



LAPORAN PENELITIAN DOSEN MUDA
TAHUN ANGGARAN 2001

SELESAI

**PENGARUH PAPARAN MEDAN ELEKTROMAGNETIK EXTREMELY
LOW FREQUENCY (ELF) TERHADAP STRUKTUR HISTOLOGI
PEMBULUH DARAH AORTA PADA TIKUS PUTIH**

3000216023141

MILIK
PERPUSTAKAAN
UNIVERSITAS AIRLANGGA
SURABAYA

Peneliti :

drh. WIWIK MISACO
Dr. BAMBANG SEKTIARI L.,DEA.,drh.
drh. BOEDI SETIAWAN

LEMBAGA PENELITIAN UNIVERSITAS AIRLANGGA

Dibiayai oleh : Bagian Proyek Peningkatan Kualitas Sumberdaya Manusia
DIP Nomor : 059/XXIII/1/--/2001 Tanggal 1 Januari 2001
Kontrak Nomor : 021/LIT/BPPK-SDM/III/2001
Ditjen Dikti, Depdiknas
Nomor Urut : 52

**FAKULTAS KEDOKTERAN HEWAN
UNIVERSITAS AIRLANGGA**

Nopember, 2001

LEMBAGA PENELITIAN



- | | | |
|---------------------------------------|--------------------------------------|---|
| 1. Pusat Pengembangan Regional | 5. Pusat Pengembangan Gizi (5995720) | 9. Pusat Kependudukan dan Pembangunan (5995719) |
| 2. Pusat Obat Tradisional | 6. Pusat/Studi Wanita (5995722) | |
| 3. Pusat Pengembangan Hukum (5923584) | 7. Pusat Olah Raga | 10. Pusat Kesehatan Reproduksi |
| 4. Pusat Lingkungan Hidup (5995718) | 8. Pusat Bioenergi | |

Kampus C Unair, Jl. Mulyorejo Surabaya 60115 Telp. (031) 5995246, 5995248, 5995247 Fax. (031) 5962066
E-mail : lpunair@rad.net.id - http://www.geocities.com/Athens/Olympus/6223

IDENTITAS DAN PENGESAHAN
LAPORAN AKHIR HASIL PENELITIAN DOSEN MUDA

1. a. Judul Penelitian : Pengaruh Paparan Medan Elektromagnetik
Extremely Low Frequency (ELF) Terhadap
Struktur Histologi Pembuluh Darah Aorta
Pada Tikus Putih
- b. Macam Penelitian : I
2. Kepala Proyek Penelitian
- a. Nama Lengkap dan Gelar : Wiwik Misaco, Drh.
- b. Jenis Kelamin : Perempuan
- c. Pangkat/Golongan dan NIP. : Penata muda/IIIa/132149441
- d. Jabatan Fungsional : Asisten Ahli
- e. Fakultas/Puslit/Jurusan : FKH/Klinik Veteriner
- f. Uni/Inst./Akademi/ST. : Universitas Airlangga
- g. Bidang Ilmu Yang Diteliti : Kesehatan
3. Jumlah Tim Peneliti : Boedi Setiawan, Drh.
Dr. Bambang Sektiari L., DEA., Drh.
4. Lokasi Penelitian : Kec. Tulangan Kabupaten Sidoarjo
Jawa Timur
5. Bila Penelitian merupakan peningkatan kerjasama kelembagaan sebutkan :
- a. Nama Instansi : -
- b. Alamat : -
6. Jangka Waktu Penelitian : 5 (Lima) bulan
7. Biaya Yang Diperlukan : Rp. 5.000.000,-
(Lima Juta Rupiah)

Surabaya, 28 Agustus 2001

Ketua Peneliti,

Wiwik Misaco, Drh.
NIP. 132149441

Mengetahui,
Dean Fakultas Kedokteran Hewan

Dr. Ismudiono, M.S., Drh.
NIP. 130 687 297

Menyetujui,
Ketua Lembaga Penelitian Unair,



Prof. Dr. H. Sarmanu, M.S.
NIP. 130 701 125

MILIK
PERPUSTAKAAN
UNIVERSITAS AIRLANGGA
SURABAYA

RINGKASAN PENELITIAN

Judul : PENGARUH PAPARAN MEDAN ELEKTROMAGNETIK
EXTREMELY LOW FREQUENCY (ELF) TERHADAP
STRUKTUR HISTOLOGI PEMBULUH DARAH AORTA
PADA TIKUS PUTIH

Ketua Peneliti : Wiwik Misaco Y.

Anggota Peneliti : Boedi Setiawan
Bambang Sektiari L.

Tahun Penulisan dan : 2001/ Halaman
Jumlah Halaman
Fakultas/Jurusan : Kedokteran Hewan/Klinik Veteriner
Universitas : Universitas Airlangga
Sumber Biaya : Proyek Peningkatan Kualitas Sumberdaya Manusia
DIP Nomor : 059/XXIII/--/2001 Tanggal 1 Januari 2001
Kontrak Nomor : 021/LIT/BPPK-SDM/III/2001
Dirjen Dikti. Depdiknas

Paparan medan elektromagnetik *ELF* di lingkungan yang timbul di sekitar konduktor arus tegangan tinggi adalah sesuatu yang sulit dihindari dan semakin meningkat seiring dengan peningkatan teknologi pemanfaatan peralatan berenergi listrik. Paparan yang didapatkan semakin tinggi terutama bagi masyarakat yang bermukim di bawah dan disekitar jaringan SUTET-500 kV. Paparan medan listrik dan medan magnetik gelombang elektromagnetik *ELF* pada jangka waktu yang cukup lama dapat menimbulkan perubahan-perubahan fisiologis antara lain; gangguan subjektif pada sistem cardiovascular.

Untuk mengetahui pengaruh paparan medan elektromagnetik *ELF* terhadap pembuluh darah maka dilakukan penelitian secara eksperimental pada tikus putih (*Rattus Norwegicus*) strain Wistar jantan yang dipaparkan medan elektromagnetik *ELF* secara in vivo di bawah SUTET- 500 kV.

Sebanyak 60 ekor tikus putih (*Rattus Norwegicus*) strain Wistar jantan, umur 8 minggu digunakan pada penelitian ini. Rancangan yang dipergunakan adalah rancangan acak lengkap pola faktorial (3x2) dengan 10 ulangan. Faktor pertama adalah intensitas paparan yakni : intensitas paparan tinggi (dalam kandang:1,162 kV, 1,167 μ T; luar kandang: 2,148 kV, 1,717 μ T); intensitas paparan sedang (dalam kandang : 0,638 kV, 1,529 μ T, luar kandang : 1,064 kV, 1,575 μ T); intensitas paparan alamiah (0,004 kV,

0,046 μ T). Faktor kedua adalah waktu paparan yakni 4 minggu dan 8 minggu. Pengamatan mikroskopik dilakukan terhadap diameter, ketebalan dinding, jumlah lapisan otot polos sirkuler dan lapisan elastin dari sediaan histologi aorta dengan menggunakan mikrometer retikularis.

Hasil penelitian menunjukkan adanya interaksi yang nyata ($P < 0,05$) antara intensitas dan waktu paparan terhadap jumlah lapisan otot polos sirkuler dari media. Pada paparan pada intensitas tinggi maupun sedang terjadi penurunan jumlah lapisan otot polos sirkuler media pembuluh darah secara nyata terjadi setelah 4 minggu paparan dan terus berlanjut hingga 8 minggu paparan. Penurunan jumlah otot ini juga disertai oleh menurunnya jumlah lapisan elastin setelah paparan 8 minggu ($P < 0,05$). Paparan medan elektromagnetik *ELF* Tidak berpengaruh terhadap Diameter dan ketebalan dinding pembuluh darah.

Dapat disimpulkan, bahwa paparan medan elektromagnetik *ELF* (SUTET - 500 kV) berpengaruh terhadap terjadinya modifikasi struktur histologi dari pembuluh darah aorta tikus putih yang mengalami 8 minggu paparan.

EXTREMELY LOW FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELD EFFECTS ON THE HISTOLOGIC PROPERTIES OF RAT AORTA.

There is increasing evidence that exposure to extremely low frequency electromagnetic fields (ELF-EMF) increase accompanied by elevated utility of electric equipments, especially the person living near power lines (SUTET-500 kV). The long exposure of ELF fields might affect the physiological modification and cardiovascular problems.

To understand the effects of ELF-EMF to the blood vessel wall, we examined the in vivo effects of ELF fields on the histologic properties of rat aorta.

A total of sixty white rats (*Rattus Norwegicus*), male, Wistar strain were used as experimental animals. A complete randomized factorial 3x2 design was used in the study. The first factor was the exposure intensity which consist of three sub factors. There were high exposure intensity (1,162 - 2,148 kV; 1,167 - 1,717 μ T), medium exposure intensity (0,638 - 1,064 kV; 1,529 - 1,575 μ T) and natural intensity (0,004 kV; 0,046 μ T). The second factor was the exposure duration (4 weeks and 8 weeks). Each histological section was viewed in a light microscope. The diameter and the vessel wall thicknesses were measured with reticule micrometer.

The results showed that the interaction between the exposure intensity and the exposure duration influenced smooth muscle layer numbers. The exposed groups showed a significant decrease in the smooth muscle layer numbers since 4 weeks ($P < 0,05$). The elastine layer numbers was decrease at 8 weeks ($P < 0,05$). No significant difference in diameter and vessel wall thicknesses was noted.

These findings suggest that exposure ELF-EMF could produce histologic alteration in the properties of rat aorta exposed until 8 weeks.

006 - 2501

17/6 '02

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan KaruniaNya sehingga penulisan laporan penelitian dapat terwujud. Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan penghargaan dan ucapan terimakasih yang setulus-tulusnya kepada :

1. Prof. Dr. Soedarto MPH, dr., Rektor Universitas Airlangga melalui Kepala Lembaga Penelitian Universitas Airlangga yang telah mengizinkan dan membiayai penelitian ini melalui sumber dana Proyek Peningkatan Kualitas Sumberdaya Manusia, Direktorat Jenderal Pendidikan tinggi, Departemen Pendidikan Nasional.
2. Dr. Ismudiono MS. Drh., Dekan Fakultas Kedokteran Hewan Universitas Airlangga yang telah mengizinkan penulis untuk melaksanakan penelitian.
3. Direktur GRAMIK Universitas Airlangga yang telah mengizinkan pemanfaatan fasilitas ada untuk terlaksananya penelitian.
4. Semua pihak yang telah membantu baik langsung maupun tidak langsung kelancaran penelitian.

Akhirnya dengan tulus penulis mengharapkan saran dan kritik demi kesempurnaan laporan penelitian ini.

Surabaya, 28 Agustus 2001

Penulis,

DAFTAR ISI

	HALAMAN
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR IDENTITAS DAN PENGESAHAN	ii
RINGKASAN DAN SUMMARY	iii
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GRAFIK	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Hipotesis Penelitian	5
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Medan Elektromagnetik <i>ELF</i>	6
2.1.1. Sumber Paparan Medan Elektromagnetik <i>ELF</i>	7
2.1.1.1. Sumber Paparan Medan Elektromagnetik <i>ELF</i> Alamiah	7
2.1.1.2. Sumber Paparan Medan Elektromagnetik <i>ELF</i> Buatan	7
2.1.2. Karakteristik Medan Magnit dan Medan Listrik	9

2.1.3. Interaksi Medan Listrik dan Medan Magnit Terhadap Materi Biologis	9
2.1.4. Batas Pemaparan Medan Listrik dan Medan Magnit Terhadap Kesehatan	11
2.2. Hasil Penelitian Epidemiologi Pengaruh Paparan Medan Elektromagnetik terhadap Kesehatan	13
2.3. Pengaruh Medan Elektromagnetik <i>ELF</i> terhadap Darah dan Pembuluh darah	14
BAB III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	17
3.1. Tujuan Umum	17
3.2. Tujuan Khusus	17
3.3. Manfaat Penelitian	17
BAB IV. METODE PENELITIAN	19
4.1. Desain Penelitian	19
4.2. Variabel	19
4.3. Sampel	19
4.4. Prosedur Pemaparan	20
4.5. Metode Pengambilan Data	21
4.5.1. Pengukuran Intensitas Medan Listrik dan Medan Magnit	21
4.5.2. Perlakuan Hewan Coba	21
4.5.3. Pemeriksaan Pembuluh Darah Aorta	21
4.6. Metode Analisis Data	22
BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN	23
BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN	33
BAB VII. DAFTAR PUSTAKA	34

DAFTAR TABEL

TABEL	HALAMAN
1. Nilai Rapat Arus dan Efek Biologis Yang Dapat Ditimbulkan	12
2. Batas Paparan Medan Listrik dan Medan Magnet 50/60 Hz	12
3. Intensitas Paparan Medan Listrik	24
4. Intensitas Paparan Medan Magnet	24
5. Pengaruh Lama dan Intensitas Paparan Gelombang Elektromagnetik <i>ELF</i> (SUTET-500 kV) Terhadap Jumlah Lapisan Otot Polos Sirkuler Pembuluh Darah Aorta Tikus Putih	26
6. Pengaruh Lama dan Intensitas Paparan Gelombang Elektromagnetik <i>ELF</i> (SUTET-500 kV) Terhadap Jumlah Lapisan Elastin Pembuluh Darah Aorta Tikus Putih	27
7. Pengaruh Lama dan Intensitas Paparan Gelombang Elektromagnetik <i>ELF</i> (SUTET-500 kV) Terhadap Ketebalan Dinding Pembuluh Darah Aorta Tikus Putih (μm).....	29
8. Pengaruh Lama dan Intensitas Paparan Gelombang Elektromagnetik <i>ELF</i> (SUTET-500 kV) Terhadap Diameter Pembuluh Darah Aorta Tikus Putih ($0,5 \times 10^3 \mu\text{m}$).....	31

DAFTAR GRAFIK

GRAFIK		HALAMAN
1.	Pengaruh Lama dan Intensitas Paparan Gelombang Elektromagnetik <i>ELF</i> (SUTET-500 kV) Terhadap Jumlah Lapisan Otot Polos Sirkuler Pembuluh Darah Aorta Tikus Putih	26
2.	Pengaruh Lama dan Intensitas Paparan Gelombang Elektromagnetik <i>ELF</i> (SUTET-500 kV) Terhadap Jumlah Lapisan Elastin Pada Pembuluh Darah Aorta Tikus Putih	27
3.	Pengaruh Lama dan Intensitas Paparan Gelombang Elektromagnetik <i>ELF</i> (SUTET-500 kV) Terhadap Ketebalan Dinding Pembuluh Darah Aorta Tikus Putih (μm)	30
4.	Pengaruh Lama dan Intensitas Paparan Gelombang Elektromagnetik <i>ELF</i> (SUTET-500 kV) Terhadap Diameter Pembuluh Darah Aorta Tikus Putih ($\times 0,5 \cdot 10^3 \mu\text{m}$)	32

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN

1. Gambar Hasil Pewarnaan HE, PAS dan Orcein Dari Pembuluh Darah Aorta Tikus Putih Setelah 8 Minggu Paparan Pada Intensitas Paparan tinggi.
2. Data hasil Penelitian Pengaruh Lama dan Intensitas Paparan Gelombang Elektromagnetik *ELF* (SUTET-500 kV) Terhadap Pembuluh Darah Aorta Tikus Putih.
3. Analisis Statistik dari Data Penelitian tentang Pengaruh Lama dan Intensitas Paparan Gelombang Elektromagnetik *ELF* (SUTET-500 kV) Terhadap Pembuluh Darah Aorta Tikus Putih.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Gelombang Elektromagnetik *Extremely low frequency (ELF)* merupakan spektrum gelombang elektromagnetik dengan frekuensi yang kurang atau sama dengan 300 Hz (Ackerman et al., 1979). Muatan Listrik yang bergerak secara osilasi sebagaimana arus listrik bolak-balik (*AC = Alternating current*) pada saluran transmisi milik PLN yang berupa Saluran Udara Tegangan Esktra Tinggi - 500 kV (SUTET-500kV) menghasilkan gelombang elektromagnetik ELF karena memiliki frekuensi 50 Hz (Grotel et al., 1992).

Paparan medan elektromagnetik *ELF* di lingkungan yang timbul di sekitar konduktor arus tegangan tinggi adalah sesuatu yang sulit dihindari dan semakin meningkat seiring dengan peningkatan teknologi pemanfaatan peralatan berenergi listrik. Paparan yang didapatkan semakin tinggi terutama bagi masyarakat yang bermukim di bawah dan disekitar jaringan SUTET-500kV. Hasil Pengukuran intensitas medan listrik dan medan magnet di pemukiman penduduk yang bertempat tinggal di bawah jaringan SUTET-500 kV menunjukkan adanya intensitas yang jauh lebih besar dibandingkan intensitas medan elektromagnetik alamiah yakni 21 kali lipat intensitas medan listrik alamiah dan 8 kali lipat intensitas medan magnet alamiah (Sektiani dan Sudarti, 2001). Intensitas Paparan ini sebetulnya masih di bawah nilai ambang batas yang ditetapkan WHO (yakni 5kV untuk medan listrik dan 100 uT untuk medan magnet) namun beberapa peneliti melaporkan efek negatif dari



paparan medan elektromagnetik dengan intensitas dibawah nilai ambang yang telah ditetapkan oleh WHO tersebut.

Walaupun tidak menimbulkan kerusakan secara fisik pada individu hidup namun paparan medan listrik dan medan magnetik gelombang elektromagnetik *ELF* pada jangka waktu yang cukup lama dapat menimbulkan perubahan-perubahan fisiologis yang ditunjukkan dengan adanya keluhan-keluhan antara lain : sakit kepala, suka gemetar, sulit tidur, pelupa, dan depresi (Asanova dan Rakov, 1966; WHO, 1984; Amsyari, 1997).

Perubahan fisiologis karena paparan medan elektromagnetik *ELF* dapat terjadi karena organ dan jaringan tersusun dari molekul polar, non polar maupun cairan biologis yang mengandung ion dan molekul yang terlarut di dalamnya. Di bawah pengaruh medan elektromagnetik, molekul dan ion-ion menerima gaya listrik dan gaya magnet sehingga menghasilkan arus listrik dan kalor pada sel-sel tertentu dan hal ini dapat menimbulkan modifikasi morfofungsional pada sel tersebut (Cember, 1969; WHO, 1989; Shimizu et al., 1995). Setiap jenis sel memiliki sensitifitas yang berbeda terhadap paparan medan elektromagnetik *ELF*. Sel yang diproduksi dan berproliferasi secara cepat memiliki sensitifitas yang tinggi. Sel-sel tersebut antara lain sel gamet, sel epitel, sel-sel darah, sel-sel mieloid dan sel eritroid (Tynes et al., 1994; Feychting dan Ahlbom, 1995; Wisnu, 1996).

Hasil penelitian secara *in vitro* menunjukkan bahwa paparan medan elektromagnetik *ELF* dapat mempengaruhi konduktifitas membran sel dan jika paparan terjadi cukup lama maka akan terjadi perubahan yang meliputi *signal transduction, gene expression, cell proliferation dan intercelluler communication* (Shimizu et al., 1995; Huuskonen et al., 1998). Paparan medan elektromagnetik *ELF*

akan meningkatkan influx dan distribusi ion Ca^{2+} dan aktivasi Ca^{2+} intra seluler (Grotel et al., 1992; Kim et al., 1998).

Studi epidemiologi menunjukkan adanya pengaruh paparan medan elektromagnetik *ELF* terhadap meningkatnya risiko kejadian beberapa jenis penyakit. Sobel et al. (1995) melaporkan bahwa medan elektromagnetik *ELF* berpengaruh terhadap timbulnya penyakit *Alzheimer*. Para pekerja pembangunan rel kereta api yang terpapar medan elektromagnetik *ELF* memiliki immunitas yang rendah serta 2 hingga 5 kali lebih berisiko terkena gangguan syaraf di bandingkan pekerja yang tidak terpapar (Savitz et al., 1998). Penduduk yang bermukim di bawah jaringan transmisi memiliki risiko terkena tumor otak 1,5 hingga 3 kali lipat (Loomis et al., 1998). Waterberg (1998) dan Bride et al. (1999) melaporkan peningkatan risiko leukemia pada anak-anak yang terpapar walaupun Huuskonen et al. (1998) dan Kheifets et al. (1999) masih meragukan bahwa paparan medan elektromagnetik *ELF* sebagai faktor penyebab utama.

Paparan medan elektromagnetik *ELF* dapat menimbulkan adanya gangguan subjektif pada sistem kardiovaskuler berupa peningkatan pulsus, peningkatan tekanan darah, sukar berkonsentrasi, sulit tidur dan keluhan nyeri kepala (Asanova dan Rakov, 1966; Amsyari, 1997). Savitz et al. (1998) menyatakan bahwa individu yang terpapar memiliki risiko mengalami sklerosis yang lebih tinggi. Paparan medan elektromagnetik *ELF* dengan intensitas $50 \mu\text{T}$ menyebabkan gangguan hemopoisis dengan penurunan jumlah eritrosit dan lekosit pada hari ke-20 namun pulih kembali setelah hari ke-43 (Reipert et al., 1997), sedangkan Sektiari dan Sudarti (2001) menyatakan bahwa tidak terjadi peningkatan risiko anemia regeneratif pada individu yang tinggal di bawah SUTET-500kV.

Adanya gangguan subjektif pada sistem kardiovaskuler, peningkatan pulsus arterial, peningkatan frekuensi jantung maupun sklerosis akibat paparan medan elektromagnetik *ELF* dapat disebabkan oleh adanya gangguan fungsi jantung maupun perubahan struktur dan fungsi pembuluh darah. Meningkatnya influx dan distribusi ion Ca^{2+} , aktivasi Ca^{2+} intra seluler serta terjadinya perubahan hemodinamik pada pembuluh darah dapat menyebabkan modifikasi dinding pembuluh darah dengan perubahan fungsi endothelium (Davies dan Tripathi, 1993), penebalan lapisan media karena hipertrofi dan hiperplasia otot polos (Berry dan Henrichs, 1982; Levy et al., 1988) dan sekresi matriks ekstraseluler oleh otot polos (Tedgui dan Levy, 1995).

Berdasarkan uraian di atas, untuk mengetahui pengaruh paparan medan elektromagnetik *ELF* terhadap pembuluh darah maka dilakukan penelitian secara eksperimental pada tikus putih (*Rattus Norvegicus*) strain *Wistar* jantan yang dipaparkan medan elektromagnetik *ELF* secara *in vivo* di bawah SUTET- 500 kV

1.2. Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan tersebut maka dapat disusun suatu rumusan masalah sebagai berikut :

1. Apakah intensitas paparan medan elektromagnetik *ELF* (SUTET-500 kV) berpengaruh terhadap integritas endothelium, jumlah otot polos sirkuler, jumlah lapisan elastin, ketebalan dinding dan diameter pembuluh darah aorta?
2. Apakah lama paparan medan elektromagnetik *ELF* (SUTET-500 kV) berpengaruh terhadap integritas endothelium, jumlah otot polos sirkuler, jumlah lapisan elastin, ketebalan dinding dan diameter pembuluh darah aorta?

3. Apakah interaksi intensitas dan lama paparan medan elektromagnetik *ELF* (SUTET-500 kV) berpengaruh terhadap integritas endothelium, jumlah otot polos sirkuler, jumlah lapisan elastin, ketebalan dinding dan diameter pembuluh darah aorta?

1.3. Hipotesis Penelitian

Hipotesis penelitian yang diajukan adalah sebagai berikut :

1. Intensitas paparan medan elektromagnetik *ELF* (SUTET-500 kV) berpengaruh terhadap integritas endothelium, jumlah otot polos sirkuler, jumlah lapisan elastin, ketebalan dinding dan diameter pembuluh darah aorta?
2. Lama paparan medan elektromagnetik *ELF* (SUTET-500 kV) berpengaruh terhadap integritas endothelium, jumlah otot polos sirkuler, jumlah lapisan elastin, ketebalan dinding dan diameter pembuluh darah aorta?
3. Interaksi intensitas dan lama paparan medan elektromagnetik *ELF* (SUTET-500 kV) berpengaruh terhadap integritas endothelium, jumlah otot polos sirkuler, jumlah lapisan elastin, ketebalan dinding dan diameter pembuluh darah aorta?

BAB II

TINJUAN PUSTAKA

2.1. Medan Elektromagnetik *Extremely Low Frequency (ELF)*

Berdasarkan teori medan elektromagnetik, bahwa di sekitar kawat konduktor yang dialiri arus akan timbul medan magnet, jika arus yang mengalir adalah arus bolak-balik (*AC = alternating current*) maka di sekitar kawat konduktor tersebut akan timbul rambatan gelombang elektromagnetik yang terdiri dari komponen medan listrik dan medan magnet. Energi yang ditransmisikan melalui saluran transmisi dari sumber daya PLN adalah berupa gelombang tegangan listrik bolak-balik yang merambatkan arus *AC* melalui kawat konduktor dengan frekuensi 50 Hz atau 60 Hz, sehingga konduktor pada jaringan transmisi PLN merupakan sumber paparan medan elektromagnetik.

Radiasi yang dihasilkan oleh muatan yang bergerak osilasi, seperti arus *AC* pada konduktor dari sumber PLN tersebut adalah tergolong radiasi tidak mengion dan dalam spektrum gelombang elektromagnetik berada pada frekuensi sangat rendah yaitu kurang dari 300 Hz dan disebut sebagai gelombang elektromagnetik frekuensi amat sangat rendah (*extremely low frequency*) (Grotel et al., 1992).

Berdasarkan uraian di atas, maka dapat disimpulkan bahwa medan elektromagnetik *ELF* merupakan spektrum medan elektromagnetik pada frekuensi amat sangat rendah yaitu 300 Hz ke bawah. Medan ini terdiri dari komponen medan listrik dan medan magnet dan umumnya dihasilkan di sekitar aliran arus listrik *AC* pada suatu konduktor dan termasuk radiasi non – ionising.

2.1.1. Sumber Paparan Medan Elektromagnetik *ELF*

2.1.1.1 Sumber paparan medan elektromagnetik *ELF* alamiah

Pada dasarnya kita telah terpapar medan elektromagnetik *ELF* secara alamiah. Intensitas paparan medan elektromagnetik *ELF* alamiah yang dihasilkan oleh bumi rata – rata 10^{-4} V/m untuk medan listrik dan 10^{-6} mikro tesla (μT) untuk medan magnet. Secara kumulatif intensitas medan listrik di permukaan bumi rata – rata 130 V/m dan intensitas medan magnet rata- rata 50 μT (WHO, 1984). Pada intensitas medan elektromagnetik alamiah tersebut, proses kehidupan berlangsung secara alamiah dan tidak menimbulkan gangguan.

2.1.1.2 Sumber paparan medan elektromagnetik *ELF* buatan

a. Sumber paparan medan elektromagnetik *ELF* dalam rumah tangga

Seiring dengan perkembangan teknologi pemanfaatan peralatan berenergi listrik dalam kehidupan, tentunya paparan medan elektromagnetik *ELF* di lingkungan semakin meningkat.

Pengukuran intensitas medan listrik *ELF* yang dilakukan pada jarak 30 cm dari beberapa peralatan rumah tangga, mendapatkan nilai yang bervariasi antara 2 V/m sampai 5 V/m, sedangkan intensitas medan listrik di dalam rumah tangga di Amerika, berkisar antara 1 – 10 V/m (WHO, 1984).

b. Sumber paparan medan elektromagnetik *ELF* oleh SUTET-500 kV di lingkungan

Sumber paparan medan elektromagnetik *ELF* yang dicurigai berperan sangat tinggi meningkatkan intensitas paparan medan elektromagnetik *ELF* di lingkungan salah satunya adalah saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET)-500 kV.

Hasil pengukuran intensitas medan listrik dan medan magnet di pemukiman penduduk yang bertempat tinggal di bawah jaringan SUTET-500 kV di Kecamatan Tulangan, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur, menunjukkan bahwa intensitas paparan medan listrik di bawah jaringan SUTET-500 kV mencapai 21 kali dan medan magnet mencapai 8 kali lebih tinggi dibandingkan dengan daerah kontrol. Di halaman rumah pada ketinggian 1,5 m dari tanah intensitas maksimum untuk medan listrik adalah 3,5 kV/m dan medan magnet 2,1 μT (Sudarti, 1998).

Lee pada tahun 1982, telah melakukan pengukuran medan magnet pada jarak 1 m di atas permukaan tanah di bawah jaringan SUTET-500 kV yang menunjukkan angka sebesar 35 μT dan pengukuran pada jarak 60 m arah horisontal ke kiri maupun ke kanan kurang dari 5 μT . Selanjutnya pengukuran medan listrik oleh Scheneider pada tahun 1988 tepat di bawah jaringan transmisi tegangan ekstra tinggi 380 kV menunjukkan angka sebesar 5,5 kV/m dan pada jarak 20 m ke arah horisontal terjadi penurunan mencapai 4 kV/m (WHO, 1989).

Berdasarkan uraian di atas dapat disimpulkan bahwa radiasi medan elektromagnetik *ELF* di sekitar SUTET-500 kV memberikan peningkatan intensitas medan listrik maupun medan magnet di sekitarnya, sehingga penduduk yang bertempat tinggal di bawah SUTET-500 kV akan terpapar medan listrik dan medan magnet *ELF* pada intensitas lebih tinggi daripada masyarakat umumnya.

2.1.2 Karakteristik Medan Listrik Dan Medan Magnet

Medan listrik bersifat terhalangi, artinya intensitas medan listrik akan mengalami penurunan jika terhalangi suatu benda. Intensitas medan listrik di bawah jaringan transmisi tegangan tinggi akan mengalami penurunan intensitas sampai kira-kira 10 – 100 kali lebih rendah oleh penghalang atap rumah penduduk dan tergantung pada jenis dan struktur penghalang. Intensitas medan listrik juga mengalami penurunan secara kuadrat terhadap jarak dari sumber paparan (WHO, 1989).

Berbeda dengan medan listrik, medan magnet bersifat tidak terhalangi dan mampu menembus benda penghalang seperti genting, tembok bangunan, pepohonan maupun tubuh manusia dan akan mengalami penurunan secara linier terhadap jarak dari sumber paparan (Grotel et al., 1992).

2.1.3 Interaksi Medan Listrik dan Medan Magnet Terhadap Materi Biologis

Organ dan jaringan tubuh terdiri dari sel yang pada dasarnya terdiri dari molekul polar, cairan biologis yang mengandung ion-ion elektrolit dan makromolekul yang mudah larut. Di bawah pengaruh medan listrik, ion-ion akan mendapatkan gaya listrik (F) yang besarnya sebanding dengan hasil kali intensitas medan listrik dan jumlah muatan (Cember, 1969).

$$F = q \cdot E$$

F = gaya listrik (Newton)

q = jumlah muatan (Coulomb)

E = intensitas (kuat) medan listrik (volt/meter)

Gaya yang ditimbulkan oleh medan listrik tersebut dapat menyebabkan muatan ion-ion elektrolit bergerak. Jika tubuh berhubungan langsung dengan tanah, maka gerakan muatan (ion) dalam tubuh akan menghasilkan arus listrik. Jika tubuh terisolasi terhadap tanah, potensial akan meningkat dan besarnya tergantung pada kapasitas terhadap tanah, potensial akan meningkat dan besarnya tergantung pada kapasitas terhadap tanah. Berdasarkan teori Faraday bahwa adanya medan magnet yang berubah terhadap waktu dapat menimbulkan medan listrik induksi dan dapat menimbulkan aliran arus listrik di dalam suatu bahan atau jaringan biologis. Sementara menurut Grotel et al. (1992), menyatakan bahwa medan elektromagnetik *ELF* dapat menimbulkan arus lemah pada jaringan dan dapat menimbulkan kalor yang lebih kecil daripada kalor yang dihasilkan oleh sel-sel tubuh, kondisi tersebut terbukti berpengaruh terhadap konduktivitas membran sel (Shimizu et al., 1995).

Sementara Narita K et al. (1997), melaporkan bahwa energi kalor yang ditimbulkan oleh karena paparan medan magnet *ELF* dalam sel tidak berpengaruh terhadap perubahan fungsi sel, sehingga efek biologis yang ditimbulkan oleh paparan medan elektromagnetik *ELF* disebut sebagai efek non thermal.

2.1.4. Batas Paparan Medan Listrik dan Medan Magnet Terhadap Kesehatan

Menurut *International Non Ionizing Radiation Committee (INIRC)* dari *International Radiation Protection Association (IRPA)*, nilai medan listrik dan medan magnet yang merupakan ciri kondisi paparan tidak terganggu adalah medan yang ada bila semua benda dihilangkan.

United Nation Environmental Programme (UNEP), *World Health Organization (WHO)* dan *IRPA* pada tahun 1989 mengeluarkan suatu pernyataan tentang nilai rapat arus induksi dengan efek biologisnya yang ditimbulkan oleh paparan medan 50/60 Hz pada seluruh tubuh disajikan dalam tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Nilai Rapat Arus dan Efek Biologis Yang Dapat Ditimbulkan

No	Nilai Rapat Arus (mA/m ²)	Efek Biologis Yang Dapat Ditimbulkan
1.	1 – 10	Tidak menimbulkan efek biologis yang berarti
2.	10 – 100	Menimbulkan efek biologis yang terbukti, termasuk efek pada sistem penglihatan dan syaraf
3.	100 – 1000	Menimbulkan stimulasi pada jaringan yang dapat dirangsang dan ada kemungkinan bahaya terhadap kesehatan
4.	> 1000	Dapat menimbulkan ekstrasistole, dan fibrasi ventrikuler dari jantung (bahaya akut dari kesehatan)

Tabel 2. Batas Paparan Medan Listrik dan Medan Magnet 50/60 Hz

No.	Paparan Untuk	Intensitas Medan Listrik (kV/m)	Intensitas Medan Magnet (μ T)
1.	Kelompok Petugas : - sepanjang hari kerja - jangka pendek	10 30*	0,5 5**
2.	Kelompok Umum : - sampai 24 jam / hari - beberapa jam / hari	5 10	0,1 1

(Sumber : WHO,1989)



* = lamanya paparan pada medan-medan antara 10 dan 30 kV/m harus dihitung dari

rumus $t < 80 / E$, t = waktu (jam / hari kerja)

E = kuat medan (kV/m)

** = lama paparan maksimum 2 jam /hari.

2.2 Hasil Penelitian Epidemiologi Pengaruh Paparan Medan Elektromagnetik *ELF* Terhadap Kesehatan

Hasil penelitian epidemiologi yang dilaporkan sampai saat ini menunjukkan adanya korelasi antara paparan elektromagnetik *ELF* dan insiden beberapa kanker khususnya leukemia pada anak-anak, yang sampai saat ini masih kontradiktif. Hasil penelitian Asanova dan Rakov pada 1966 terhadap 45 pekerja pada sambungan kereta api listrik menunjukkan adanya berbagai gangguan subyektif pada kardiovaskuler, saluran pencernaan, gangguan tidur, keluhan sakit kepala dan menurunnya potensi seksual. Namun pada penelitian ini tidak ada kelompok kontrol (WHO, 1984). Selanjutnya dilaporkan bahwa ada hubungan antara medan listrik dan medan magnet dengan timbulnya leukemia dan kanker otak (Hardell et al., 1996). Reiter (1994), menyatakan bahwa paparan medan listrik dan medan magnet dapat menunjukkan adanya reaksi promotor terhadap tumor kelenjar susu, kulit dan hati. Hasil studi case-kontrol terhadap para penjahit yang terpapar medan magnet 1 – 10 uT selama kurang lebih 11 tahun, menunjukkan adanya asosiasi antara paparan medan elektromagnetik *ELF* dengan penyakit kepikunan (*Alzheimer,s disease*) dengan OR = 3,0 (IK – 95% = 1,6 – 5,4) (Sobel et al., 1995).

Jelas bahwa secara etiologi ada kemungkinan relevansi antara paparan medan elektromagnetik *ELF* karena secara biologis medan elektromagnetik *ELF* berpengaruh terhadap homeostasis Ca dan mengaktivasi sel imunokompeten secara tepat seperti pada sel mikrogial dapat menimbulkan kemunduran fungsi syaraf. Savitz (1998), melaporkan bahwa para pekerja yang terpapar medan elektromagnetik *ELF* mempunyai kemungkinan memiliki imunitas rendah dan risiko terkena penyakit neurologi 2 – 5 kali lebih tinggi dibanding pekerja secara umum. Paparan medan elektromagnetik *ELF* oleh SUTET (> 250 kV) pada masyarakat dapat meningkatkan risiko tumor otak dengan rate-rasio 1,5 –3,0 (Loomis et al., 1998). Berdasarkan penelitian secara *case-control* yang dilakukan oleh Rodval et al. (1998) disinyalir bahwa paparan medan magnet kemungkinan berperan pada perkembangan tumor otak.

Di lain pihak Huuskonen et al. (1998) dan Kheifets et al. (1999), masih meragukan bahwa medan elektromagnetik sebagai faktor penyebabnya. Hal ini juga ditegaskan oleh Bride et al. (1999), yang melaporkan bahwa tidak ada hubungan antara paparan medan magnet dengan risiko leukemia pada anak-anak maupun harapan hidup pada masyarakat yang bertempat tinggal di bawah jaringan transmisi tegangan tinggi.

Tampak bahwa hasil penelitian epidemiologi yang dilaporkan sampai saat ini masih kontradiktif, sehingga masih perlu dilakukan pembuktian secara eksperimental agar dapat memberikan penjelasan secara mendasar tentang mekanisme yang terjadi.

2.3. Pengaruh Paparan Medan Elektromagnetik *ELF* Terhadap Darah dan Pembuluh Darah

Hasil penelitian secara *in vitro* menunjukkan bahwa paparan medan elektromagnetik *ELF* dapat mempengaruhi konduktivitas membran sel, jika paparan terjadi dalam waktu yang cukup lama maka akan menyebabkan modifikasi proses seluler yang dapat berupa modifikasi transduksi sinyal, ekspresi gen, proliferasi sel dan komunikasi intrasel (Shimizu et al., 1995; Huuskonen et al., 1998).

Paparan medan elektromagnetik *ELF* dengan intensitas 50 μ T menyebabkan terjadinya penurunan jumlah eritrosit dan leukosit setelah 20 hari paparan namun pulih kembali setelah 43 hari paparan (Reipert et al., 1997). Dari hasil penelitian epidemiologi didapatkan adanya peningkatan risiko kejadian leukemia pada individu yang terpapar (Feycting dan Ahlbom, 1995). Peningkatan kejadian leukemia diduga berhubungan dengan proses apoptosis di *Multipotent haemopoietic progenitor cell* yang mengalami peningkatan akibat paparan medan elektromagnetik *ELF* (Reipert, 1997; Narita et al., 1997). Proses mitosis dan aktifitas fagositosis dari makrofag mengalami penurunan dan terjadi peningkatan apoptosis pada sel thymus dan limfosit T pada paparan medan magnet dengan intensitas (0,025 - 0,15 T). Paparan medan elektro magnetik menyebabkan modifikasi dari ekspresi reseptor CD4, CD8, CD14 dan CD16 dari sel mononuklear darah perifer (Murthy et al., 1995; Conti et al., 1999; Felaco et al., 1999).

Adanya modifikasi morfofungsional, ekspresi reseptor-reseptor tertentu pada membran sel serta meningkatnya apoptosis terutama disebabkan oleh perubahan konduktivitas membran, meningkatnya regulasi Ca^{2+} intra seluler akibat paparan medan elektromagnetik *ELF*. Pada pembuluh darah, pengaruh paparan medan elektromagnetik *ELF* nampak dengan adanya gangguan subjektif pada sistem

kardiovaskuler berupa hipertensi, peningkatan pulsasi arterial, peningkatan frekuensi jantung maupun sklerosis (Amsyari, 1997; Savitz et al. 1998).

Pada endothelium pembuluh darah, perubahan konduktivitas membran serta terbukanya kanal calcium dan meningkatnya regulasi Ca^{2+} intra seluler dan menyebabkan terjadinya hiperpolarisasi membran sel endotel sehingga terjadi aktifasi kanal kalium yang menyebabkan gangguan hemopoiesis, meningkatnya permeabilitas terhadap makromolekul dan meningkatnya kandungan mikrofibril actin dan myosin dan terjadinya modifikasi fungsi sekretorik endothel (Charara et al., 1993; Davies dan Tripathi, 1993; Tedgui dan Levy, 1995; Jensen et al., 1999). Sedangkan perubahan pada otot polos pembuluh darah dapat berupa meningkatnya massa seluler yang dapat bersifat atrofi, hipertrofi maupun hiperplasia. Meningkatnya sintesis dan sekresi matrik ekstraseluler terutama elastin dan kolagen serta disekresinya protein konstitutif antara lain: fibronectin, glycosaminoglican, integrin dan cadherins yang dapat mempengaruhi proliferasi sel otot polos (Davies dan Tripathi, 1993; Tedgui dan Levy, 1995)

BAB III

TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1. Tujuan umum

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh medan elektromagnetik *ELF* (SUTET-500 kV) terhadap pembuluh darah arterial pada tikus putih

3.2. Tujuan khusus

1. Membuktikan ada tidaknya pengaruh intensitas paparan medan elektromagnetik *ELF* (SUTET-500 kV) terhadap integritas endothelium, jumlah otot polos sirkuler, jumlah lapisan elastin, ketebalan dinding dan diameter pembuluh darah aorta?
2. Membuktikan ada tidaknya pengaruh lama paparan medan elektromagnetik *ELF* (SUTET-500 kV) terhadap integritas endothelium, jumlah otot polos sirkuler, jumlah lapisan elastin, ketebalan dinding dan diameter pembuluh darah aorta
3. Membuktikan ada tidaknya pengaruh interaksi intensitas dan lama paparan medan elektromagnetik *ELF* (SUTET-500 kV) terhadap integritas endothelium, jumlah otot polos sirkuler, jumlah lapisan elastin, ketebalan dinding dan diameter pembuluh darah aorta

3.3. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat berupa :

1. Memberikan penjelasan secara ilmiah pengaruh paparan medan elektromagnetik *ELF* (SUTET-500 kV) terhadap struktur histologi pembuluh darah arterial pada tikus putih
2. Terdapatnya data awal untuk penelitian tingkat seluler dan molekuler tentang pengaruh paparan medan elektromagnetik *ELF* (SUTET-500 kV) terhadap pembuluh darah.
3. Sebagai landasan dalam melakukan langkah-langkah proteksi terhadap radiasi non-ionizing medan elektromagnetik *ELF* (SUTET-500 kV) di lingkungan.
4. Sebagai landasan pemanfaatan medan elektromagnetik dalam bidang medis.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Desain Penelitian

Penelitian ini adalah penelitian eksperimen yang dilaksanakan di kecamatan Tulangan Kabupaten Sidoarjo mulai Bulan Mei hingga September 2001 dengan menggunakan hewan coba (tikus putih) *Rattus norwegicus* Strain *Wistar* jantan yang secara *in vivo* dipaparkan pada medan elektromagnetik *ELF* di bawah jaringan SUTET-500 kV. Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap pola faktorial (3 x 2) dengan 10 ulangan. Faktor pertama adalah intensitas paparan (intensitas tinggi, sedang dan alamiah) dan faktor ke dua adalah lama paparan yaitu selama 4 minggu dan 8 minggu.

4.2 Variabel

Variabel dalam penelitian ini meliputi:

- a. Variabel independen adalah intensitas paparan (tinggi, sedang, dan alamiah) dan lama paparan (4 minggu dan 8 minggu).
- b. Variabel dependen adalah :
 - Jumlah otot polos sirkuler
 - Jumlah lapisan elastin
 - Tebal dinding aorta
 - Diameter aorta

4.3 Sampel

Sampel dalam penelitian ini adalah tikus putih (*Rattus Norwegicus*) Strain *Wistar* jantan berumur 8 minggu, dengan jumlah sampel 60 ekor yang ditentukan secara random.

4.4 Prosedur Pemaparan

Jumlah sampel dalam penelitian ini (60 ekor) dikelompokkan dalam tiga kandang paparan dan dipaparkan pada intensitas medan listrik dan medan magnet yang berbeda dibandingkan dengan kontrol sebagai berikut :

a. Kandang I (paparan tinggi)

20 ekor dipaparkan pada intensitas medan elektromagnetik rata-rata di dalam kandang (1,1620 kV/m ; 1,6693 uT) dan di halaman kandang (2,1480 kV/m ; 1,7168 uT).

b. Kandang II (paparan sedang)

20 ekor dipaparkan pada intensitas medan elektromagnetik rata-rata di dalam kandang (0,638 kV/m ; 1,5290 uT) dan di halaman kandang (1,0640 kV/m ; 1,5748 uT).

c. Kandang III (kontrol)

20 ekor dipaparkan pada medan elektromagnetik alamiah dengan intensitas rata-rata (0,00423 kV/m ; 0,004625 uT).

Pemaparan dilakukan selama 4 minggu (29 hari) dan 8 minggu (57 hari), dengan masing-masing 10 jam paparan/hari, sehingga berdasarkan intensitas dan lama paparan tersebut maka perlakuan tersebut dapat dikelompokkan dalam 6 kelompok yaitu :

- a. kelompok terpapar tinggi dengan lama paparan 4 minggu
- b. kelompok terpapar tinggi dengan lama paparan 8 minggu
- c. kelompok terpapar sedang dengan lama paparan 4 minggu
- d. kelompok terpapar sedang dengan lama paparan 8 minggu
- e. kelompok kontrol (paparan alamiah) 4 minggu

- f. kelompok kontrol (paparan alamiah) 8 minggu

4.5 Metode Pengambilan Data

Data dalam penelitian ini meliputi data paparan (intensitas dan lama paparan) dan perubahan yang terjadi pada pembuluh darah aorta (jumlah elastin, otot polos sirkuler, ketebalan dan diameter).

4.5.1 Pengukuran Intensitas Medan Listrik dan Medan Magnet

Pengukuran intensitas dan lama paparan medan listrik dan medan magnet dilakukan dengan menggunakan alat ukur *ELF* Surveymeter. Pengukuran dilakukan pada masing-masing kandang didalam dan halaman (luar) kandang pada waktu pagi, siang dan malam hari.

4.5.2. Perlakuan Hewan percobaan

Setelah pemaparan pada medan elektromagnetik ELF (SUTET-500 kV), tikus putih dari masing-masing perlakuan dianesthesia dengan cara memasukkan tikus putih tersebut ke dalam toples berisi kapas yang telah dibasahi eter. Injeksi heparin 300 IU/kg (Intra cardiac) dilakukan beberapa menit sebelum pembedahan.

4.5.3. Pemeriksaan Pembuluh Darah Aorta

Melalui thoracotomi, pembuluh darah aorta dengan panjang 0,5 cm dieksisi pada 0,5 cm caudal arcus aorticus kemudian masing-masing pembuluh darah aorta dimasukkan ke dalam pot yang berisi buffer formalin 10 %. Selanjutnya dibuat blok parafin, dipotong dengan mikrotom dengan ketebalan 4 -5 μ , tiap potongan

diapungkan dalam water bath dengan temperatur 56° C, kemudian jaringan ditempatkan pada object glass yang sudah di precoating dengan Poly-l-Lysine serta dikeringkan pada pemanas. Setelah kering dilakukan pewarnaan dengan Hematoxilin Eoisin dan PAS untuk pengamatan struktur umum pembuluh darah dan otot polos, pewarnaan Orcein untuk pengamatan elastin. Pemeriksaan dilakukan menggunakan mikroskop cahaya dengan pembesaran 100x, kemudian dilanjutkan dengan pembesaran 400x pada (3 tempat untuk tiap ulangan). Penghitungan diameter dan ketebalan dinding pembuluh darah aorta dilakukan dengan menggunakan mikrometer retikularis.

4.6 Metode Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis dengan menggunakan analisis varians dan bila terdapat perbedaan dilanjutkan dengan uji LSD ($\alpha = 5\%$).

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi-500 kV (SUTET-500 kV) diduga merupakan faktor penting terhadap peningkatan paparan suatu individu terhadap medan elektromagnetik *ELF* di lingkungan. Hal ini telah dibuktikan dengan dilakukannya pengukuran intensitas paparan pada lingkungan tersebut yang relatif lebih besar dibandingkan lingkungan yang tidak dilalui oleh saluran transmisi tersebut. Dalam penelitian ini, hasil pengukuran intensitas medan elektromagnetik di pemukiman penduduk yang tinggal di bawah jaringan SUTET-500 kV menunjukkan adanya intensitas yang lebih besar dibandingkan intensitas alamiah yakni 21 kali lipat untuk intensitas medan listrik dan 8 kali lipat untuk medan magnet, walaupun intensitas paparan medan elektromagnetik di pemukiman tersebut masih di bawah nilai paparan yang diperkenankan oleh WHO (1984) namun keluhan-keluhan yang bersifat subjektif dari studi epidemiologi yang dilakukan memerlukan penelitian yang lebih jauh mengenai efek paparan di wilayah pemukiman yang dilalui jaringan transmisi tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh intensitas dan waktu paparan medan elektromagnetik *ELF* terhadap pembuluh darah aorta pada tikus putih. Sebagai variabel independen adalah lama (4 dan 8 minggu) dan intensitas (tinggi, sedang dan alamiah) paparan. Sedangkan variabel dependen adalah diameter, tebal dinding, jumlah lapisan otot polos sirkuler dan jumlah lapisan elastin pembuluh darah.



Hasil pengukuran intensitas paparan medan listrik dan medan magnet di dalam dan di halaman kandang disajikan dalam tabel 3 dan tabel 4.

Tabel 3. Intensitas Paparan Medan Listrik

No.	Intensitas Medan Listrik (kV/m)				
	Tinggi		Sedang		Kontrol
	Dlm Kdg	Hal Kdg	Dlm Kdg	Hal Kdg	
1.	1.19	2.48	0.67	1.24	0.00424
2.	1.06	2.24	0.55	0.98	0.00425
3.	1.23	2.18	0.74	1.08	0.00420
4.	1.37	1.98	0.59	1.23	0.00424
5.	1.96	1.86	0.64	0.79	0.00428
Mean	1.1620	2.148	0.638	1.064	0.00423

Tabel 4. Intensitas Paparan Medan Magnet

No.	Intensitas Medan Magnet (μ T)				
	Tinggi		Sedang		Kontrol
	Dlm Kdg	Hal Kdg	Dlm Kdg	Hal Kdg	
1.	1.6723	1.6987	1.4897	1.5934	0.04455
2.	1.5976	1.7048	1.5625	1.5627	0.04720
3.	1.6435	1.7325	1.5434	1.5589	0.04620
4.	1.6927	1.7279	1.4964	1.6028	0.04575
5.	1.7404	1.7201	1.5530	1.5562	0.04755
Mean	1.6693	1.7168	1.5290	1.5748	0.04625

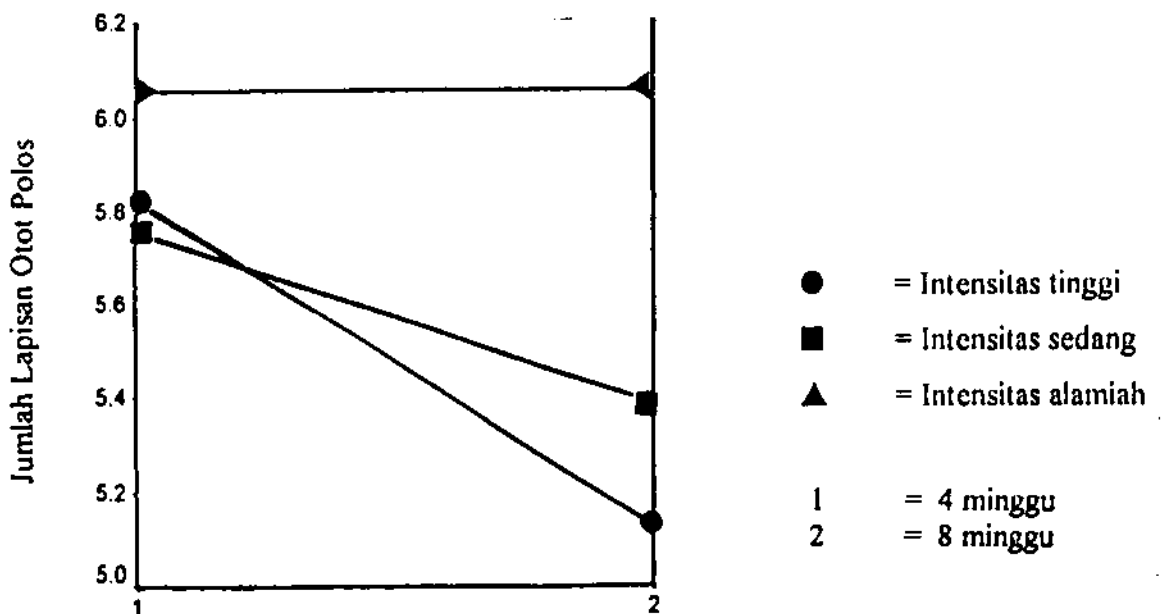
Hasil penelitian menunjukkan paparan medan elektromagnetik *ELF* tidak menyebabkan deendotelialisasi dan gangguan integritas endothelium. Endothelium nampak kontinyu dan reguler sepanjang bagian luminal dari intima. Namun regularitas endothelium tidak merupakan jaminan bahwa fungsi sel endothel tidak mengalami perubahan karena peningkatan Ca^{2+} intra sel akibat peningkatan konduktifitas membran dan fluktuasi aliran dan tekanan darah dapat menyebabkan lesi sel endothel sehingga sel endothel lebih bersifat thrombogenik (Lansman et al., 1987; Lansman, 1988). Perubahan sifat ini terjadi karena stimulasi sekresi Faktor von Willebrand (FvW) oleh sel endothel yang selanjutnya berinfiltrasi pada sub endothel dan lapisan media pembuluh darah. Kockx et al. (1994) mendapatkan bahwa integritas endothelium masih dapat terjaga walaupun terdapat perubahan struktur dan fungsi sel endothel pada arteri yang menunjukkan tanda-tanda awal terjadinya lesi atherosclerosis. Perubahan pada sel endothel ditunjukkan dengan meningkatnya imunoreaktivitas dengan diekspresikannya protein CD31 dan FvW.

Hasil penelitian menunjukkan adanya interaksi yang nyata ($P < 0,05$) antara intensitas dan waktu paparan terhadap jumlah lapisan otot polos sirkuler dari media. Sedangkan interaksi intensitas dan waktu paparan tidak berpengaruh terhadap diameter, tebal dinding pembuluh darah dan jumlah lapisan elastin ($P > 0,05$) (Lampiran 2.).

Tabel 5. Pengaruh Lama dan Intensitas Paparan Gelombang Elektromagnetik *ELF* (SUTET-500 kV) Terhadap Jumlah Lapisan Otot Polos Sirkuler Pembuluh Darah Aorta Tikus Putih

Lama Paparan (minggu)	Intensitas Paparan		
	Tinggi	Sedang	Alamiah
4	5,83 ± 0,45 ^b	5,76 ± 0,39 ^b	6,06 ± 0,13 ^a
8	5,13 ± 0,32 ^c	5,39 ± 0,51 ^c	6,06 ± 0,13 ^a

Keterangan: superskrip yang berbeda dalam kolom dan lajur adalah berbeda nyata ($p < 0,05$)

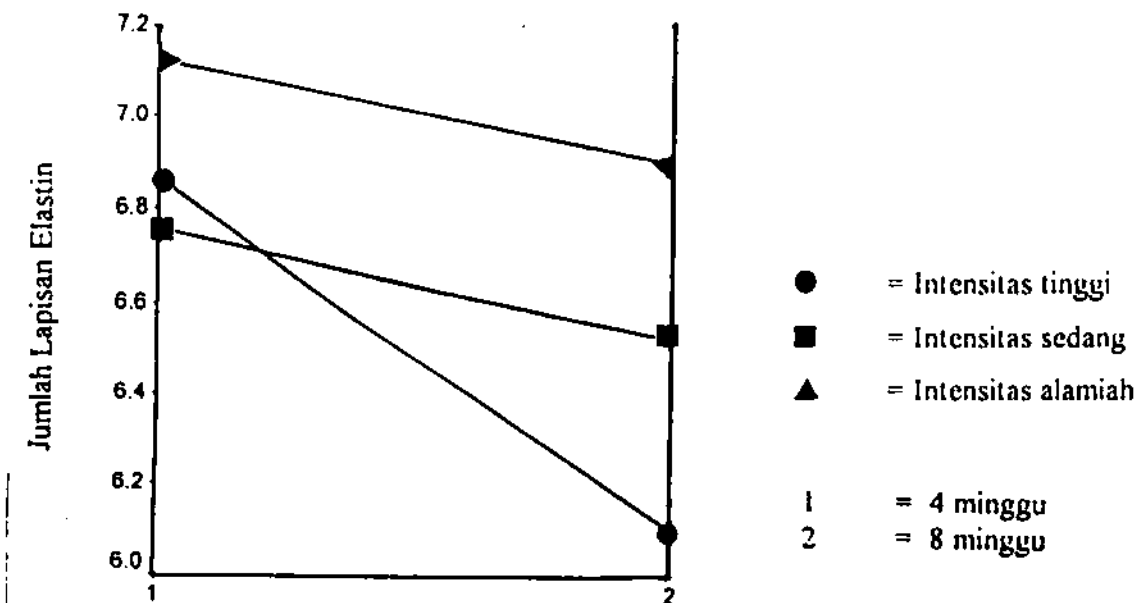


Grafik 1. Pengaruh Lama dan Intensitas Paparan Gelombang Elektromagnetik *ELF* (SUTET-500 kV) Terhadap Jumlah Lapisan Otot Polos Sirkuler Pembuluh Darah Aorta Tikus Putih

Tabel 6. Pengaruh Lama dan Intensitas Paparan Gelombang Elektromagnetik ELF (SUTET-500 kV) Terhadap Jumlah Lapisan Elastin Pembuluh Darah Aorta Tikus Putih

Lama Paparan (minggu)	Intensitas Paparan		
	Tinggi	Sedang	Alamiah
4	6,86 ± 0,70 ^{ab}	6,76 ± 0,47 ^{ab}	7,12 ± 0,15 ^a
8	6,09 ± 0,36 ^c	6,52 ± 0,50 ^{bc}	6,89 ± 0,32 ^{ab}

Keterangan: superskrip yang berbeda dalam kolom dan lajur adalah berbeda nyata (p<0,05)



Grafik 2. Pengaruh Lama dan Intensitas Paparan Gelombang Elektromagnetik ELF (SUTET-500 kV) Terhadap Jumlah Lapisan Elastin Pada Pembuluh Darah Aorta Tikus Putih

Paparan pada intensitas tinggi maupun sedang dalam waktu yang lebih lama menyebabkan menurunnya jumlah lapisan otot polos sirkuler media pembuluh darah secara nyata terjadi setelah 4 minggu paparan dan terus berlanjut hingga 8 minggu paparan (tabel 5). Penurunan jumlah otot ini juga disertai oleh menurunnya jumlah lapisan elastin setelah paparan 8 minggu ($P < 0,05$) (tabel 6). Menurunnya jumlah otot polos tanpa disertai peningkatan ketebalan dan dinding pembuluh aorta menunjukkan berkurangnya lapisan otot polos, fragmentasi dan degradasi serabut elastin akibat paparan. Berkurangnya jumlah lapisan otot polos sirkuler dan fragmentasi serabut elastin setelah paparan medan elektromagnetik ELF dapat disebabkan oleh karena modifikasi hemodinamik dan respon otot polos untuk mempertahankan kondisi normal terhadap perubahan hemodinamik intravascular ataupun terhadap perubahan konduktivitas membran sel otot polos akibat paparan. Peregangan dan tekanan yang terus menerus pada dinding pembuluh darah akan menyebabkan berkurangnya jumlah sel namun diikuti dengan peningkatan volume sel (Kohler et al., 1989). Berkurangnya jumlah lapisan otot polos dan berubahnya fenotip otot polos juga didapatkan pada arteri yang mengalami lesi atherosclerotic awal (Kockx et al., 1994) Tidak menebalnya dinding pembuluh darah aorta ($P > 0,05$) (tabel 7) dapat disebabkan karena peningkatan sekresi matrik ekstra seluler sebagai respon terhadap paparan. Sottiurai et. al. (1983) menyatakan bahwa peregangan-peregangan yang dialami oleh pembuluh darah menyebabkan transformasi otot polos dari tipe kontraktile menjadi sel otot polos tipe sekretorik. Otot polos yang tereksposisi pada tekanan yang lebih besar akan diikuti dengan aktivasi dan peningkatan Ca^{2+} intra seluler sehingga terjadi peningkatan sintesa matrik ekstra seluler oleh otot polos baik

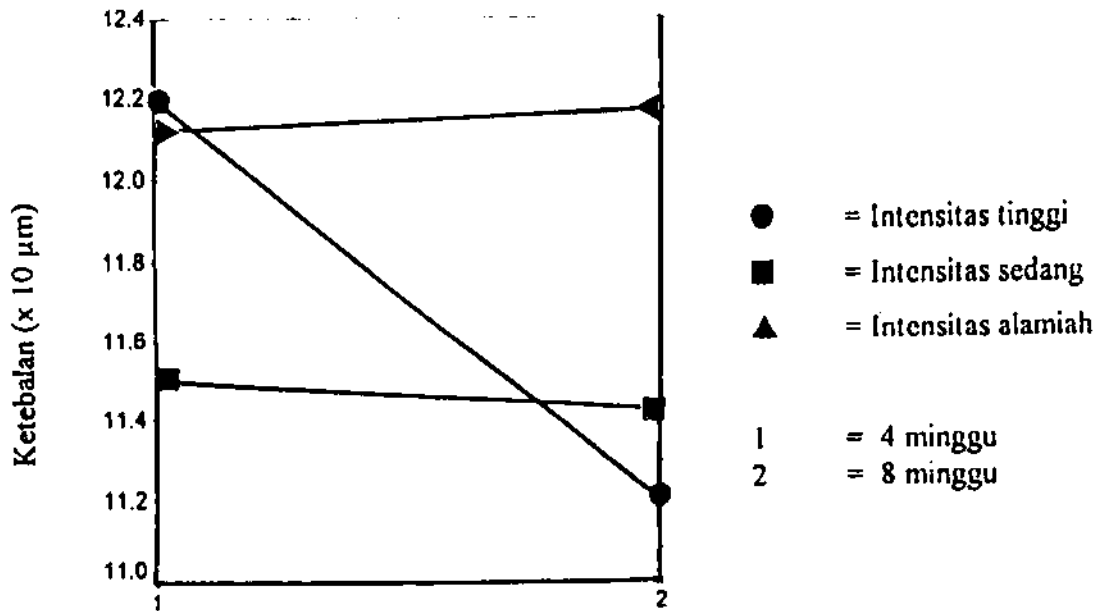
sintesa dan sekresi collagen maupun glicosaminoglican (Kockx et al., 1994) . Regangan yang terjadi juga menyebabkan ekstensibilitas elastin meningkat. Ekstensi sabut elastin secara berkelanjutan dapat menyebabkan terjadinya *overstretching* sehingga terjadi fragmentasi dan degradasi elastin. Fragmentasi dan degradasi elastin dapat terjadi akibat disekresinya enzim elastinolitik oleh sel otot polos sebagai respon dari stress sel otot polos (Tyagi et al., 1995). Sebagai interkonektor dari serabut collagen, maka ekstensi, fragmentasi dan degradasi sabut elastin juga akan menstimulir otot polos untuk merekonstruksi matriks dengan mensekresikan matriks ekstra seluler lain, terutama collagen (Scott dan Vesely, 1995).

Tabel 7. Pengaruh Lama dan Intensitas Paparan Gelombang Elektromagnetik ELF (SUTET-500 kV) Terhadap Ketebalan Dinding Pembuluh Darah Aorta Tikus Putih (μm)

Lama Paparan (minggu)	Intensitas Paparan		
	Tinggi	Sedang	Alamiah
4	122,0 \pm 6,41 ^a	115,0 \pm 11,50 ^a	121,3 \pm 0,84 ^a
8	112,0 \pm 11,91 ^a	114,2 \pm 11,02 ^a	121,8 \pm 0,83 ^a

Keterangan: superskrip yang sama dalam kolom dan lajur adalah tidak berbeda nyata ($p > 0,05$)

Tidak adanya pengaruh paparan medan elektromagnetik terhadap diameter pembuluh darah aorta (tabel 8) menunjukkan bahwa fungsi kontraktilitas dan pulsatil pembuluh darah aorta masih dapat dipertahankan walaupun sudah nampak adanya perubahan-perubahan pada dinding pembuluh darah secara umum.



Grafik 3. Pengaruh Lama dan Intensitas Paparan Gelombang Elektromagnetik *ELF* (SUTET-500 kV) Terhadap Ketebalan Dinding Pembuluh Darah Aorta Tikus Putih (μm)

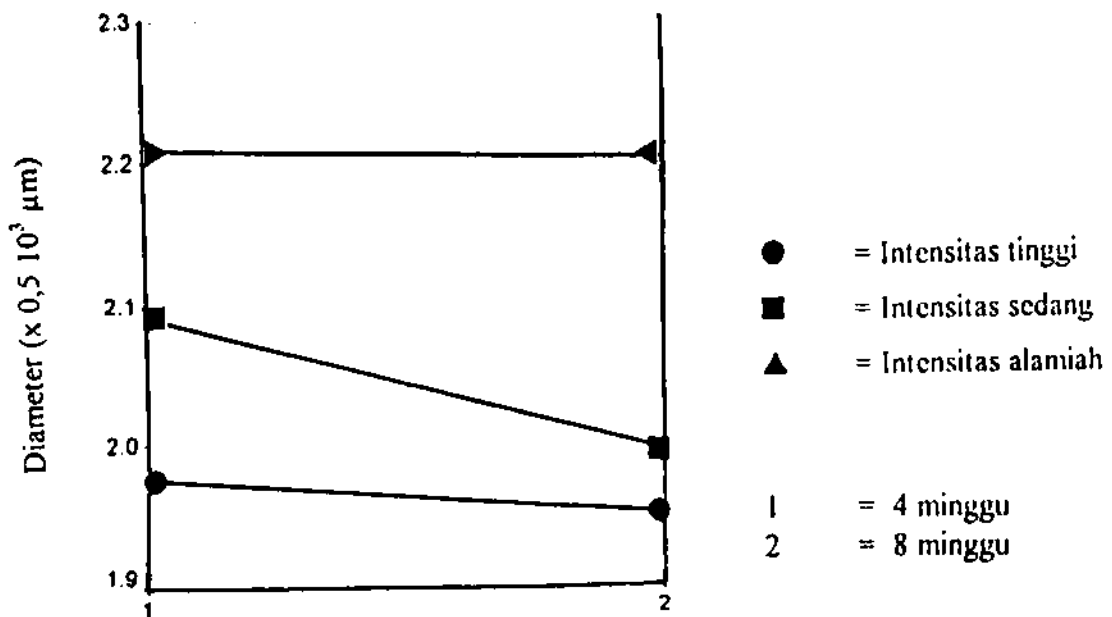
Diameter lumen yang tidak mengalami perubahan setelah paparan medan elektromagnetik *ELF* dapat dimungkinkan karena tidak adanya pennebalan yang

terjadi pada dinding pembuluh darah dan masih utuhnya integritas dari lamina elastika interna. Post et al. (1994) menyatakan bahwa penurunan diameter pembuluh darah arterial dapat terjadi karena menebalnya dinding pembuluh darah terutama dengan terbentuknya lapisan neointima dan oleh konstiksi dari lamina elastika interna.

Tabel 8. Pengaruh Lama dan Intensitas Paparan Gelombang Elektromagnetik *ELF* (SUTET-500 kV) Terhadap Diameter Pembuluh Darah Aorta Tikus Putih ($\times 0,5 \cdot 10^3 \mu\text{m}$)

Lama Paparan (minggu)	Intensitas Paparan		
	Tinggi	Sedang	Alamiah
4	1,98 \pm 0,21 *	2,04 \pm 0,26 *	2,21 \pm 0,23 *
8	1,95 \pm 0,81 *	1,95 \pm 0,18 *	2 \pm 0,2 *

Keterangan: superskrip yang sama dalam kolom dan lajur adalah tidak berbeda nyata ($P > 0,05$)



Grafik 4. Pengaruh Lama dan Intensitas Paparan Gelombang Elektromagnetik *ELF* (SUTET-500 kV) Terhadap Diameter Pembuluh Darah Aorta Tikus Putih ($\times 0,5 10^3 \mu\text{m}$)

Walaupun intensitas paparan medan elektromagnetik *ELF* (SUTET-500 kV) masih di bawah batas paparan yang diperkenankan oleh WHO namun hasil penelitian ini menunjukkan bahwa paparan medan elektromagnetik *ELF* (SUTET - 500 kV) berpengaruh terhadap terjadinya modifikasi struktur histologi dari pembuluh darah aorta tikus putih yang mengalami 8 minggu paparan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan pada hasil penelitian maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Intensitas Paparan medan elektromagnetik *ELF* (SUTET - 500kV) menyebabkan menurunnya jumlah otot polos sirkuler, lapisan elastin dan diameter pembuluh darah aorta pada tikus putih.
2. Lama paparan medan elektromagnetik *ELF* (SUTET - 500kV) menyebabkan menurunnya jumlah otot polos sirkuler dan lapisan elastin pembuluh darah aorta tikus putih.
3. Interaksi intensitas dan lama paparan medan elektromagnetik *ELF* (SUTET - 500kV) berpengaruh terhadap jumlah otot polos sirkuler pembuluh darah aorta tikus putih.
4. Paparan medan elektromagnetik *ELF* (SUTET - 500kV) hingga 8 minggu paparan menyebabkan adanya modifikasi struktur morfologi dinding pembuluh darah aorta pada tikus putih.

6.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini maka disarankan agar daerah-daerah yang dilewati oleh saluran transmisi (SUTET - 500kV) milik PLN tidak digunakan sebagai tempat pemukiman penduduk.

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dari pengaruh paparan medan elektromagnetik *ELF* (SUTET - 500 kV) terhadap risiko kejadian atherosklerosis dengan mengamati perubahan morfofungsional dari sel maupun matrik ekstraseluler penyusun pembuluh darah arterial dengan teknik biomolekuler.

BAB VII

DAFTAR PUSTAKA

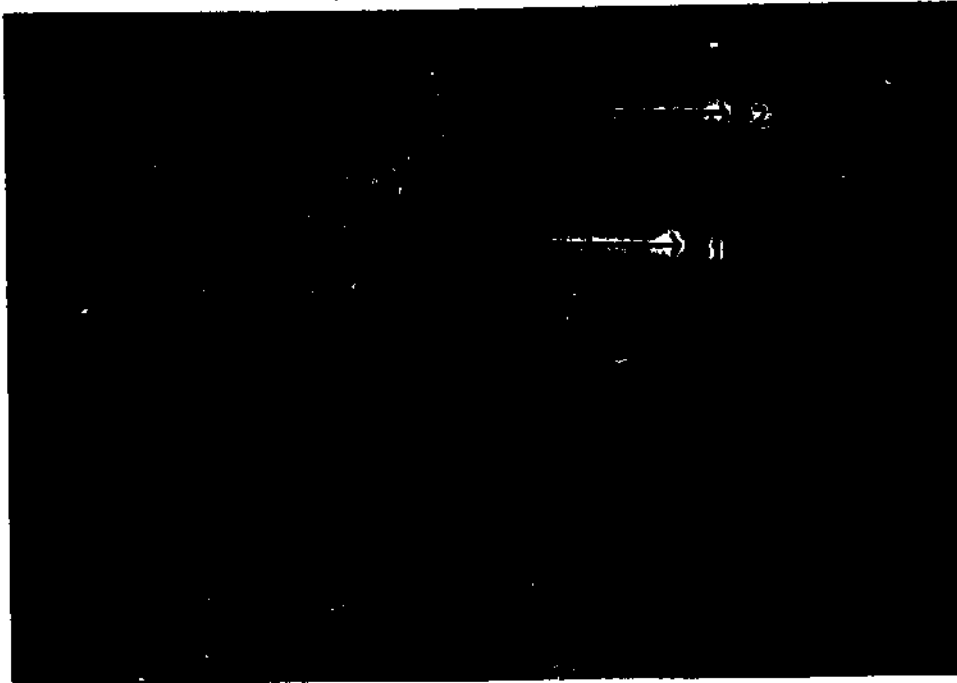
- Ackerman E, LBM. Ellis, LE. William. 1979. *Biophysical Science*. Prentice, Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- Amsyari Fuad, 1997. *Studi Perbandingan Status Kesehatan Penduduk Dalam Kaitannya Dengan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi*. PPLH Lembaga Penelitian Universitas Airlangga, Surabaya.
- AsanovaTP and Rakov AI, 1966. *The State of Persons Working in Electrical Fields of Outdoor 400 kV and 500 kV*. *Swithyard; Gig. Tr. Prof. Zabol* 10:50-52.
- Sektiari B. dan Sudarti, 2001. *Risiko Kejadian Anemia Regeneratif Pada Tikus Putih Setelah Pemaparan Pada Medan Elektromagnetik Dengan Frekuensi Yang Sangat Rendah*. *Media Kedokteran Hewan* 17 (1):39-43.
- Berry CL and Henrichs KJ. 1982. *Morphometric Investigation of Hypertrophy and Hyperploidy in the Goldblatt Hypertensive Rat*. *Circ Res.* 136:85-94.
- Cember H., 1969, "Introduction to Health Physics" *International Series of Monographs in Nuclear Energy Vol. 105, Austria*.
- Charara J, Doillon , Lemay F, Ruel J, Dumas G. 1993. *Effet de l'écoulement sur le Devenir Des Cellules Endothéliales: Dispositif d'Etudes, Revue et Commentaires*. *Révue Biol. Med.* 15(8):435-445.
- Conti P, Reale M, Grilli A, Barbacane RC, Di Lucio S, Di Gioacchino M, De Luttis MA, Felaco M. 1999. *Effect of Electromagnetic fields on Several CD Markers and Transcription of CD4*. *Immunology* 201(1):26-48.
- Davies PF and Tripathi SC. 1993. *Mechanical Stress Mecanisms and the Cell*. *Circ. Res.* 72 (2):239-245.
- Felaco M, Reale M, Grilli A, De Luttis MA, Barbacane RC, Di Luzio S, Conti P. 1999. *Impact of Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields on CD4 Expression in Peripheral Blood Mononuclear Cells*. *Mol. Cell. Biochem. Nov;* 201 (1) 20:49-55.
- Feychting M, Ahlbom A. 1995. *Childhood Leukimia and Residential Exposure to Weak ELF Magnetic Fields*. *Environ-Health-Perspect.* 103 Supl 2: 59-62.
- Grotel E, Peter DK, Grobinski H. 1992. *EMF and ELF Fact Sheet*. *Electroteknik.* 75: 255 - 260.

- Hardell L, Holmberg B, Malker H, Paulsson LE, 1996. Exposure to ELF Electromagnetic Fields and the Risk of Malignant Disease and Evaluation of Epidemiological and Experimental Findings. *Eur. J. cancer. Prev* 4, Supl 1: 3-107.
- Huuskonen H, Aikawa H, Hagino T, Yoshida T, Shakabe K, 1998. Flow Cytometric Analysis of Effect of 50 Hz Magnetic Fields on Mouse Spermatogenesis. *Nippon Eiseigaku Zasshi* J.53 (2):420-25.
- Jensen BS, Odum N, Jorgensen NK, Christophersen, P, Olesen, SP. 1999. Inhibition of T Cell Proliferation by Selective Block of Ca²⁺-activated K⁺ Channels. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 96:10917-21.
- Kheiffets LI, Sussman SS, Preston-Martin S. 1999. Childhood brain tumors and residential electromagnetic field (EMF). *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 159 :111 - 129. Polo Alto, USA.
- Kim Yu, Conover DL, Lots WG, Cleary SF. 1998. Electric field -induced Changes in agonist stimulated Calcium fluxes of human HL-60 leukemia Cells. *Bioelectromagnetic.* 19 (6) : 366 - 76 Cincinnati, Ohio, USA.
- Kohler TR, KirkmanTR, Clowes AW. 1989. The Effect of Rigid External Support on Vein Graft Adaptation to The Arterial Circulation. *J. Vasc. Surg.*, 9: 277-85.
- Lockx MM, Cambier BA, Bortier HE, Meyer GR, Declercq SC, Van Cuawelaert PA, Bultinck J. Foam Cell Replication and Smooth Muscle Cell Apoptosis in Human Saphenous Vein Grafts. *Histopathology* 25: 365-371.
- Lansman JB. 1988. Endothelial Mechanosensors. Going with The Flow. *Nature.* 331: 48-49.
- Lansman JB, Hallam TJ, Rink TJ. 1987. Single Stretch Activated Ion Channels in Vascular Endothelial Cells as Mechanotransducers. *Nature* 325:811-813.
- Levy BI, Michel JB, Salzman JL. 1988. Effects of Chronic Inhibition of Converting Enzyme on Mechanical and Structural Properties of Arteries in Rat Renovascular Hypertension. *Circ. Res.* 63:227-239.
- Loomis A, Kromhough H, Kleekner RC, Savitz DA, 1998. Effect of the analytical treatment of exposure data on associations of cancer and Occupational magnetic field exposure. *J. Ind. Med.* 34 (1) : 49 - 56. USA.
- Mc Bride ML, Crallogher RP, Theriault G, Armstrong Bli, Tomaro S, Spinelli JJ, Deadman JE, Fincham S, Robson D, Choi W, 1999. Power-Frequency electric and magnetic field and risk of Childhood Leukemia in Canada. *J. Epidemiol.* 149 (9) : 831 - 842. Vancouver, Canada.

- Murthy KK, Rogers WR, Smith HD. 1995. Initial Studies on the Effect of Combined 60 Hz Electric and Magnetic Field Exposure on The Immune System of Nonhuman Primates. *Bioelectromagnetics Suppl.*3:93-102.
- Narita K, Hanakawa K, Kasahara T, et al, 1997. Induction of Apoptosis Cells Death in Human Leukemic Cell Line, HL-60, by ELF Electric Magnetic fields: Analysis of The Possible Mechanism In Vitro. *In vivo* 11(4): 329-335.
- Post MJ, Borst C, Kuntz RE. 1994. The Relative Important of Arterial Remodeling Compared with Intimal Hyperplasia in Lumen Renarrowing After Balloon Angioplasty : A Study in the Normal Rabbit and the Hypercholesterolemic Yucatan Micropig. *Circulation* 89:2816-21.
- Reiter RJ, 1994. Melatonin Suspension by Static and ELF Electromagnetic Fields: Relationship to the Reported Increased Incidence of Cancer. *Rev. Environ. Health* 10(3-4): 171-186.
- Reipert BM, Allan D, Reipert S, Dexter TM. 1997. Apoptosis in Haemopoietic Cells Exposed to Electromagnetic Low Frequency Fields. *Life Sci.* 61(16):1571-82.
- Rodvall Y, Ahlbom A, Stendlund C, Preston-Martin S, Lindh T, Spannare B. 1998. Occupational exposure to Magnetic Fields and Brain Tumors in Central Sweden. *Eur. J. Epidemiolog.* Sept 14 (6):563-9.
- Savitz DA, Loomis DP, Tse CK, 1998. Electrical Occupations and Neurodegenerative Disease : Analysis of U.S Mortality Data. *Arch. Environ. Health* 53 (1) : 71 - 74. University of North Carolina , USA.
- Scott M and Vesely I. Aortic Valve Cusp Microstructure : The Role of Elastin. *Ann. Thorac. Surg.* 60:S391-394.
- Shimizu H, Suzuki Y, Okonogi H. 1995. Biological Effect of Electromagnetic Fields. *Nippon-Eiseigaku-Zasshi* 50 (5) : 919-31.
- Sobel E, Davanipour Z, Sulkava R, Erkinjuntti T, Wikstrom J, Henderson VW, Buckwalter G, Bowman JD, Lee PJ. 1995. Occupational with Exposure to Electromagnetic Fields: A Possible Risk Faktor for Alzheimer's Disease. *Am. J. Epidemiol.* Sep1;142(5):515-24
- Sotturai VS, Kollross P, Glagov S, Zarins CK, Mathews MB. 1983. Morphologic Alteration of Cultured Arterial Smooth Muscle Cells by Cyclic Stretching. *J. Surg. Res.* 35:490-497.
- Sudarti. 1998. Pengaruh Paparan Medan Elektromagnetik Extremely Low Frequency (ELF) Terhadap Respon Imun Pada Tikus Putih. Thesis Pasca sarjana Universitas Airlangga. Surabaya.

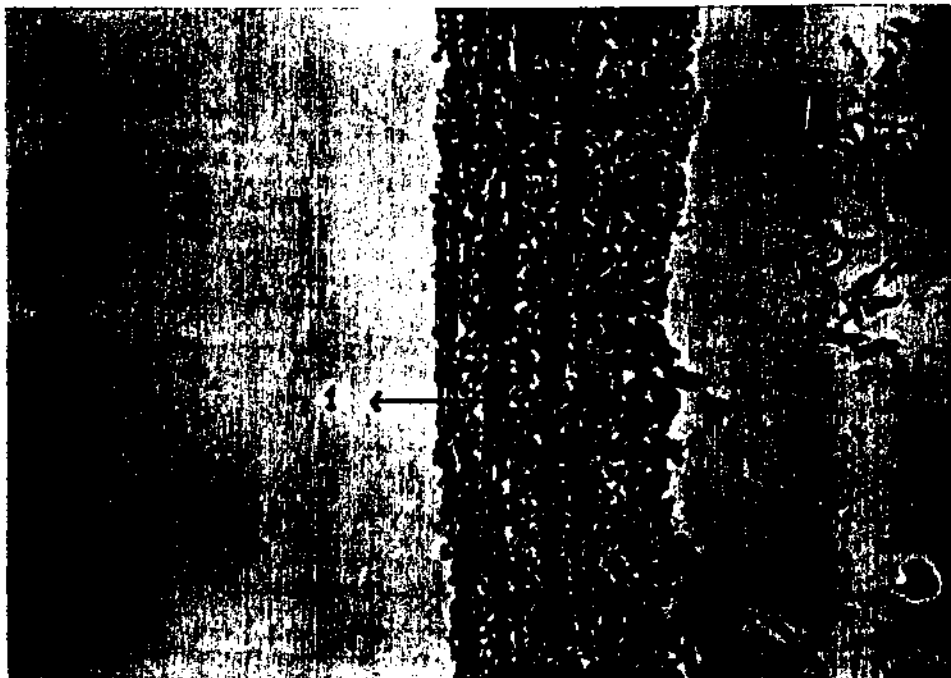
- Tedgui A. and Levy BI. 1995. Altérations de la paroi artérielle au cours de l'hypertension. *Cardioscopie* 28:402-405.
- Tyagi SC, Meyer L, Schmaltz RA, Reddy, HK, Voelker DJ. 1995. Proteinases and Restenosis in the Human Coronary Artery: Extracellular Matrix Production Exceeds the Expression of Proteolytic Activity. *Atherosclerosis* 116:43-57.
- Tynes T, Reitan JB, Andersen A. 1994. Incidence of Cancer Among Workers. *Scand. J. Work. Environ. Health* 20(5) : 339-44.
- Waterberg D. 1998. Residential magnetic field and Childhood leukemia : α meta-analysis. *J. Public. Health* 88 (12) : 1787 - 94.
- Wisnu AW. 1996, *Radioekologi*, Penerbit Andi, Yogyakarta.
- World Health Organization, 1984. Extremely Low Frequency (ELF) Fields, *Environments Health Criteria* 35. Geneva.
- _____ 1989. *Nonionizing Radiation Protection . Second Edition, European Series, No.25.*Ottawa. Canada.

Lampiran 1. Gambaran Hasil Pewarnaan HE, PAS dan Orcein Dari Pembuluh Darah Aorta Tikus Putih Setelah 8 Minggu Paparan Pada Intensitas Paparan Tinggi.



- 1 = Lapisan otot polos
- 2 = Lapisan elastin

Gambar Hasil Pewarnaan HE Pada Pembuluh Darah Aorta Tikus Putih Setelah 8 Minggu Paparan Pada Intensitas Paparan Tinggi.



- 1 = Lapisan otot polos

Gambar Hasil Pewarnaan PAS Pada Pembuluh Darah Aorta Tikus Putih Setelah 8 Minggu Paparan Pada Intensitas Paparan Tinggi.



1 = Lapisan elastin

Gambar Hasil Pewarnaan Orcein Pada Pembuluh Darah Aorta Tikus Putih Setelah 8 Minggu Paparan Pada Intensitas Paparan Tinggi.

Lampiran 2. Data Hasil Penelitian Pengaruh Lama dan Intensitas Paparan Gelombang Elektromagnetik ELF (SUTET-500kV) Terhadap Pembuluh Darah Aorta Tikus Putih.

	paparan	intensit	lebal	diameter	elastin	o.sirkul	interaks
1	1	1	12.50	1.92	6.00	5.00	1
2	1	1	12.50	1.83	7.00	6.00	1
3	1	1	12.50	2.00	7.00	6.00	1
4	1	1	12.50	1.50	7.00	6.30	1
5	1	1	12.50	2.10	7.00	6.00	1
6	1	1	11.25	2.00	7.30	6.00	1
7	1	1	12.50	2.25	7.30	6.00	1
8	1	1	10.75	2.00	7.00	6.00	1
9	1	1	12.50	2.00	6.00	5.00	1
10	1	1	12.50	2.17	7.00	6.00	1
11	1	2	12.50	2.00	7.00	6.00	2
12	1	2	12.50	1.83	7.00	6.00	2
13	1	2	10.00	2.50	6.00	5.30	2
14	1	2	12.50	2.25	7.00	6.00	2
15	1	2	12.50	2.17	7.00	6.00	2
16	1	2	11.25	2.00	6.30	5.30	2
17	1	2	10.00	2.50	7.00	6.00	2
18	1	2	12.50	2.00	6.00	5.00	2
19	1	2	10.00	1.75	7.00	6.00	2
20	1	2	11.25	1.92	7.30	6.00	2
21	1	3	12.50	2.50	7.30	6.00	3
22	1	3	12.50	2.50	7.00	6.30	3
23	1	3	12.50	2.00	7.00	6.00	3
24	1	3	12.50	2.33	7.00	6.00	3
25	1	3	12.50	2.00	7.00	6.00	3
26	1	3	11.25	2.50	7.30	6.30	3
27	1	3	12.50	2.00	7.00	6.00	3
28	1	3	12.50	2.00	7.30	6.00	3
29	1	3	12.50	2.25	7.30	6.00	3
30	1	3	10.00	2.00	7.00	6.00	3
31	2	1	10.00	2.00	6.00	5.00	4
32	2	1	10.00	1.75	6.00	5.00	4
33	2	1	12.50	2.25	6.00	5.00	4
34	2	1	10.75	1.83	6.00	5.00	4
35	2	1	10.00	1.92	6.00	5.00	4

	paparan	intensit	tebal	diameter	elastin	o. sirkul	interaks
36	2	1	12.50	2.00	5.60	5.00	4
37	2	1	11.25	2.17	6.30	5.30	4
38	2	1	12.50	1.67	7.00	6.00	4
39	2	1	10.00	1.92	6.00	5.00	4
40	2	1	12.50	2.00	6.00	5.00	4
41	2	2	10.00	2.00	6.00	5.30	5
42	2	2	10.00	1.75	7.00	6.00	5
43	2	2	12.50	2.25	6.30	5.00	5
44	2	2	11.25	1.86	6.00	5.00	5
45	2	2	10.00	1.92	7.00	6.30	5
46	2	2	12.50	2.00	7.00	6.00	5
47	2	2	11.25	2.25	6.30	5.00	5
48	2	2	12.50	1.67	6.00	5.30	5
49	2	2	11.75	2.00	6.30	5.00	5
50	2	2	12.50	2.25	7.30	5.00	5
51	2	3	12.50	2.50	7.00	6.00	6
52	2	3	12.50	2.00	7.00	6.30	6
53	2	3	11.75	2.50	7.00	6.00	6
54	2	3	12.50	2.00	7.30	6.00	6
55	2	3	12.50	2.25	7.00	6.00	6
56	2	3	10.00	2.00	7.00	6.30	6
57	2	3	12.50	2.00	7.00	6.00	6
58	2	3	12.50	2.17	6.30	6.00	6
59	2	3	12.50	2.33	7.00	6.00	6
60	2	3	12.50	2.25	6.30	6.00	6

Lampiran 3. Analisis Statistik Dari Data Penelitian Tentang Pengaruh Lama dan Intensitas Paparan Gelombang Elektromagnetik ELF (SUTET-500kV) Terhadap Pembuluh Darah Aorta Tikus Putih.

Tests of Between-Subjects Effects

Source	Dependent Variable	F	Sig.
Model	TEBAL	1458.233	.000
	DIAMETER	927.330	.000
	ELASTIN	2838.307	.000
	O.SIRKUL	2608.080	.000
PAPARAN	TEBAL	1.841	.181
	DIAMETER	.617	.436
	ELASTIN	16.132	.000
	O.SIRKUL	15.236	.000
INTENSIT	TEBAL	2.563	.086
	DIAMETER	6.450	.003
	ELASTIN	9.261	.000
	O.SIRKUL	15.454	.000
PAPARAN * INTENSIT	TEBAL	1.729	.187
	DIAMETER	.239	.788
	ELASTIN	3.004	.058
	O.SIRKUL	4.896	.011
Error	TEBAL		
	DIAMETER		
	ELASTIN		
	O.SIRKUL		
Total	TEBAL		
	DIAMETER		
	ELASTIN		
	O.SIRKUL		

a. R Squared = .994 (Adjusted R Squared = .993)

b. R Squared = .990 (Adjusted R Squared = .989)

c. R Squared = .997 (Adjusted R Squared = .996)

Tests of Between-Subjects Effects

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square
Model	TEBAL	8323.069 ^a	6	1387.178
	DIAMETER	257.867 ^b	6	42.978
	ELASTIN	2705.222 ^c	6	450.870
	O.SIRKUL	1959.827 ^c	6	326.638
PAPARAN	TEBAL	1.751	1	1.751
	DIAMETER	2.860E-02	1	2.860E-02
	ELASTIN	2.563	1	2.563
	O.SIRKUL	1.908	1	1.908
INTENSIT	TEBAL	4.877	2	2.439
	DIAMETER	.598	2	.299
	ELASTIN	2.942	2	1.471
	O.SIRKUL	3.871	2	1.935
PAPARAN * INTENSIT	TEBAL	3.290	2	1.645
	DIAMETER	2.214E-02	2	1.107E-02
	ELASTIN	.954	2	.477
	O.SIRKUL	1.226	2	.613
Error	TEBAL	51.369	54	.951
	DIAMETER	2.503	54	4.635E-02
	ELASTIN	8.578	54	.159
	O.SIRKUL	6.763	54	.125
Total	TEBAL	8374.438	60	
	DIAMETER	260.370	60	
	ELASTIN	2713.800	60	
	O.SIRKUL	1966.590	60	

Pairwise Comparisons

Dependent Variable	(I) 1:4minggu; 2:8minggu	(J) 1:4minggu; 2:8minggu	Sig. ^a
TEBAL	1	2	.181
	2	1	.181
DIAMETER	1	2	.436
	2	1	.436
ELASTIN	1	2	.000
	2	1	.000
O.SIRKUL	1	2	.000
	2	1	.000

Based on estimated marginal means

Univariate Tests

Dependent Variable		F	Sig.
TEBAL	Contrast	1.841	.181
	Error		
DIAMETER	Contrast	.617	.436
	Error		
ELASTIN	Contrast	16.132	.000
	Error		
O.SIRKUL	Contrast	15.236	.000
	Error		

The F tests the effect of 1:4minggu; 2:8minggu. This test is based on the linearly independent pairwise comparisons among the estimated marginal means.

Pairwise Comparisons

Dependent Variable	(I) 1:tinggi; 2:sedang; 3:alamiah	(J) 1:tinggi; 2:sedang; 3:alamiah	Sig. ^a	95% Confidence Interval for
				Lower Bound
TEBAL	1	2	.445	-.381
		3	.150	-1.068
	2	1	.445	-.856
		3	.030	-1.306
	3	1	.150	-.168
		2	.030	6.914E-02
DIAMETER	1	2	.248	-.216
		3	.001	-.376
	2	1	.248	-5.699E-02
		3	.022	-.297
	3	1	.001	.104
		2	.022	2.401E-02
ELASTIN	1	2	.196	-.418
		3	.000	-.783
	2	1	.196	-8.769E-02
		3	.005	-.618
	3	1	.000	.277
		2	.005	.112
O.SIRKUL	1	2	.400	-.319
		3	.000	-.804
	2	1	.400	-.129
		3	.000	-.709
	3	1	.000	.356
		2	.000	.261

Based on estimated marginal means

Univariate Tests

Dependent Variable		F	Sig.
TEBAL	Contrast	2.563	.086
	Error		
DIAMETER	Contrast	6.450	.003
	Error		
ELASTIN	Contrast	9.261	.000
	Error		
O.SIRKUL	Contrast	15.454	.000
	Error		

The F tests the effect of 1:tinggi; 2:sedang; 3:alamiah. This test is based on the linearly independent pairwise comparisons among the estimated marginal means.

Means

Case Processing Summary

	Cases					
	Included		Excluded		Total	
	N	Percent	N	Percent	N	Percent
TEBAL * 1:4minggu; 2:8minggu	60	92.3%	5	7.7%	65	100.0%
DIAMETER * 1:4minggu; 2:8minggu	60	92.3%	5	7.7%	65	100.0%
ELASTIN * 1:4minggu; 2:8minggu	60	92.3%	5	7.7%	65	100.0%
O.SIRKUL * 1:4minggu; 2:8minggu	60	92.3%	5	7.7%	65	100.0%
TEBAL * 1:tinggi; 2:sedang; 3:alamiah	60	92.3%	5	7.7%	65	100.0%
DIAMETER * 1:tinggi; 2:sedang; 3:alamiah	60	92.3%	5	7.7%	65	100.0%
ELASTIN * 1:tinggi; 2:sedang; 3:alamiah	60	92.3%	5	7.7%	65	100.0%
O.SIRKUL * 1:tinggi; 2:sedang; 3:alamiah	60	92.3%	5	7.7%	65	100.0%
TEBAL * 1:4ming,tinggi; 2:4ming, sedang, 3:4ming, alamiah; 4:8ming, tinggi, 5:8ming, sedang, 6:8ming, alamiah	60	92.3%	5	7.7%	65	100.0%
DIAMETER * 1:4ming,tinggi; 2:4ming, sedang, 3:4ming, alamiah; 4:8ming, tinggi, 5:8ming, sedang, 6:8ming, alamiah	60	92.3%	5	7.7%	65	100.0%
ELASTIN * 1:4ming,tinggi; 2:4ming, sedang, 3:4ming, alamiah; 4:8ming, tinggi, 5:8ming, sedang, 6:8ming, alamiah	60	92.3%	5	7.7%	65	100.0%
O.SIRKUL * 1:4ming,tinggi; 2:4ming, sedang, 3:4ming, alamiah; 4:8ming, tinggi, 5:8ming, sedang, 6:8ming, alamiah	60	92.3%	5	7.7%	65	100.0%

TEBAL DIAMETER ELASTIN O.SIRKUL * 1:4ming,tinggi; 2:4ming, sedang, 3:4ming, alamlah;
4:8ming, tinggi, 5:8ming, sedang, 6:8ming, alamlah

1:4ming,tinggi; 2:4ming,		TEBAL	DIAMETER	ELASTIN	O.SIRKUL
1	Mean	12.2000	1.9770	6.8600	5.8300
	N	10	10	10	10
	Std. Deviation	.6433	.2059	.4695	.4473
2	Mean	11.5000	2.0920	6.7600	5.7600
	N	10	10	10	10
	Std. Deviation	1.1487	.2592	.4719	.3950
3	Mean	12.1250	2.2080	7.1200	6.0600
	N	10	10	10	10
	Std. Deviation	.8437	.2330	.1549	.1265
4	Mean	11.2000	1.9510	6.0900	5.1300
	N	10	10	10	10
	Std. Deviation	1.1891	.1765	.3604	.3199
5	Mean	11.4250	1.9950	6.5200	5.3900
	N	10	10	10	10
	Std. Deviation	1.0996	.2067	.5007	.5109
6	Mean	12.1750	2.2000	6.8900	6.0600
	N	10	10	10	10
	Std. Deviation	.7997	.2008	.3247	.1265
Total	Mean	11.7708	2.0705	6.7067	5.7050
	N	60	60	60	60
	Std. Deviation	1.0192	.2311	.5048	.4831

Multiple Comparisons

Dependent Variable: O.SIRKUL

LSD

(I) 1:4ming,tinggi; 2:4ming, sedang; 3:4ming, alamiah; 4:8ming, tinggi,	(J) 1:4ming,tinggi; 2:4ming, sedang; 3:4ming, alamiah; 4:8ming, tinggi,	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
1	2	7.000E-02	.1583	.660
	3	-.2300	.1583	.152
	4	.7000*	.1583	.000
	5	.4400*	.1583	.007
	6	-.2300	.1583	.152
2	1	-7.0000E-02	.1583	.660
	3	-.3000	.1583	.063
	4	.6300*	.1583	.000
	5	.3700*	.1583	.023
	6	-.3000	.1583	.063
3	1	.2300	.1583	.152
	2	.3000	.1583	.063
	4	.9300*	.1583	.000
	5	.6700*	.1583	.000
	6	.0000	.1583	1.000
4	1	-.7000*	.1583	.000
	2	-.6300*	.1583	.000
	3	-.9300*	.1583	.000
	5	-.2600	.1583	.106
	6	-.9300*	.1583	.000
5	1	-.4400*	.1583	.007
	2	-.3700*	.1583	.023
	3	-.6700*	.1583	.000
	4	.2600	.1583	.106
	6	-.6700*	.1583	.000
6	1	.2300	.1583	.152
	2	.3000	.1583	.063
	3	.0000	.1583	1.000
	4	.9300*	.1583	.000
	5	.6700*	.1583	.000