	Statistics are based on cases with no missing values for any variable used.
Syntax		<p>REGRESSION</p> <p>/MISSING LISTWISE</p> <p>/STATISTICS COEFF OUTS R ANOVA</p> <p>COLLIN TOL</p> <p>/CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)</p> <p>/NOORIGIN</p> <p>/DEPENDENT FEV1</p> <p>/METHOD=BACKWARD Umur Masa_Kerja Lama_Kerja IMT IB APD Kadar_Debu Kadar_TNFa</p> <p>/SCATTERPLOT=(*SDRESID ,*ZPRED)</p> <p>/RESIDUALS DURBIN</p> <p>HISTOGRAM(ZRESID)</p> <p>NORMPROB(ZRESID)</p> <p>/SAVE RESID.</p>
Resources	Processor Time	00:00:00,08
	Elapsed Time	00:00:00,06
	Memory Required	4652 bytes
	Additional Memory Required for Residual Plots	856 bytes
Variables Created or Modified	RES_1	Unstandardized Residual

[DataSet0]

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Kadar TNFa, Masa Kerja, IMT, Lama Kerja, APD, IB, Umur, Kadar Debu ^b		Enter
2		Lama Kerja	Backward (criterion: Probability of F-to- remove >= ,100).
3		IB	Backward (criterion: Probability of F-to- remove >= ,100).
4		APD	Backward (criterion: Probability of F-to- remove >= ,100).
5		Kadar Debu	Backward (criterion: Probability of F-to- remove >= ,100).
6		IMT	Backward (criterion: Probability of F-to- remove >= ,100).
7		Kadar TNFa	Backward (criterion: Probability of F-to- remove >= ,100).
8		Masa Kerja	Backward (criterion: Probability of F-to- remove >= ,100).

9	Umur	Backward (criterion: Probability of F-to- remove >= ,100).
---	------	---

a. Dependent Variable: FEV₁

b. All requested variables entered.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,522 ^a	,273	-,256	,92819
2	,521 ^b	,271	-,154	,88969
3	,518 ^c	,268	-,069	,85638
4	,510 ^d	,260	-,004	,82992
5	,476 ^e	,226	,020	,81998
6	,414 ^f	,171	,016	,82170
7	,314 ^g	,099	-,007	,83116
8	,205 ^h	,042	-,011	,83285
9	,000 ⁱ	,000	,000	,82819

a. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, Masa Kerja, IMT, Lama Kerja, APD, IB, Umur, Kadar Debu

b. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, Masa Kerja, IMT, APD, IB, Umur, Kadar Debu

c. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, Masa Kerja, IMT, APD, Umur, Kadar Debu

d. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, Masa Kerja, IMT, Umur, Kadar Debu

e. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, Masa Kerja, IMT, Umur

f. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, Masa Kerja, Umur

g. Predictors: (Constant), Masa Kerja, Umur

h. Predictors: (Constant), Umur

i. Predictor: (constant)

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	3,555	8	,444	,516	,822 ^b
	Residual	9,477	11	,862		
	Total	13,032	19			
2	Regression	3,534	7	,505	,638	,718 ^c
	Residual	9,499	12	,792		
	Total	13,032	19			
3	Regression	3,498	6	,583	,795	,590 ^d
	Residual	9,534	13	,733		
	Total	13,032	19			
4	Regression	3,390	5	,678	,984	,461 ^e
	Residual	9,643	14	,689		
	Total	13,032	19			
5	Regression	2,947	4	,737	1,096	,394 ^f
	Residual	10,086	15	,672		
	Total	13,032	19			
6	Regression	2,229	3	,743	1,101	,378 ^g
	Residual	10,803	16	,675		
	Total	13,032	19			
7	Regression	1,288	2	,644	,932	,413 ^h
	Residual	11,744	17	,691		
	Total	13,032	19			
8	Regression	,547	1	,547	,788	,386 ⁱ
	Residual	12,485	18	,694		
	Total	13,032	19			
9	Regression	,000	0	,000		
	Residual	13,032	19	,686		
	Total	13,032	19			

a. Dependent Variable: FEV₁

b. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, Masa Kerja, IMT, Lama Kerja, APD, IB, Umur, Kadar Debu

c. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, Masa Kerja, IMT, APD, IB, Umur, Kadar Debu

d. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, Masa Kerja, IMT, APD, Umur, Kadar Debu

e. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, Masa Kerja, IMT, Umur, Kadar Debu

f. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, Masa Kerja, IMT, Umur

g. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, Masa Kerja, Umur

h. Predictors: (Constant), Masa Kerja, Umur

i. Predictors: (Constant), Umur

Model		Coefficients ^a						
		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	2,107	2,062		1,022	,329		
	Umur	,096	,055	,979	1,758	,106	,213	4,691
	Masa Kerja	-,075	,056	-,741	-1,342	,207	,217	4,610
	Lama Kerja	,030	,190	,053	,159	,877	,596	1,677
	IMT	-,053	,060	-,281	-,876	,400	,643	1,556
	IB	,000	,002	-,082	-,229	,823	,515	1,941
	APD	-,109	,278	-,120	-,393	,702	,708	1,412
	Kadar Debu	,061	,114	,431	,536	,603	,102	9,758
	Kadar TNFa	-,008	,010	-,732	-,859	,409	,191	9,989
	(Constant)	2,254	1,766		1,276	,226		
	Umur	,097	,052	,989	1,864	,087	,216	4,633
2	Masa Kerja	-,074	,053	-,731	-1,391	,190	,220	4,556
	IMT	-,050	,055	-,265	-,907	,382	,710	1,408
	IB	,000	,002	-,071	-,212	,836	,534	1,874
	APD	-,104	,264	-,114	-,393	,701	,719	1,392
	Kadar Debu	,071	,092	,499	,766	,458	,143	6,974
	Kadar TNFa	-,009	,008	-,801	-1,139	,277	,123	8,146
	(Constant)	2,236	1,698		1,316	,211		
3	Umur	,097	,050	,987	1,934	,075	,216	4,632
	Masa Kerja	-,077	,049	-,762	-1,566	,141	,238	4,208
	IMT	-,049	,053	-,258	-,923	,373	,720	1,388

	APD	-.097	,253	-.107	-.385	,707	,729	1,371
	Kadar	,072	,089	,509	,814	,430	,144	6,937
	Debu							
	Kadar	-.009	,007	-.842	-1,295	,218	,133	7,520
	TNFa							
	(Constant)	1,843	1,316		1,401	,183		
	Umur	,097	,049	,993	2,007	,064	,216	4,628
	Masa	-.078	,047	-.775	-1,648	,122	,239	4,187
	Kerja							
4	IMT	-.044	,050	-.233	-.884	,391	,762	1,313
	Kadar	,068	,085	,483	,802	,436	,146	6,857
	Debu							
	Kadar	-.009	,007	-.772	-1,276	,223	,144	6,929
	TNFa							
	(Constant)	2,078	1,267		1,639	,122		
	Umur	,087	,046	,888	1,884	,079	,232	4,306
	Masa	-.073	,047	-.726	-1,575	,136	,243	4,115
5	Kerja							
	IMT	-.050	,048	-.266	-1,033	,318	,780	1,281
	Kadar	-.004	,003	-.327	-1,375	,189	,914	1,095
	TNFa							
	(Constant)	1,337	1,048		1,277	,220		
	Umur	,065	,041	,665	1,584	,133	,294	3,403
	Masa	-.053	,042	-.525	-1,254	,228	,296	3,383
6	Kerja							
	Kadar	-.003	,003	-.275	-1,181	,255	,957	1,045
	TNFa							
	(Constant)	1,275	1,058		1,204	,245		
	Umur	,055	,041	,563	1,355	,193	,307	3,259
7	Masa	-.043	,042	-.431	-1,036	,315	,307	3,259
	Kerja							
	(Constant)	1,941	,842		2,304	,033		
8	Umur	,020	,023	,205	,888	,386	1,000	1,000
9	(Constant)	2,670	,185		14,418	,000		

a. Dependent Variable: FEV₁

14. Hasil Uji Pengaruh Kadar Debu Batu Kali, Kadar TNF- α Serum dan Karakteristik Individu Terhadap Penurunan Faal Paru (%FEV₁)

```

REGRESSION
  /MISSING LISTWISE
  /STATISTICS COEFF OUTS R ANOVA COLLIN TOL
  /CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)
  /NOORIGIN
  /DEPENDENT pFEV1
  /METHOD=BACKWARD Umur Masa_Kerja Lama_Kerja IMT IB APD
  Kadar_Debu Kadar_TNFa
  /SCATTERPLOT=(*SDRESID ,*ZPRED)
  /RESIDUALS DURBIN HISTOGRAM(ZRESID) NORMPROB(ZRESID)
  /SAVE RESID.
    
```

Regression

Notes		
Output Created		18-JUL-2019 20:54:27
Comments		
Input	Active Dataset	DataSet0
	Filter	<none>
	Weight	<none>
	Split File	<none>
	N of Rows in	20
Missing Value Handling	Working Data File	
	Definition of Missing	User-defined missing values are treated as missing.
	Cases Used	Statistics are based on cases with no missing values for any variable used.
Syntax		REGRESSION
		/MISSING LISTWISE
		/STATISTICS COEFF OUTS R ANOVA
		COLLIN TOL
		/CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)
		/NOORIGIN
		/DEPENDENT pFEV1
		/METHOD=BACKWARD Umur Masa_Kerja
		Lama_Kerja IMT IB APD Kadar_Debu
		Kadar_TNFa
	/SCATTERPLOT=(*SDRESID ,*ZPRED)	
	/RESIDUALS DURBIN HISTOGRAM(ZRESID)	
	NORMPROB(ZRESID)	
	/SAVE RESID.	
Resources	Processor Time	00:00:00,66
	Elapsed Time	00:00:00,75
	Memory Required	4676 bytes

	Additional Memory Required for Residual Plots	856 bytes
Variables Created or Modified	RES_2	Unstandardized Residual

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Kadar TNFa, Masa Kerja, IMT, Lama Kerja, APD, IB, Umur, Kadar Debu ^b		Enter
2		Kadar TNFa	Backward (criterion: Probability of F-to- remove >= ,100).
3		IMT	Backward (criterion: Probability of F-to- remove >= ,100).
4		IB	Backward (criterion: Probability of F-to- remove >= ,100).
5		Lama Kerja	Backward (criterion: Probability of F-to- remove >= ,100).
6		Kadar Debu	Backward (criterion: Probability of F-to- remove >= ,100).
7		Umur	Backward (criterion: Probability of F-to- remove >= ,100).

8	Masa Kerja	Backward (criterion: Probability of F-to- remove >= ,100).
---	------------	---

a. Dependent Variable: %FEV1

b. All requested variables entered.

Model Summaryⁱ

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,655 ^a	,429	,014	9,25084
2	,654 ^b	,428	,094	8,86468
3	,653 ^c	,426	,161	8,53240
4	,650 ^d	,423	,217	8,24261
5	,622 ^e	,387	,224	8,20575
6	,570 ^f	,325	,198	8,33927
7	,506 ^g	,256	,168	8,49404
8	,472 ^h	,222	,179	8,43899

a. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, Masa Kerja, IMT, Lama Kerja, APD, IB, Umur, Kadar Debu

b. Predictors: (Constant), Masa Kerja, IMT, Lama Kerja, APD, IB, Umur, Kadar Debu

c. Predictors: (Constant), Masa Kerja, Lama Kerja, APD, IB, Umur, Kadar Debu

d. Predictors: (Constant), Masa Kerja, Lama Kerja, APD, Umur, Kadar Debu

e. Predictors: (Constant), Masa Kerja, APD, Umur, Kadar Debu

f. Predictors: (Constant), Masa Kerja, APD, Umur

g. Predictors: (Constant), Masa Kerja, APD

h. Predictors: (Constant), APD

i. Dependent Variable: %FEV1

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regressi on	707,026	8	88,378	1,033	,467 ^b
	Residual	941,359	11	85,578		
	Total	1648,386	19			
2	Regressi on	705,394	7	100,771	1,282	,336 ^c
	Residual	942,991	12	78,583		
	Total	1648,386	19			
3	Regressi on	701,962	6	116,994	1,607	,222 ^d
	Residual	946,424	13	72,802		
	Total	1648,386	19			
4	Regressi on	697,216	5	139,443	2,052	,133 ^e
	Residual	951,169	14	67,941		
	Total	1648,386	19			
5	Regressi on	638,371	4	159,593	2,370	,099 ^f
	Residual	1010,014	15	67,334		
	Total	1648,386	19			
6	Regressi on	535,690	3	178,563	2,568	,091 ^g
	Residual	1112,696	16	69,543		
	Total	1648,386	19			
7	Regressi on	421,857	2	210,929	2,924	,081 ^h
	Residual	1226,528	17	72,149		
	Total	1648,386	19			
8	Regressi on	366,489	1	366,489	5,146	,036 ⁱ
	Residual	1281,897	18	71,216		
	Total	1648,386	19			

a. Dependent Variable: %FEV1

b. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, Masa Kerja, IMT, Lama Kerja, APD, IB, Umur, Kadar Debu

c. Predictors: (Constant), Masa Kerja, IMT, Lama Kerja, APD, IB, Umur, Kadar Debu

- d. Predictors: (Constant), Masa Kerja, Lama Kerja, APD, IB, Umur, Kadar Debu
- e. Predictors: (Constant), Masa Kerja, Lama Kerja, APD, Umur, Kadar Debu
- f. Predictors: (Constant), Masa Kerja, APD, Umur, Kadar Debu
- g. Predictors: (Constant), Masa Kerja, APD, Umur
- h. Predictors: (Constant), Masa Kerja, APD
- i. Predictors: (Constant), APD

Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics		
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF	
1	(Constant)	82,443	20,553		4,011	,002		
	Umur	-,570	,544	-,516	-1,047	,318	,213	4,69
	Masa Kerja	,553	,555	,487	,995	,341	,217	4,61
	Lama Kerja	1,523	1,889	,238	,806	,437	,596	1,67
	IMT	-,133	,602	-,063	-,221	,829	,643	1,55
	IB	,003	,022	,049	,153	,881	,515	1,94
	APD	2,736	2,770	,267	,988	,344	,708	1,41
	Kadar Debu	-,681	1,135	-,427	-,600	,561	,102	9,75
	Kadar TNFa	,013	,095	,104	,138	,893	,191	9,98
2	(Constant)	83,187	19,007		4,377	,001		
	Umur	-,546	,494	-,495	-1,104	,291	,238	4,20
	Masa Kerja	,540	,525	,476	1,029	,324	,223	4,48
	Lama Kerja	1,390	1,559	,217	,892	,390	,805	1,24
	IMT	-,119	,568	-,056	-,209	,838	,663	1,50
	IB	,004	,020	,063	,219	,830	,578	1,73
	APD	2,683	2,628	,262	1,021	,327	,722	1,38
	Kadar Debu	-,537	,431	-,337	-1,247	,236	,653	1,53

	(Const ant)	81,474	16,505		4,936	,000		
	Umur	-,588	,435	-,533	-1,352	,199	,285	3,51
	Masa Kerja	,581	,469	,512	1,238	,238	,258	3,86
3	Lama Kerja	1,306	1,449	,204	,901	,384	,862	1,16
	IB	,005	,019	,070	,255	,802	,586	1,70
	APD	2,848	2,414	,278	1,180	,259	,793	1,26
	Kadar Debu	-,512	,398	-,321	-1,286	,221	,709	1,41
	(Const ant)	81,468	15,945		5,109	,000		
	Umur	-,580	,419	-,526	-1,385	,188	,286	3,49
	Masa Kerja	,614	,436	,541	1,409	,181	,280	3,57
4	Lama Kerja	1,303	1,400	,203	,931	,368	,862	1,16
	APD	2,741	2,297	,268	1,193	,253	,818	1,22
	Kadar Debu	-,468	,346	-,293	-1,351	,198	,874	1,14
	(Const ant)	89,835	13,109		6,853	,000		
	Umur	-,562	,417	-,509	-1,349	,197	,287	3,48
	Masa Kerja	,674	,429	,594	1,570	,137	,286	3,49
5	APD	3,087	2,256	,302	1,368	,191	,840	1,19
	Kadar Debu	-,421	,341	-,264	-1,235	,236	,893	1,12
	(Const ant)	85,478	12,831		6,662	,000		
	Umur	-,541	,423	-,490	-1,279	,219	,287	3,48
	Masa Kerja	,680	,436	,599	1,558	,139	,286	3,49
6	APD	3,947	2,181	,386	1,810	,089	,928	1,077
	(Const ant)	70,857	5,942		11,926	,000		
7	Masa Kerja	,209	,238	,184	,876	,393	,992	1,008
	APD	4,655	2,149	,455	2,166	,045	,992	1,008

8	(Constant)	73,411	5,143		14,274	,000		
	APD	4,824	2,126	,472	2,269	,036	1,000	1,000

a. Dependent Variable: %FEV1

15. Hasil Uji Pengaruh Kadar Debu Batu Kali, Kadar TNF- α Serum dan Karakteristik Individu Terhadap Penurunan Faal Paru (FVC)

```

REGRESSION
/MISSING LISTWISE
/STATISTICS COEFF OUTS R ANOVA COLLIN TOL
/CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)
/NOORIGIN
/DEPENDENT FVC
/METHOD=BACKWARD Umur Masa_Kerja Lama_Kerja IMT IB APD
Kadar_Debu Kadar_TNFa
/SCATTERPLOT=(*SDRESID ,*ZPRED)
/RESIDUALS DURBIN HISTOGRAM(ZRESID) NORMPROB(ZRESID)
/SAVE RESID.
    
```

Regression

		Notes
Output Created		18-JUL-2019 20:54:55
Comments		
Input	Active Dataset	DataSet0
	Filter	<none>
	Weight	<none>
	Split File	<none>
	N of Rows in Working Data File	20
Missing Value Handling	Definition of Missing	User-defined missing values are treated as missing.
	Cases Used	Statistics are based on cases with no missing values for any variable used.

Syntax	REGRESSION /MISSING LISTWISE /STATISTICS COEFF OUTS R ANOVA COLLIN TOL /CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10) /NOORIGIN /DEPENDENT FVC /METHOD=BACKWARD Umur Masa_Kerja Lama_Kerja IMT IB APD Kadar_Debu Kadar_TNFa /SCATTERPLOT=(*SDRESID ,*ZPRED) /RESIDUALS DURBIN HISTOGRAM(ZRESID) NORMPROB(ZRESID) /SAVE RESID.
Resources	Processor Time 00:00:00,67 Elapsed Time 00:00:00,91 Memory Required 4692 bytes Additional Memory Required for Residual Plots 856 bytes
Variables Created or Modified	RES 3 Unstandardized Residual

[DataSet0]

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Kadar TNFa, Masa Kerja, IMT, Lama Kerja, APD, IB, Umur, Kadar Debu ^b		Enter
2		APD	Backward (criterion: Probability of F-to- remove >= ,100).
3		IB	Backward (criterion: Probability of F-to- remove >= ,100).

4		Kadar Debu	Backward (criterion: Probability of F-to- remove >= ,100).
5		Lama Kerja	Backward (criterion: Probability of F-to- remove >= ,100).

a. Dependent Variable: FVC

b. All requested variables entered.

Model Summary^f

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,818 ^a	,669	,429	,73968
2	,818 ^b	,669	,476	,70854
3	,808 ^c	,652	,492	,69768
4	,775 ^d	,600	,457	,72096
5	,760 ^e	,577	,465	,71619

a. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, Masa Kerja, IMT, Lama Kerja, APD, IB, Umur, Kadar Debu

b. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, Masa Kerja, IMT, Lama Kerja, IB, Umur, Kadar Debu

c. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, Masa Kerja, IMT, Lama Kerja, Umur, Kadar Debu

d. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, Masa Kerja, IMT, Lama Kerja, Umur

e. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, Masa Kerja, IMT, Umur

f. Dependent Variable: FVC

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	12,182	8	1,523	2,783	,059 ^b
	Residual	6,018	11	,547		
	Total	18,200	19			
2	Regression	12,176	7	1,739	3,465	,029 ^c
	Residual	6,024	12	,502		
	Total	18,200	19			
3	Regression	11,873	6	1,979	4,065	,016 ^d
	Residual	6,328	13	,487		
	Total	18,200	19			

4	Regression	10,923	5	2,185	4,203	,015 ^e
	Residual	7,277	14	,520		
	Total	18,200	19			
5	Regression	10,507	4	2,627	5,121	,008 ^f
	Residual	7,694	15	,513		
	Total	18,200	19			

a. Dependent Variable: FVC

b. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, Masa Kerja, IMT, Lama Kerja, APD, IB, Umur, Kadar Debu

c. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, Masa Kerja, IMT, Lama Kerja, IB, Umur, Kadar Debu

d. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, Masa Kerja, IMT, Lama Kerja, Umur, Kadar Debu

e. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, Masa Kerja, IMT, Lama Kerja, Umur

f. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, Masa Kerja, IMT, Umur

Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	5,208	1,643		3,169	,009	
	Umur	-,111	,044	-,958	-2,552	,027	,213
	Masa Kerja	-,078	,044	-,652	-1,752	,108	,217
	Lama Kerja	-,229	,151	-,341	-1,519	,157	,596
	IMT	-,072	,048	-,321	-1,486	,165	,643
	IB	,001	,002	,175	,723	,485	,515
	APD	-,023	,221	-,022	-,105	,918	,708
	Kadar Debu	,129	,091	,771	1,423	,182	,102
	Kadar TNFa	-,021	,008	-1,562	-2,717	,020	,191
	(Constant)	5,125	1,381		3,711	,003	
2	Umur	-,111	,042	-,960	-2,671	,020	,214
	Masa Kerja	-,078	,042	-,655	-1,845	,090	,219
	Lama Kerja	-,231	,144	-,344	-1,610	,133	,605
	IMT	-,070	,044	-,315	-1,579	,140	,692
	IB	,001	,002	,178	,777	,452	,526
	Kadar Debu	,129	,087	,770	1,484	,164	,103
	Kadar TNFa	-,021	,007	-1,554	-2,849	,015	,193
3	(Constant)	4,991	1,349		3,699	,003	
	Umur	-,111	,041	-,959	-2,711	,018	,214
	Masa Kerja	-,070	,040	-,589	-1,735	,106	,232

	Lama Kerja	-.212	.139	-.315	-1,522	.152	.623	1,604
	IMT	-.075	.043	-.336	-1,727	.108	.705	1,418
	Kadar Debu	.118	.084	.704	1,396	.186	.105	9,493
	Kadar TNFa	-.019	.007	-1,403	-2,796	.015	.106	9,415
	(Constant)	4,714	1,379		3,418	.004		
	Umur	-.095	.041	-.821	-2,338	.035	.232	4,316
4	Masa Kerja	-.069	.042	-.579	-1,651	.121	.232	4,308
	Lama Kerja	-.110	.122	-.163	-.896	.386	.863	1,159
	IMT	-.091	.043	-.410	-2,115	.053	.761	1,315
	Kadar TNFa	-.010	.002	-.744	-4,201	.001	.910	1,099
	(Constant)	3,987	1,107		3,601	.003		
	Umur	-.097	.040	-.836	-2,400	.030	.232	4,306
5	Masa Kerja	-.077	.041	-.645	-1,895	.078	.243	4,115
	IMT	-.097	.042	-.437	-2,302	.036	.780	1,281
	Kadar TNFa	-.010	.002	-.734	-4,180	.001	.914	1,095

a. Dependent Variable: FVC

16. Hasil Uji Pengaruh Kadar Debu Batu Kali, Kadar TNF- α Serum dan Karakteristik Individu Terhadap Penurunan Faal Paru (%FVC)

```

REGRESSION
/MISSING LISTWISE
/STATISTICS COEFF OUTS R ANOVA COLLIN TOL
/CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)
/NOORIGIN
/DEPENDENT pFVC
/METHOD=BACKWARD Umur Masa_Kerja Lama_Kerja IMT IB APD
Kadar_Debu Kadar_TNFa
/SCATTERPLOT=(*SDRESID , *ZPRED)
/RESIDUALS DURBIN HISTOGRAM(ZRESID) NORMPROB(ZRESID)
/SAVE RESID.
    
```

Regression

Notes	
Output Created	18-JUL-2019 20:56:20
Comments	
Input	Active Dataset Filter Weight Split File N of Rows in Working Data File
	DataSet0 <none> <none> <none>

<p>Missing Value Handling</p> <p>Syntax</p> <p>Resources</p> <p>Variables Created or Modified</p>	<p>Definition of Missing</p> <p>Cases Used</p> <p>Processor Time</p> <p>Elapsed Time</p> <p>Memory Required</p> <p>Additional Memory Required for Residual Plots</p> <p>RES_4</p>	<p>User-defined missing values are treated as missing.</p> <p>Statistics are based on cases with no missing values for any variable used.</p> <p>REGRESSION</p> <p>/MISSING LISTWISE</p> <p>/STATISTICS COEFF OUTS R ANOVA COLLIN TOL</p> <p>/CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)</p> <p>/NOORIGIN</p> <p>/DEPENDENT pFVC</p> <p>/METHOD=BACKWARD Umur Masa_Kerja Lama_Kerja IMT IB APD Kadar_Debu Kadar_TNFa</p> <p>/SCATTERPLOT=(<i>*SDRESID</i> ,<i>*ZPRED</i>)</p> <p>/RESIDUALS DURBIN HISTOGRAM(ZRESID)</p> <p>NORMPROB(ZRESID)</p> <p>/SAVE RESID.</p> <p>00:00:00,70</p> <p>00:00:01,05</p> <p>4716 bytes</p> <p>856 bytes</p> <p>Unstandardized Residual</p>
---	--	--

[DataSet0]

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Kadar TNFa, Masa Kerja, IMT, Lama Kerja, APD, IB, Umur, Kadar Debu ^b		Enter
2		APD	Backward (criterion: Probability of F-to-remove >= ,100).

3		IB	Backward (criterion: Probability of F-to- remove >= ,100).
4		Masa Kerja	Backward (criterion: Probability of F-to- remove >= ,100).
5		IMT	Backward (criterion: Probability of F-to- remove >= ,100).

a. Dependent Variable: %FVC

b. All requested variables entered.

Model Summary^f

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,904 ^a	,818	,685	11,22500
2	,903 ^b	,816	,709	10,79584
3	,901 ^c	,811	,724	10,51113
4	,894 ^d	,800	,728	10,43440
5	,888 ^e	,788	,731	10,37457

a. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, Masa Kerja, IMT, Lama Kerja, APD, IB, Umur, Kadar Debu

b. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, Masa Kerja, IMT, Lama Kerja, IB, Umur, Kadar Debu

b. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, Masa Kerja, IMT, Lama Kerja, Umur, Kadar Debu

d. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, IMT, Lama Kerja, Umur, Kadar Debu

e. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, Lama Kerja, Umur, Kadar Debu

f. Dependent Variable: %FVC

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	6218,411	8	777,301	6,169	,004 ^b
	Residual	1386,006	11	126,001		
	Total	7604,417	19			
2	Regression	6205,814	7	886,545	7,607	,001 ^c
	Residual	1398,603	12	116,550		
	Total	7604,417	19			
3	Regression	6168,127	6	1028,021	9,305	,000 ^d
	Residual	1436,291	13	110,484		
	Total	7604,417	19			
4	Regression	6080,144	5	1216,029	11,169	,000 ^e
	Residual	1524,274	14	108,877		
	Total	7604,417	19			
5	Regression	5989,943	4	1497,486	13,913	,000 ^f
	Residual	1614,475	15	107,632		
	Total	7604,417	19			

a. Dependent Variable: %FVC

b. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, Masa Kerja, IMT, Lama Kerja, APD, IB, Umur, Kadar Debu

c. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, Masa Kerja, IMT, Lama Kerja, IB, Umur, Kadar Debu

d. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, Masa Kerja, IMT, Lama Kerja, Umur, Kadar Debu

e. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, IMT, Lama Kerja, Umur, Kadar Debu

f. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, Lama Kerja, Umur, Kadar Debu

Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics		
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF	
1	(Constant)	144,901	24,939		5,810	,000		
	Umur	-1,213	,661	-,512	-1,836	,094	,213	4,691
	Masa Kerja	-,474	,674	-,195	-,704	,496	,217	4,610
	Lama Kerja	-5,238	2,293	-,381	-2,285	,043	,596	1,677
	IMT	-,771	,731	-,169	-1,055	,314	,643	1,556
	IB	-,013	,026	-,089	-,497	,629	,515	1,941

2	APD	1,063	3,361	,048	,316	,758	,708	1,412	
	Kadar	-3,192	1,377	-,932	-2,319	,041	,102	9,758	
	Debu								
	Kadar	-,451	,115	-1,668	-3,909	,002	,091	10,989	
	TNFa								
	(Constant)	148,686	21,042		7,066	,000			
	Umur	-1,205	,635	-,508	-1,898	,082	,214	4,684	
	Masa	-,456	,646	-,187	-,706	,494	,219	4,575	
	Kerja								
	Lama	-5,151	2,189	-,375	-2,353	,037	,605	1,653	
	Kerja								
	IMT	-,832	,677	-,183	-1,229	,243	,692	1,445	
	IB	-,014	,025	-,097	-,569	,580	,526	1,903	
	Kadar	-3,200	1,324	-,935	-2,417	,032	,103	9,755	
3	Debu								
	Kadar	-,456	,110	-1,687	-4,150	,001	,193	9,777	
	TNFa								
	(Constant)	150,181	20,327		7,388	,000			
	Umur	-1,205	,618	-,509	-1,950	,073	,214	4,684	
	Masa	-,544	,610	-,223	-,892	,388	,232	4,310	
	Kerja								
	Lama	-5,365	2,100	-,390	-2,555	,024	,623	1,604	
	Kerja								
	IMT	-,780	,653	-,171	-1,194	,254	,705	1,418	
	Kadar	3,323	1,272	,971	2,614	,021	,105	9,493	
	Debu								
	Kadar	-,478	,100	-1,769	-4,782	,000	,106	9,415	
	TNFa								
4	(Constant)	155,188	19,394		8,002	,000			
	Umur	-,747	,342	-,315	-2,185	,046	,687	1,456	
	Lama	-5,681	2,054	-,413	-2,765	,015	,642	1,558	
	Kerja								
	IMT	-,536	,589	-,118	-,910	,378	,855	1,170	
	Kadar	-3,300	1,262	-,964	-2,614	,020	,105	9,489	
	Debu								
	Kadar	-,469	,099	-1,735	-4,751	,000	,107	9,319	
	TNFa								
	5	(Constant)	146,770	16,950		8,659	,000		
		Umur	-,747	,340	-,315	-2,195	,044	,687	1,456

Lama Kerja	-6,103	1,990	-.444	-3,067	,008	,676	1,479
Kadar Debu	-3,652	1,194	-1,067	-3,058	,008	,116	8,595
Kadar TNFa	-.492	,095	-1,820	-5,184	,000	,115	8,711

a. Dependent Variable: %FVC

17. Hasil Uji Pengaruh Kadar Debu Batu Kali, Kadar TNF- α Serum dan Karakteristik Individu Terhadap Keluhan Pernapasan

```

REGRESSION
  /MISSING LISTWISE
  /STATISTICS COEFF OUTS R ANOVA COLLIN TOL
  /CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)
  /NOORIGIN
  /DEPENDENT Keluhan
  /METHOD=BACKWARD Umur Masa_Kerja Lama_Kerja IMT IB APD
  Kadar_Debu Kadar_TNFa
  /SCATTERPLOT=(*SDRESID ,*ZPRED)
  /RESIDUALS DURBIN HISTOGRAM(ZRESID) NORMPROB(ZRESID)
  /SAVE RESID.
    
```

Regression

Notes		
Output Created		18-JUL-2019 20:57:20
Comments		
Input	Active Dataset	DataSet0
	Filter	<none>
	Weight	<none>
	Split File	<none>
	N of Rows in Working Data File	20
Missing Value Handling	Definition of Missing	User-defined missing values are treated as missing.
	Cases Used	Statistics are based on cases with no missing values for any variable used.

Syntax	<pre> REGRESSION /MISSING LISTWISE /STATISTICS COEFF OUTS R ANOVA COLLIN TOL /CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10) /NOORIGIN /DEPENDENT Keluhan /METHOD=BACKWARD Umur Masa_Kerja Lama_Kerja IMT IB APD Kadar_Debu Kadar_TNFa /SCATTERPLOT=(*SDRESID ,*ZPRED) /RESIDUALS DURBIN HISTOGRAM(ZRESID) NORMPROB(ZRESID) /SAVE RESID. </pre>	
Resources	<p>Processor Time Elapsed Time Memory Required Additional Memory Required for Residual Plots</p>	<p>00:00:00,66 00:00:00,72</p>
Variables Created or Modified	RES 5	Unstandardized Residual

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Kadar TNFa, Masa Kerja, IMT, Lama Kerja, APD, IB, Umur, Kadar Debu ^b		Enter
2		IB	Backward (criterion: Probability of F-to-remove >= ,100).

3	Kadar Debu	Backward (criterion: Probability of F-to-remove >= ,100).
4	Lama Kerja	Backward (criterion: Probability of F-to-remove >= ,100).
5	IMT	Backward (criterion: Probability of F-to-remove >= ,100).
6	Masa Kerja	Backward (criterion: Probability of F-to-remove >= ,100).
7	Umur	Backward (criterion: Probability of F-to-remove >= ,100).

a. Dependent Variable: Keluhan Pemapasan

c. All requested variables entered.

Model Summary^a

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,942 ^a	,888	,807	10,96557
2	,941 ^b	,886	,819	10,59899
3	,940 ^c	,884	,831	10,26270
4	,929 ^d	,863	,814	10,75746
5	,915 ^e	,838	,794	11,30960
6	,904 ^f	,817	,783	11,61543
7	,892 ^g	,795	,771	11,94236

- a. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, Masa Kerja, IMT, Lama Kerja, APD, IB, Umur, Kadar Debu
- b. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, Masa Kerja, IMT, Lama Kerja, APD, Umur, Kadar Debu
- c. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, Masa Kerja, IMT, Lama Kerja, APD, Umur
- d. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, Masa Kerja, IMT, APD, Umur
- e. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, Masa Kerja, APD, Umur
- f. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, APD, Umur
- g. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, APD
- h. Dependent Variable: Keluhan Pemapasan

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	10500,519	8	1312,565	10,916	,000 ^b
	Residual	1322,681	11	120,244		
	Total	11823,200	19			
2	Regression	10475,136	7	1496,448	13,321	,000 ^c
	Residual	1348,064	12	112,339		
	Total	11823,200	19			
3	Regression	10454,000	6	1742,333	16,543	,000 ^d
	Residual	1369,200	13	105,323		
	Total	11823,200	19			
4	Regression	10203,078	5	2040,616	17,634	,000 ^e
	Residual	1620,122	14	115,723		
	Total	11823,200	19			
5	Regression	9904,595	4	2476,149	19,359	,000 ^f
	Residual	1918,605	15	127,907		
	Total	11823,200	19			
6	Regression	9664,509	3	3221,503	23,877	,000 ^g
	Residual	2158,691	16	134,918		
	Total	11823,200	19			
7	Regression	9398,660	2	4699,330	32,950	,000 ^h
	Residual	2424,540	17	142,620		
	Total	11823,200	19			

- a. Dependent Variable: Keluhan Pemapasan
- b. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, Masa Kerja, IMT, Lama Kerja, APD, IB, Umur, Kadar Debu
- c. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, Masa Kerja, IMT, Lama Kerja, APD, Umur, Kadar Debu

- d. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, Masa Kerja, IMT, Lama Kerja, APD, Umur
- e. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, Masa Kerja, IMT, APD, Umur
- f. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, Masa Kerja, APD, Umur
- g. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, APD, Umur
- h. Predictors: (Constant), Kadar TNFa, APD

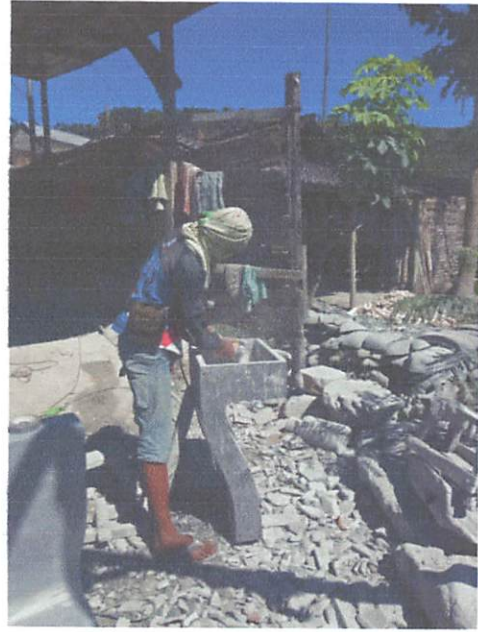
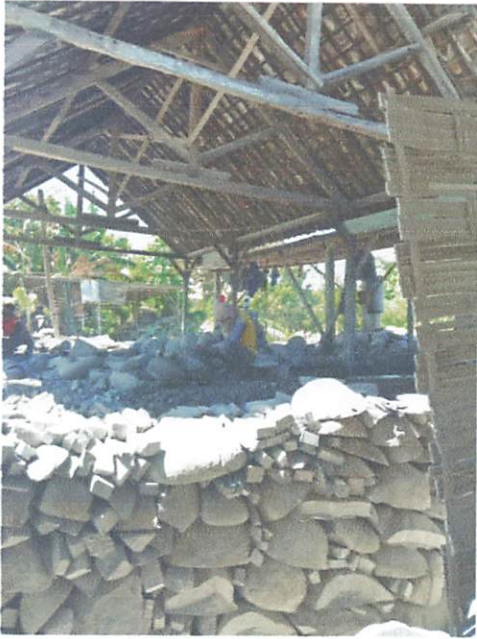
Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	-17,427	24,363		-,715	,489	
	Umur	1,490	,645	,504	2,308	,041	,213
	Masa Kerja	-1,298	,658	-,427	-1,972	,074	,217
	Lama Kerja	3,386	2,240	,197	1,512	,159	,596
	IMT	-1,369	,714	-,241	-1,917	,082	,643
	IB	-,012	,026	-,065	-,459	,655	,515
	APD	-7,645	3,283	-,279	-2,329	,040	,708
	Kadar Debu	-,655	1,345	-,153	-,487	,636	,102
	Kadar TNFa	,289	,113	,856	2,560	,026	,191
	(Constant)	-16,969	23,529		-,721	,485	
2	Umur	1,492	,624	,505	2,392	,034	,213
	Masa Kerja	-1,374	,616	-,452	-2,230	,046	,231
	Lama Kerja	3,195	2,127	,186	1,502	,159	,618
	IMT	-1,314	,680	-,232	-1,931	,077	,661
	APD	-7,433	3,142	-,271	-2,366	,036	,723
	Kadar Debu	-,557	1,283	-,130	-,434	,672	,105
	Kadar TNFa	,272	,103	,805	2,640	,022	,102
	(Constant)	-15,455	22,530		-,686	,505	
3	Umur	1,567	,580	,530	2,701	,018	,231
	Masa Kerja	-1,379	,596	-,454	-2,312	,038	,231
	Lama Kerja	2,715	1,759	,158	1,544	,147	,847
	IMT	-1,240	,638	-,218	-1,945	,074	,706
	APD	-7,490	3,040	-,273	-2,464	,028	,724
	Kadar TNFa	,230	,037	,683	6,226	,000	,741
	(Constant)	-,128	21,199		-,006	,995	
4	Umur	1,531	,608	,518	2,520	,024	,231
	Masa Kerja	-1,193	,612	-,392	-1,949	,072	,241

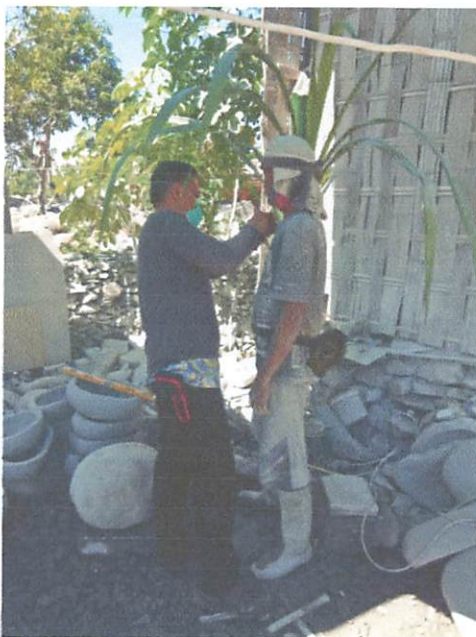
	IMT	-1,054	,656	-,186	-1,606	,131	,732	1,36
	APD	-6,843	3,156	-,250	-2,169	,048	,738	1,35
	Kadar TNFa	,230	,039	,683	5,943	,000	,741	1,34
	(Constant)	-20,021	18,087		-1,107	,286		
	Umur	1,113	,577	,377	1,929	,073	,283	3,52
5	Masa Kerja	-,814	,594	-,268	-1,370	,191	,283	3,52
	APD	-5,578	3,213	-,204	-1,736	,103	,787	1,27
	Kadar TNFa	,248	,039	,737	6,381	,000	,811	1,23
	(Constant)	-5,662	15,139		-,374	,713		
	Umur	,445	,317	,151	1,404	,180	,992	1,00
6	APD	-6,469	3,231	-,236	-2,002	,063	,820	1,21
	Kadar TNFa	,253	,040	,752	6,365	,000	,818	1,22
	(Constant)	10,486	10,118		1,036	,315		
7	APD	-6,616	3,320	-,241	-1,993	,063	,821	1,21
	Kadar TNFa	,257	,041	,762	6,290	,000	,821	1,21

a. Dependent Variable: Keluhan Pemapasan

Lampiran 10 Dokumentasi Penelitian



Proses Produksi Kerajinan Batu Kali



Pemasangan alat PDS



Pemeriksaan Spirometry



Penjelasan Prosedur Penelitian Kepada Responden



Proses Pengambilan Sampel Darah