

## **BAB 1**

### **PENDAHULUAN**

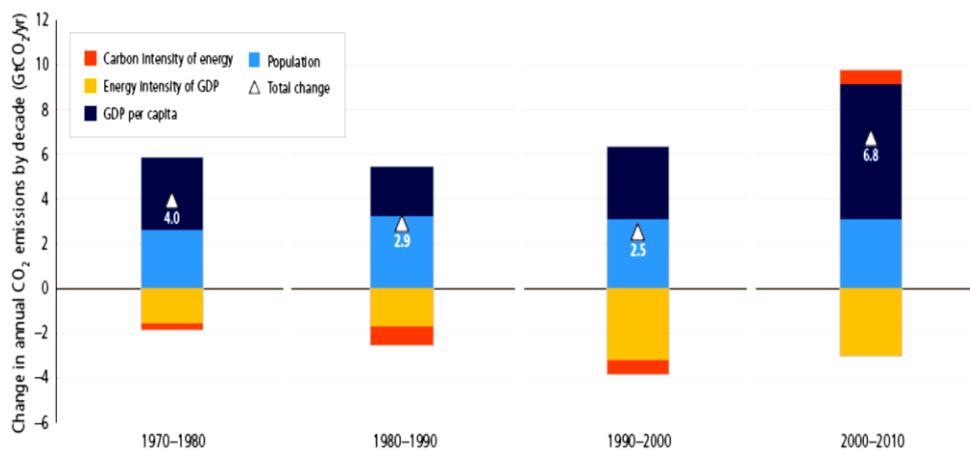
#### **1.1. Latar Belakang**

Perubahan iklim telah menjadi isu lingkungan global paling krusial dalam beberapa dekade terakhir. Intergovernmental Panel of Climate Change – IPCC (2014) melaporkan bahwa pada saat ini perubahan iklim telah menimbulkan dampak yang luas terhadap alam dan kehidupan manusia di berbagai aspek terutama produksi makanan, kesehatan, dan ekonomi. Komitmen masyarakat dunia untuk mengurangi dan mengelola risiko dari perubahan iklim salah satunya tertuang dalam tujuan ke-13 dari *sustainable development goals* (SDGs), yaitu mengambil aksi segera untuk memerangi perubahan iklim dan dampaknya (United Nations Development Programme – UNDP, 2018) yang diimplementasikan mulai tahun 2016.

Peningkatan emisi gas rumah kaca (GRK) atau *greenhouse gases* (GHG) yang dihasilkan oleh aktivitas manusia (*antropogenic emissions*) berkontribusi besar terhadap terjadinya pemanasan global yang telah berdampak pada perubahan iklim tersebut. IPCC (2014) mencatat emisi GRK global telah meningkat sekitar 90% dalam kurun waktu 1970-2010 dengan kenaikan absolut terbesar terjadi pada periode 2000-2010. Emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang dihasilkan oleh sektor energi (*energy-related emissions*) dari pembakaran bahan bakar fosil berkontribusi sekitar 78% terhadap kenaikan emisi GRK total dalam kurun waktu 1970-2010. Sejak tahun 1970 pangsa emisi CO<sub>2</sub> tersebut terus meningkat ketika pada saat bersamaan pangsa emisi dari jenis gas lain justru menurun. Oleh karena itu, penurunan emisi CO<sub>2</sub> global yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar menjadi prioritas utama dalam mitigasi perubahan iklim.

Menggunakan pendekatan *Kaya Identity* (Kaya & Yokoburi, 1997), IPCC (2014) mendekomposisikan perubahan emisi CO<sub>2</sub> pembakaran bahan bakar fosil berdasarkan empat faktor pendorong: penduduk, Produk Domestik Bruto (PDB) per kapita, intensitas energi terhadap PDB, dan intensitas karbon dari energi. Hasilnya menunjukkan bahwa kontribusi pertumbuhan penduduk pada periode 2001-2010 relatif sama dengan tiga dekade sebelumnya, sedangkan kontribusi pertumbuhan

ekonomi meningkat tajam. Pada periode tersebut, kontribusi penduduk dan PDB per kapita melebihi penurunan emisi dari perbaikan intensitas energi. Sementara itu, peningkatan penggunaan batubara relatif terhadap sumber energi lain membalikkan tren penurunan intensitas karbon (dekarbonisasi) jangka panjang (lihat Gambar 1.1). Temuan tersebut merekomendasikan bahwa aktivitas ekonomi dan konsumsi energi sebagai isu sentral terkait kebijakan pengurangan emisi GRK saat ini dan terutama di waktu yang akan datang.



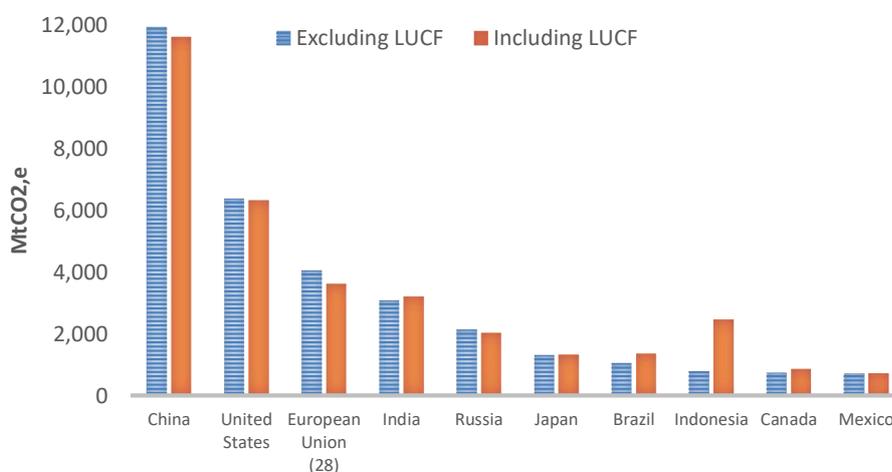
Sumber: IPCC (2014)

**Gambar 1.1 Dekomposisi Perubahan Total Emisi CO<sub>2</sub> Global**

Berdasarkan data Climate Watch yang dirilis oleh World Resources Institute – WRI (2018) hampir 70% GRK total di dunia pada tahun 2014 dihasilkan oleh sepuluh negara saja dimana Indonesia termasuk salah satunya. Kesepuluh negara penghasil emisi GRK terbesar tersebut berpenduduk sekitar 60% penduduk dunia dan berkontribusi terhadap sekitar 74% PDB dunia. China merupakan penghasil emisi GRK terbesar di dunia dengan pangsa terhadap emisi GRK global sekitar 26% tanpa memasukkan emisi dari alih fungsi lahan dan kehutanan – *land use change and forestry* (LUCF) dan 23% jika memasukkan LUCF ke dalam perhitungan. Sementara itu, Indonesia menempati peringkat ke-7 dan ke-5 berdasarkan kedua skenario tersebut (lihat Gambar 1.2) dan menjadi satu-satunya negara ASEAN yang masuk ke dalam sepuluh penghasil emisi GRK terbesar di dunia.

Pemerintah Indonesia telah berkomitmen pada *G20 Pittsburgh Summit* dan *Conference of Parties* (COP) 15 tahun 2009 untuk berpartisipasi aktif menurunkan

emisi GRK sebesar 26% (dengan usaha sendiri) dan sebesar 41% (jika mendapat bantuan internasional) pada tahun 2020 (Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral – KESDM, 2016a)<sup>1</sup>. Sebagai tindak lanjut dari komitmen tersebut, pada tahun 2011 dikeluarkan Peraturan Presiden No. 61 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi GRK dan Peraturan Presiden No. 71 tentang Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional. RAN-GRK mengusulkan aksi mitigasi pada lima bidang prioritas: pertanian, kehutanan dan lahan gambut, energi dan transportasi, industri, pengelolaan limbah, serta kegiatan pendukung lainnya.



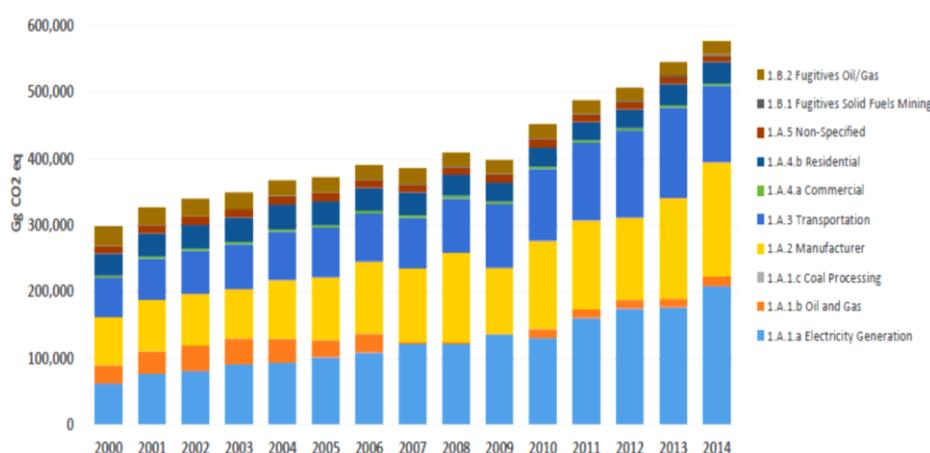
Sumber: WRI (2018), diolah

**Gambar 1.2 Sepuluh Negara Penghasil Emisi GRK Terbesar Tahun 2014**

Sejak tahun 2010 sektor energi merupakan penyumbang terbesar emisi GRK nasional dengan pangsa sekitar 32% pada tahun 2014. Sementara itu, sumber-sumber lain beserta pangsa masing-masing adalah kebakaran lahan gambut (*peat fire*, 28%); penggunaan lahan, alih fungsi lahan, dan kehutanan (*land use, land use change, and forestry – LULUCF*, 27%); pertanian (6%), limbah (*waste*, 5%), dan proses industri dan penggunaan produk (*industrial process and product uses – IPPU*, 2%). Dalam kurun waktu 2000-2014 emisi GRK dari sektor energi tumbuh rata-rata 4,8% per tahun dan kenaikan tertinggi terjadi pada periode 2010-2014 yang mencapai rata-rata 6,3% per tahun (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan – KLHK, 2017a).

<sup>1</sup> Pada COP-21 di Paris tahun 2015, target tersebut direvisi menjadi 29% (dengan usaha sendiri) dan sebesar 41% (jika mendapat bantuan internasional) pada tahun 2030

Mengacu pada Panduan IPCC Tahun 2006, Kementerian Lingkungan Hidup – KLH (2012) membagi emisi GRK dari sektor energi ke dalam dua kategori utama, yaitu pembakaran bahan bakar (kode I.A.) dan emisi *fugitive* (kode 1.B.). Emisi GRK dari sektor energi didominasi oleh pembakaran bahan bakar fosil dengan pangsa pada tahun 2014 sekitar 96% dan sisanya bersumber dari aktivitas *fugitive*. Dibandingkan tahun 2010, emisi pada tahun tersebut telah meningkat lebih dari dua kali lipat dibandingkan tahun 2010, atau tumbuh rata-rata 5,3% per tahun dalam kurun waktu 2000-2014 dengan kenaikan tertinggi terjadi pada periode 2010-2014 yang mencapai rata-rata 6,6% per tahun.



Sumber: KLHK (2017a)

### Gambar 1.3 Emisi GRK Nasional Sektor Energi Tahun 2000-2014

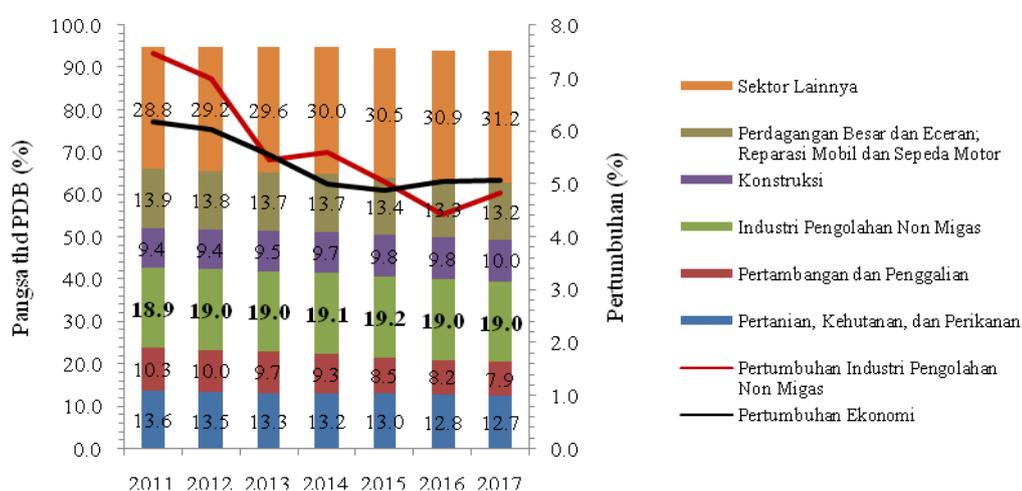
Secara sektoral emisi GRK nasional yang bersumber dari pembakaran bahan bakar dihasilkan oleh tiga sektor utama, yaitu pembangkitan listrik, industri pengolahan, dan transportasi dengan pangsa masing-masing sekitar 40%, 31%, dan 21% pada tahun 2014 (lihat Gambar 1.3). Meskipun memiliki pangsa terbesar, namun pembangkitan listrik merupakan produsen energi, sehingga emisi dari sektor ini secara tidak langsung berhubungan dengan sektor-sektor lain, terutama industri pengolahan, sebagai konsumen energi akhir. Jika emisi dari sektor pembangkitan listrik dilibatkan sebagai emisi tidak langsung maka industri pengolahan dapat menjadi penghasil emisi GRK nasional terbesar. Perkiraan tersebut didasarkan pada laporan IPCC (2014) bahwa lebih dari 40% emisi GRK global dari pembangkitan listrik dan produksi panas secara tidak langsung dikeluarkan oleh sektor industri.

KESDM (2016b) menegaskan bahwa sektor industri merupakan pengguna listrik PLN terbesar kedua, setelah rumahtangga, dengan kontribusi terhadap konsumsi listrik total sekitar 33% pada tahun 2014.

KLHK (2017a) mencatat emisi GRK industri pengolahan pada tahun 2000 sebanyak 72.300 juta ton CO<sub>2</sub> telah meningkat tajam hampir 2,5 kali lipat menjadi 171.593 juta ton CO<sub>2</sub> pada tahun 2014, atau tumbuh rata-rata 6,4% per tahun dalam kurun waktu 2000-2014 dengan pertumbuhan tertinggi terjadi pada periode 2010-2014 yang mencapai 6,7% per tahun. Kenaikan tersebut searah dengan pertumbuhan konsumsi energi yang mencapai sekitar 7% per tahun dalam kurun waktu yang sama (Ministry of Energy and Mineral Resource – MEMR, 2018). Selain itu, struktur energi industri pengolahan yang didominasi oleh bahan bakar fosil berkontribusi besar terhadap emisi GRK yang dihasilkan. KESDM (2015) menyebutkan pada tahun 2013 lebih dari 80% konsumsi energi akhir industri pengolahan adalah energi fosil dengan rincian batubara (45%), gas (29%), dan BBM (10%), sedangkan sisanya adalah listrik (9%), dan biomassa (10%). Menurut Kementerian Perindustrian – Kemenperin (2015) sekitar 60-70% energi yang dikonsumsi oleh industri pengolahan bersumber dari delapan jenis industri: semen, logam & baja, tekstil, pulp & kertas, kimia, pupuk, kaca & keramik, dan pengolahan kelapa sawit. Industri-industri tersebut dikelompokkan sebagai industri intensif (padat atau lahap) energi atau industri berpolusi tinggi (KLHK, 2017b).

Penurunan emisi GRK dari industri pengolahan dipandang sebagai kebijakan dilematis berdasarkan dua argumentasi berikut. **Pertama**, secara sektoral output industri pengolahan memiliki peranan penting dalam pembentukan PDB dengan pangsa rata-rata sekitar 19% per tahun dalam kurun waktu 2011-2017 (lihat Gambar 1.4). Meskipun mengalami laju pertumbuhan output yang menurun, tetapi pangsa tersebut adalah terbesar dibandingkan dengan sektor-sektor lainnya. Selain itu, penurunan output industri pengolahan searah dengan pertumbuhan ekonomi yang mengindikasikan besarnya ketergantungan perekonomian Indonesia terhadap aktivitas industri pengolahan. **Kedua**, dalam rangka meningkatkan peranan industri sebagai pilar dan penggerak perekonomian nasional, pemerintah menerbitkan Rencana Induk Pembangunan Industri Nasional (RIPIN) Tahun 2015-2035 melalui

Peraturan Presiden Nomor 14 Tahun 2015 (Kemenperin, 2015). Salah satu sasaran yang ditargetkan adalah meningkatkan pertumbuhan output industri pengolahan menjadi dua digit (10,5%) dan pangsa terhadap PDB menjadi 30% pada tahun 2035. Dengan asumsi tidak ada kebijakan penurunan emisi dan konservasi energi baru yang signifikan sampai dengan tahun 2035 (*business as usual* – BAU), target tersebut dapat memicu peningkatan emisi GRK di waktu yang akan datang. Terlebih lagi beberapa industri prioritas yang direkomendasikan oleh RIPIN untuk dikembangkan merupakan pengguna energi dan penghasil emisi GRK terbesar, diantaranya tekstil, logam, dan kimia.



Sumber: BPS (2018), diolah

**Gambar 1.4** Output Industri Pengolahan Indonesia Tahun 2011-2017

Hasil simulasi yang dilakukan oleh KESDM (2015) menunjukkan bahwa dalam kondisi BAU kebutuhan energi sektor industri akan mendominasi kebutuhan energi akhir nasional dalam jangka panjang. Dalam kurun waktu 2013-2035 konsumsi energi di sektor tersebut akan tumbuh rata-rata 4,7% per tahun dan komposisi energi pada tahun 2035 masih didominasi oleh energi fosil yang meliputi batubara (29%), gas bumi (25%), dan minyak (11%), sedangkan sisanya adalah listrik (24%) dan biomassa (9%). Dengan skenario tersebut diperkirakan emisi GRK dari sektor industri akan tumbuh rata-rata 5,8% per tahun. Kondisi tersebut perlu diwaspadai sebagaimana peringatan Chewniwchan (2012) bahwa dalam 30 tahun terakhir tingkat emisi industri di negara-negara berkembang dalam skala global

mengalami kecenderungan peningkatan, sedangkan di negara-negara maju justru menurun cukup signifikan.

Secara konseptual, industri hijau (*green industry*) merupakan solusi untuk menghadapi dilemma tersebut dimana pada deklarasi para pemimpin negara di Manila tanggal 9-11 September 2009 Indonesia bertekad untuk mengurangi emisi karbon dan efisiensi penggunaan sumber daya, terutama pada industri-industri yang lahap energi menuju *green industry* (Kemenperin, 2012a). Dalam Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 3 Tahun 2014 (UU No.3/2014) tentang Perindustrian, industri hijau didefinisikan sebagai industri yang dalam proses produksinya mengutamakan upaya efisiensi dan efektivitas penggunaan sumber daya secara berkelanjutan, sehingga mampu menyelaraskan pembangunan industri dengan kelestarian fungsi lingkungan hidup serta dapat memberi manfaat bagi masyarakat. Dengan demikian, konsep industri hijau merekomendasikan bahwa aktivitas industri pengolahan tidak hanya berfokus pada manfaat ekonomi, tetapi juga memperhatikan dampak lingkungan dan sosial.

Evaluasi terhadap penerapan industri hijau memerlukan suatu ukuran baku yang mampu mengintegrasikan aspek ekonomi dan aspek lingkungan (ekologi) secara simultan. Salah satu ukuran kuantitatif yang telah secara luas digunakan untuk membandingkan kinerja ekonomi dan kinerja lingkungan yang dianggap ‘*trade-off*’ adalah eko-efisiensi (*eco-efficiency*)<sup>2</sup>. Prinsip dasar dari eko-efisiensi adalah bagaimana entitas ekonomi (perusahaan, industri, bahkan perekonomian) dapat meningkatkan nilai barang dan jasa melalui penggunaan sumberdaya yang optimal dan dampak lingkungan yang kecil (Picazo-Tadeo dkk., 2012; Robaina-Alves dkk., 2015). Konsep eko-efisiensi telah mendapat perhatian besar dari para pengambil kebijakan, peneliti, dan manajer perusahaan sebagai instrumen atau pendekatan praktis dalam analisis berkelanjutan (*sustainable analysis*).

Eko-efisiensi dianggap sebagai koreksi terhadap efisiensi ekonomi yang hanya berfokus pada penilaian kinerja ekonomi dengan mengabaikan besarnya

---

<sup>2</sup> Eko-efisiensi merupakan indikator umum dari ukuran kinerja ekonomi dan lingkungan. Pada banyak literatur dan studi empiris, istilah tersebut sering diartikan sebagai efisiensi lingkungan

dampak lingkungan, baik dari penggunaan sumberdaya alam maupun emisi yang dihasilkan dari aktivitas produksi. Menurut Robaina-Alves dkk. (2015) efisiensi ekonomi tidak mencerminkan efisiensi lingkungan karena proses produksi yang menggunakan banyak bahan bakar fosil atau teknologi murah misalnya, meskipun efisien secara ekonomi, dapat menghasilkan emisi atau dampak lingkungan lain yang besar. Namun sebaliknya, inefisiensi ekonomi menunjukkan inefisiensi lingkungan. Sebagai contoh limbah material atau penggunaan energi yang tidak efisien akan mengakibatkan inefisiensi secara teknis, ekonomis, dan lingkungan yang disebabkan oleh banyaknya sumberdaya yang terbuang dan emisi yang dihasilkan dari produksi.

Secara sederhana eko-efisiensi dapat diukur melalui rasio atau perbandingan dari indikator ekonomi dan indikator lingkungan (Huppel & Ishikawa, 2005; 2007), misalnya PDB per emisi CO<sub>2</sub> pada tingkat makro atau output per unit limbah (*waste*) pada tingkat mikro. Pengukuran eko-efisiensi berbasis indikator rasio (*indicator-based approach*) tersebut mempunyai beberapa kelemahan. Salah satunya adalah sulit diterapkan pada kasus lebih dari satu input-output konvensional serta dampak lingkungan yang dihasilkan oleh suatu aktivitas ekonomi (Coelli dkk., 2015; Picazo-Tadeo dkk., 2012). Oleh karena itu, pendekatan tersebut jarang digunakan dalam studi-studi empiris dan pendekatan berbasis *frontier* (*frontier-based approach*) merupakan solusi alternatif yang mampu mengatasi kendala tersebut.

Pengukuran eko-efisiensi berbasis *frontier* secara teknis melibatkan output yang tidak diinginkan (*undesirable output*) atau '*bad output*' seperti emisi bersamasama dengan output yang diinginkan (*desirable output*) atau '*good output*' seperti produksi ke dalam model teknologi produksi (Lansink & Wall, 2014; Lauwers, 2009). Pada studi pengukuran eko-efisiensi industri pengolahan, *Data Envelopment Analysis* (DEA) dominan digunakan sebagai model *frontier*. Keunggulan utama DEA yang tidak memerlukan asumsi yang melandasi spesifikasi hubungan fungsional antara input dan output (Coelli, 2005; Seiford & Thrall, 1990) membuat model ini relatif mudah diterapkan. Dari aspek metodologi, DEA berkembang pesat dan menawarkan berbagai jenis pendekatan, teknik, dan metode pengukuran seperti yang direview oleh Ramli & Munisamy (2013), Song dkk. (2012), dan Zhou dkk. (2008). Sementara itu, metode pengukuran eko-efisiensi paling populer dalam studi

energi dan lingkungan adalah *Directional Distance Function* (DDF) sebagaimana direview oleh Zhang & Choi (2014). Kelebihan DDF yang mampu memperlakukan dua jenis output secara asimetrik (Färe dkk., 2005) sangat relevan diterapkan pada industri pengolahan yang bertujuan meningkatkan output dan sekaligus mengurangi emisi secara bersama-sama.

Fungsi jarak (*distance function*), termasuk DDF, merupakan metode populer dalam pengukuran efisiensi relatif berbasis *frontier*. Metode tersebut mengasumsikan bahwa kelompok entitas ekonomi, atau *decision making unit* (DMU) dalam istilah analisis efisiensi, yang berbeda memiliki homogenitas dalam teknologi produksi (Battese & Rao, 2002; O'Donnell dkk., 2008). Fakta pada banyak kasus asumsi tersebut tidak terpenuhi, sehingga hasil pengukuran eko-efisiensi menjadi *bias* karena didasarkan pada *frontier* yang tidak sesuai (Chiu dkk., 2012b). Terkait dengan masalah tersebut beberapa studi eko-efisiensi industri pengolahan, terutama melibatkan kelompok berbeda (Bai dkk., 2017; Feng & Wang, 2018; Lin & Chen, 2019; Lin & Xu, 2018), menerapkan kerangka *meta-frontier* yang mampu mengakomodasi heterogenitas teknologi tersebut. Selain itu, *meta-frontier* juga dapat memberikan informasi tentang kesenjangan teknologi antar kelompok serta dekomposisi inefisiensi yang bersumber dari perbedaan teknologi dan kegagalan manajerial yang berguna untuk kebijakan peningkatan eko-efisiensi.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini akan menganalisis eko-efisiensi industri pengolahan di Indonesia yang difokuskan pada industri intensif energi, yaitu pengolahan kelapa sawit, tekstil, pulp & kertas, kimia, pupuk, kaca & keramik, semen, dan logam & baja.<sup>3</sup> Pada penelitian ini, pengukuran eko-efisiensi dilakukan pada data mikro tingkat perusahaan (*firm*)<sup>4</sup> dan analisis dilakukan secara sektoral berdasarkan jenis industri. Sebagaimana studi-studi terdahulu, DEA dan DDF digunakan sebagai model *frontier* dan metode pengukuran eko-efisiensi. Selain itu,

---

<sup>3</sup> Urutan penyebutan jenis industri tidak menunjukkan peringkat dalam konsumsi energi, tetapi didasarkan pada urutan kode KBLI 2009 (BPS) untuk memudahkan pengolahan data.

<sup>4</sup> Istilah *firm* dalam penelitian ini mengacu pada *establishment*

untuk mengatasi heterogenitas teknologi dari kedelapan jenis industri penelitian ini juga menerapkan kerangka analisis *meta-frontier*.

## 1.2. Kesenjangan Penelitian

Studi-studi pengukuran eko-efisiensi industri pengolahan telah dilakukan di beberapa negara. Pada dekade terakhir studi-studi tersebut banyak dilakukan di China yang mengindikasikan tingginya tingkat pencemaran di negara tersebut. Analisis eko-efisiensi sebagian besar dilakukan secara spasial menggunakan data meso, baik antar kota (Yuan dkk., 2013) maupun antar provinsi dalam satu negara (Chen dan Jia, 2017; Fujii & Managi, 2013; Ramli & Munisamy, 2015; Zhang dkk., 2008). Zaim (2004) dan Zofio & Prieto (2001) adalah beberapa peneliti yang menggunakan data makro antar negara. Analisis eko-efisiensi secara sektoral dilakukan oleh Bai dkk. (2017), Fujii dkk. (2016), Manello (2012) dan Pérez dkk. (2017) pada data mikro tingkat *firm*, sedangkan Chung & Heshmati (2015) dan Emrouznejad & Yang (2016) menggunakan data tingkat agregat. Selain itu, beberapa studi hanya berfokus pada satu jenis industri tertentu yang menghasilkan emisi tinggi, yaitu: semen (Long dkk., 2015; Mandal & Madheswaran, 2010; Oggioni dkk., 2011); kimia (Domazlicky & Weber, 2004; Manello, 2017); tekstil (Jiang dkk., 2016), pulp & kertas (Alfredsson dkk., 2016; Yu dkk., 2016), keramik (Picazo-Tadeo & Prior, 2009; Picazo-Tadeo dkk., 2005), logam (Shao & Wang, 2016), dan kaca (Boyd dkk., 2002).

Sejauh ini studi pengukuran kinerja industri pengolahan di Indonesia hanya berfokus pada kinerja ekonomi (output) tanpa melibatkan kinerja lingkungan (emisi) ke dalam perhitungan, sehingga tidak dapat menjawab isu pemanasan global dan perubahan iklim yang menjadi perhatian dalam beberapa dekade terakhir. Margono & Sharma (2006) mengestimasi tingkat efisiensi dan produktivitas serta mengidentifikasi determinan inefisiensi pada empat jenis industri terpilih: makanan, tekstil, kimia, dan produk baja. Sari dkk. (2016) dan Suyanto dkk. (2009) dalam studi masing-masing menguji efek *spillover* dari investasi asing terhadap produktivitas. Sementara itu, Setiawan dkk. (2012) menganalisis hubungan antara efisiensi teknis dan konsentrasi industri pada industri makanan dan minuman. Penelitian ini mencoba untuk mengisi ketidaktersediaan studi-studi efisiensi industri pengolahan

di Indonesia yang mengintegrasikan kinerja ekonomi dan lingkungan secara simultan ke dalam teknologi produksi.

Analisis *meta-frontier* telah diterapkan di Indonesia oleh Battese dkk. (2004) untuk mengukur efisiensi industri garmen. Menggunakan pendekatan SFA (*stochastic meta-frontier*) yang dibangun oleh Battese & Rao (2002), studi tersebut membagi DMU ke dalam lima kelompok berdasarkan lokasi geografis. Namun, seperti studi-studi efisiensi di Indonesia mereka tidak melibatkan aspek lingkungan ke dalam model (*meta-frontier* konvensional). Sementara itu, penerapan *meta-frontier* pada studi eko-efisiensi industri pengolahan di negara lain juga masih sedikit jumlahnya. Feng & Wang (2018), Lin & Chen (2019), dan Lin & Xu (2018) yang memfokuskan pada industri logam menggunakan data meso antar provinsi di China. Mereka mengelompokkan DMU ke dalam sejumlah kluster secara spasial berdasarkan lokasi geografis. Di negara yang sama Bai dkk. (2017) menganalisis kinerja lingkungan secara sektoral menggunakan data mikro tingkat agregat. Pengelompokan DMU dilakukan secara statistik melalui analisis kluster berdasarkan indikator intensitas energi dan tingkat polusi. Berbeda dengan studi-studi tersebut, penelitian ini mencoba untuk menerapkan *meta-frontier* pada data mikro tingkat *firm* dengan kategori jenis industri intensif energy sebagai dasar pengelompokan DMU.

Selain mengukur tingkat eko-efisiensi, faktor-faktor yang mempengaruhi (determinan) eko-efisiensi diidentifikasi pada beberapa studi diantaranya Fujii dan Managi (2013), Fan dkk. (2016), Kumar (2006), Li & Wang (2014), Long dkk. (2015), Manello (2012), Yuan dkk. (2013), dan Taskim & Zaim (2000). Mereka mengajukan faktor-faktor yang berbeda dan bahkan menghasilkan kesimpulan yang berbeda untuk faktor yang sama. Dengan kata lain, tidak terdapat pedoman baku dalam pemilihan faktor-faktor yang mempengaruhi eko-efisiensi dan kesimpulan sangat bergantung pada jenis data, serta model dan metode yang digunakan. Berdasarkan studi-studi terdahulu tentang eko-efisiensi dan determinan emisi serta karakteristik data yang digunakan, pada penelitian ini akan diuji pengaruh beberapa faktor: investasi asing, efek skala, efek komposisi, intensitas energi, dan intensitas karbon, terhadap eko-efisiensi industri pengolahan di Indonesia.

Secara khusus hubungan antara efek skala dan eko-efisiensi dinyatakan dalam bentuk non-liner yang bertujuan untuk menguji Hipotesis *Environmental Kuznets Curve* (EKC). Secara umum Hipotesis yang pertama kali ditemukan Grossman & Krueger (1991) tersebut menyatakan bahwa hubungan antara pendapatan dan degradasi lingkungan berbentuk “U terbalik” (Dinda, 2004; Stern, 2004). Li & Wang (2014), Long dkk. (2015), Taskim & Zaim (2001), dan Yuan dkk. (2013) adalah beberapa peneliti yang menguji keberadaan EKC pada studi eko-efisiensi. Hasil pengujian Hipotesis EKC sangat penting untuk implikasi kebijakan. Jika hipotesis tersebut diterima, maka hal ini mengimplikasikan bahwa pertumbuhan ekonomi merupakan sarana untuk perbaikan lingkungan. Namun sebaliknya jika hipotesis tersebut tidak berlaku, maka intervensi publik diperlukan untuk mengurangi kerusakan lingkungan dan mewujudkan pembangunan berkelanjutan (Perman dkk., 2003).

### **1.3. Tujuan**

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk menganalisis eko-efisiensi industri pengolahan di Indonesia yang difokuskan pada industri intensif energi. Tujuan tersebut dibagi ke dalam empat kajian, yaitu: (1) mengukur dan membandingkan eko-efisiensi; (2) mengukur dan membandingkan kesenjangan teknologi; (3) mendekomposisi sumber eko-inefisiensi; dan (4) mengidentifikasi determinan eko-inefisiensi. Secara detail tujuan berdasarkan lingkup kajian tersebut dijabarkan sebagai berikut:

1. Mengukur dan membandingkan eko-efisiensi
  - a. Mengukur skor eko-efisiensi industri intensif energi, yang meliputi pengolahan kelapa sawit, tekstil, pulp & kertas, kimia, pupuk, kaca & keramik, semen, dan logam & baja.
  - b. Menguji perbedaan skor eko-efisiensi antara industri pengolahan kelapa sawit, tekstil, pulp & kertas, kimia, pupuk, kaca & keramik, semen, dan logam & baja.
2. Mengukur dan membandingkan kesenjangan teknologi

- a. Mengukur tingkat kesenjangan teknologi industri industri intensif energi, yang meliputi pengolahan kelapa sawit, tekstil, pulp & kertas, kimia, pupuk, kaca & keramik, semen, dan logam & baja.
  - b. Menguji perbedaan tingkat kesenjangan teknologi antara industri pengolahan kelapa sawit, tekstil, pulp & kertas, kimia, pupuk, kaca & keramik, semen, dan logam & baja.
3. Mendekomposisi sumber eko-inefisiensi
- a. Mengukur kontribusi kesenjangan teknologi terhadap eko-inefisiensi industri intensif energi, yang meliputi pengolahan kelapa sawit, tekstil, pulp & kertas, kimia, pupuk, kaca & keramik, semen, dan logam & baja.
  - b. Mengukur kontribusi kegagalan manajerial terhadap eko-inefisiensi industri intensif energi, yang meliputi pengolahan kelapa sawit, tekstil, pulp & kertas, kimia, pupuk, kaca & keramik, semen, dan logam & baja.
4. Mengidentifikasi determinan eko-efisiensi
- a. Menguji pengaruh, investasi asing, efek skala, efek komposisi, intensitas energi, dan intensitas karbon terhadap eko-efisiensi industri industri intensif energi, yang meliputi pengolahan kelapa sawit, tekstil, pulp & kertas, kimia, pupuk, kaca & keramik, semen, dan logam & baja.
  - b. Menguji Hipotesis *Environmental Kuznets Curve* (EKC) pada industri industri intensif energi, yang meliputi pengolahan kelapa sawit, tekstil, pulp & kertas, kimia, pupuk, kaca & keramik, semen, dan logam & baja.

#### 1.4. Kontribusi Penelitian

Penelitian ini dapat dianggap sebagai studi pertama yang menganalisis eko-efisiensi industri pengolahan di Indonesia dengan ruang lingkup kajian, data, serta pendekatan dan metode yang relatif komprehensif. **Pertama**, secara akademis penelitian ini menyediakan landasaan teoritis dan metodologis pengukuran eko-efisiensi yang mengintegrasikan kinerja ekonomi dan kinerja lingkungan ke dalam model analisis secara simultan, sehingga dapat dijadikan referensi untuk studi-studi di bidang ekonomi lingkungan. Meskipun diterapkan pada industri pengolahan, tetapi konsep dan teknik pengukuran eko-efisiensi dari penelitian ini dapat diaplikasi pada

berbagai sektor terutama bidang-bidang prioritas yang tertuang dalam RAN-GRK seperti pertanian, kehutanan, transportasi, pembangkitan listrik, dan sektor-sektor lain yang menimbulkan dampak lingkungan dari aktivitas operasional perusahaan atau industri.

**Kedua**, DDF merupakan perluasan dari fungsi jarak tradisional (*Shephard's distance function* – SDF) yang memiliki keterbatasan dalam memperlakukan multi-input atau multi-output secara simetris. Pengukuran DODF yang mampu memaksimalkan output yang diinginkan (*desirable output*) dan sekaligus meminimumkan output yang tidak diinginkan (*undesirable output*) secara asimetris menjadikan metode ini dapat secara luas diterapkan tidak hanya pada studi di bidang lingkungan, tetapi juga pada bidang lain seperti energi, perbankan, dan bidang-bidang lain yang bertujuan memperlakukan multi-output secara asimetrik. Bahkan, metode tersebut dapat digunakan pada studi evaluasi kebijakan makro yang melibatkan multi-tujuan yang bersifat '*trade-off*'.

**Ketiga**, kerangka *meta-frontier* yang mendasarkan pada asumsi realistis bahwa kelompok DMU memiliki heterogenitas dalam teknologi merupakan alat analisis yang sangat aplikatif diterapkan pada berbagai bidang studi. Pengelompokan DMU berdasarkan lokasi geografis sebagaimana digunakan pada sebagian besar studi, sangat relevan dengan kondisi Indonesia sebagai negara kepulauan yang memiliki 34 provinsi yang terdiri dari 514 kabupaten dan kota. Selain itu, kondisi demografi dan sosial-ekonomi penduduk Indonesia yang sangat beragam memungkinkan untuk membuat dasar pengelompokan lain dalam analisis *meta-frontier*.

**Keempat**, penelitian ini menghasilkan beberapa informasi penting meliputi skor eko-efisiensi sebagai indikator kuantitatif yang mengintegrasikan kinerja ekonomi dan kinerja lingkungan secara simultan, determinan eko-efisiensi, kesenjangan teknologi antar industri, dan sumber eko-inefisiensi. Informasi-informasi tersebut diharapkan dapat sebagai evaluasi terhadap pelaksanaan industri hijau dan dasar kebijakan untuk meningkatkan kinerja ekonomi dan lingkungan dari industri pengolahan, khususnya industri intensif energi, berkelanjutan di Indonesia.