



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGEMBANGAN MODEL PERMINTAAN ENERGI SEKTOR  
INDUSTRI SEMEN, INDUSTRI BAJA, INDUSTRI PULP DAN  
KERTAS DENGAN PENDEKATAN *ENGINEERING-ECONOMIC*  
*MODEL***

**TESIS**

**DENNY SUKMA LAKSANA  
(0906651334)**

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
JULI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGEMBANGAN MODEL PERMINTAAN ENERGI SEKTOR  
INDUSTRI SEMEN, INDUSTRI BAJA, INDUSTRI PULP DAN  
KERTAS DENGAN PENDEKATAN *ENGINEERING-ECONOMIC*  
*MODEL***

**TESIS**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik**

**DENNY SUKMA LAKSANA  
(0906651334)**

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
JULI 2012**

**HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

**Penelitian Ini Adalah Hasil Karya Saya Sendiri,  
Dan Semua Sumber Baik Yang Dikutip Maupun Dirujuk  
Telah Saya Nyatakan Dengan Benar**

Nama

Denny Sukma Laksana

NPM

0906651334

Tanda Tangan



Tanggal

04 Juli 2012

## HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :

Nama : Denny Sukma Laksana  
NPM : 0906651334  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul Tesis : Pengembangan Model Permintaan Energi Sektor Industri Semen, Industri Baja, Industri Pulp Dan Kertas Dengan Pendekatan *Engineering-Economic Model*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Widodo Wahyu Purwanto, DEA (.....)  
Pembimbing : Dr. Hariyanto (.....)  
Penguji : Kamarza Mulia, PhD (.....)  
Penguji : Dr. Ir. Asep Handaya Saputra, M.Eng (.....)  
Penguji : Dr. rer.nat Ir. Yuswan Muharam, MT (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 04 Juli 2012

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena berkat rahmat, nikmat, pertolongan, serta karuniaNya yang tak pernah putus sedetik pun, juga shalawat serta salam penulis panjatkan kepada baginda Nabi Muhammad SAW. dan diiringi dengan usaha dan doa, akhirnya Tesis ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya.

Makalah tesis dengan judul “**Pengembangan Model Permintaan Energi Sektor Industri Semen, Industri Baja, Industri Pulp Dan Kertas Dengan Pendekatan *Engineering-Economic Model***” disusun untuk melengkapi persyaratan untuk meraih gelar Magister Teknik di Departemen Teknik Kimia FTUI.

Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu selama proses penulisan:

- Bapak Dr. Ir. Widodo W. Purwanto, DEA. Dan Bapak Dr. Hariyanto selaku pembimbing seminar atas bimbingan, ilmu, diskusi dan nasehatnya dalam pembuatan tesis ini
- Bapak Mahmud Sudibandriyo, PhD selaku pembimbing akademis
- Para dosen Departemen Teknik Kimia FTUI yang telah membimbing dan memberikan ilmu yang sangat berguna bagi penulis.
- Sahabat seperjuangan penulis di S2 Teknik Kimia UI angkatan 2009 & 2010.
- Seluruh pihak yang secara langsung maupun tidak langsung turut berkontribusi dalam penyusunan tesis ini.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam tesis ini, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun tetap penulis harapkan untuk lebih menyempurnakan tesis ini.

Depok Juli 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Denny Sukma Laksana  
NPM : 0906651334  
Program Studi : Magister Teknik Nimia  
Departemen : Teknik Kimia  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**PENGEMBANGAN MODEL PERMINTAAN ENERGI SEKTOR  
INDUSTRI SEMEN, INDUSTRI BAJA, INDUSTRI PULP DAN KERTAS  
DENGAN PENDEKATAN *ENGINEERING-ECONOMIC MODEL***

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada tanggal : 04 Juli 2012

Yang menyatakan



(Denny Sukma Laksana)

## ABSTRAK

Nama : Denny Sukma Laksana  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul : Pengembangan Model Permintaan Energi Sektor Industri Semen, Industri Baja, Industri Pulp Dan Kertas Pendekatan *Engineering-Economic Model*

Sektor energi mempunyai peran vital bagi pertumbuhan sektor ekonomi terutama untuk sektor produksi seperti sektor industri manufaktur. Berbeda dengan Negara maju, intensitas energi sektor industri Indonesia lebih tinggi dibanding intensitas rata-rata nasional yang menunjukkan ketidakefisienan penggunaan energi. Penelitian ini bertujuan mengembangkan model permintaan energi pada industri semen, baja dan pulp dan kertas dengan pendekatan *engineering-economic model*. Tahapan penelitian ini yaitu pengumpulan data, penentuan variabel, analisis data, pemodelan, dan simulasi dengan skenario konservasi dan dasar. Penelitian ini mendapatkan bahwa data untuk memetakan konsumsi energi dan intensitas energi pada industri manufaktur tidak konsisten sehingga gambaran konsumsi energi, intensitas energi dan intensitas emisi secara nasional tidak didapatkan. Dengan skenario konservasi industri semen dapat menghematan sebesar 150 juta GJ dan industri baja 111 juta GJ di tahun 2020.

**Kata Kunci:** permintaan energi, *Engineering-Economic Model*, industri manufaktur, industri semen, industri baja, industri pulp dan kertas.

## ABSTRACT

Name : Denny Sukma Laksana  
Study Program : Chemical Engineering  
Title : Development of Industrial Sector Energy Demand Model of Cement Industry, Steel Industry, Pulp and Paper Industry with Engineering-Economic Model Approach.

The energy sector has a vital role for the growth of economy sectors especially for production sectors such as the manufacturing industry. In contrast to developed countries, energy intensity of industrial sectors in Indonesia is higher than national average intensity which shows inefficient energy use. This research aims to develop a model of energy demand in cement, steel and pulp and paper industries with engineering - economic model approach. The methodologies are data collection, data analysis, variable determination, modeling, and simulation with conservation and basic scenarios. This research gets that data to mapping the energy consumption and energy intensity in the manufacturing industry is not consistent so the profile of energy consumption, energy intensity and emissions intensity is not obtained. With conservation scenarios the cement industry can save 150 million GJ and the steel industries 111 million GJ in 2020.

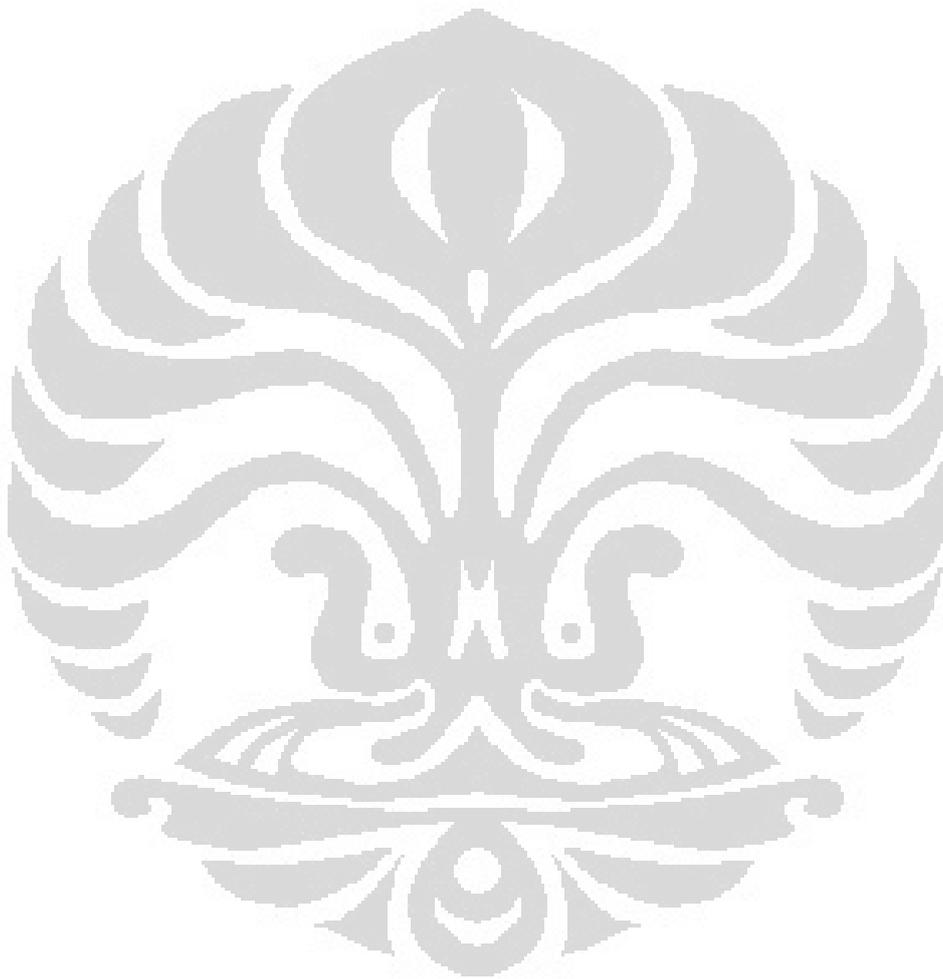
**Keywords:** energy demand, Engineering-Economic Model, manufacturing industry, cement industry, steel industry, pulp and paper industry.

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiii</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>4</b>
2.1 Penelitian Terkait Dengan Permintaan Energi di Indonesia.....	4
2.2 Penelitian Terkait Dengan Permodelan Permintaan Energi.....	4
2.3 Penelitian Terkait Dengan Sektor Industri Manufaktur.....	5
2.4 Model Permintaan Energi.....	7
2.4.1 Pendekatan Ekonometrik.....	8
2.4.2 Pendekatan End-Use.....	10
2.4.3 Pendekatan Input-Output.....	13
2.4.4 Pendekatan skenario.....	15
2.4.5 Pendekatan hibrid.....	16
2.5 <i>Energy Footprint</i> .....	17
2.6 Industri Semen.....	18
2.6.1 Unit Raw Mill.....	19
2.6.2 Unit <i>Coal Mill</i> .....	19
2.6.3 Unit <i>Burning</i> (kiln).....	19
2.6.4 Unit <i>Finish Mill</i> .....	21
2.6.5 Unit <i>Packing</i> .....	21

2.6.6	Energi Yang Digunakan Dalam Industri Semen .....	22
2.7	Industri Baja .....	23
2.7.1	Pengolahan Bijih Besi .....	24
2.7.2	Proses Peleburan.....	25
2.7.3	Kebutuhan Energi Dalam Industri Baja.....	26
2.8	Industri Pulp dan Kertas .....	28
2.9	Statistik Energi Indonesia.....	32
2.10	PowerSim Studio .....	34
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....</b>		<b>36</b>
3.1	Pola Pikir Penelitian .....	36
3.2	Pengumpulan Data dan Analisis Data .....	36
3.3	Penentuan Variabel.....	37
3.4	Pemodelan Permintaan Energi.....	38
3.4.1	Persamaan Matematis .....	38
3.4.2	Asumsi .....	40
3.5	Simulasi Model Permintaan Energi.....	43
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>44</b>
4.1	Industri Semen.....	44
4.1.1	Konsumsi Energi dan Produksi Industri Semen.....	44
4.1.2	Intensitas Energi Industri Semen.....	45
4.1.3	Intensitas Emisi CO <sub>2</sub> Industri Semen.....	46
4.1.4	Benchmark Intensitas Energi Industri Semen .....	47
4.1.5	<i>Energy Footprint</i> Industri Semen.....	48
4.1.6	Simulasi Model Permintaan Energi Industri Semen.....	50
4.2	Industri Baja .....	53
4.2.1	Konsumsi Energi dan Produksi Industri Baja.....	53
4.2.2	Intensitas Energi Industri Baja .....	54
4.2.3	Intensitas Emisi CO <sub>2</sub> Industri Baja .....	55
4.2.4	Benchmark Intensitas Energi Industri Baja.....	55
4.2.5	Energi Footprint Industri Baja Indonesia .....	56
4.2.6	Simulasi Model Permintaan Energi Industri Baja .....	58
4.3	Industri Pulp dan Kertas. ....	61
4.3.1	Konsumsi Energi dan Produksi Industri Pulp dan Kertas .....	61
4.3.2	Intensitas Energi Industri Pulp dan Kertas .....	63
4.3.3	Intensitas Emisi CO <sub>2</sub> Industri Pulp dan Kertas.....	65

4.3.4	Benchmark Intensitas Energi Industri Pulp dan Kertas .....	66
4.3.5	Energy Footprint Industri Pulp dan Kertas Indonesia .....	67
<b>BAB 5 KESIMPULAN .....</b>		<b>71</b>
5.1	Kesimpulan .....	71
5.2	Saran .....	71
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>72</b>

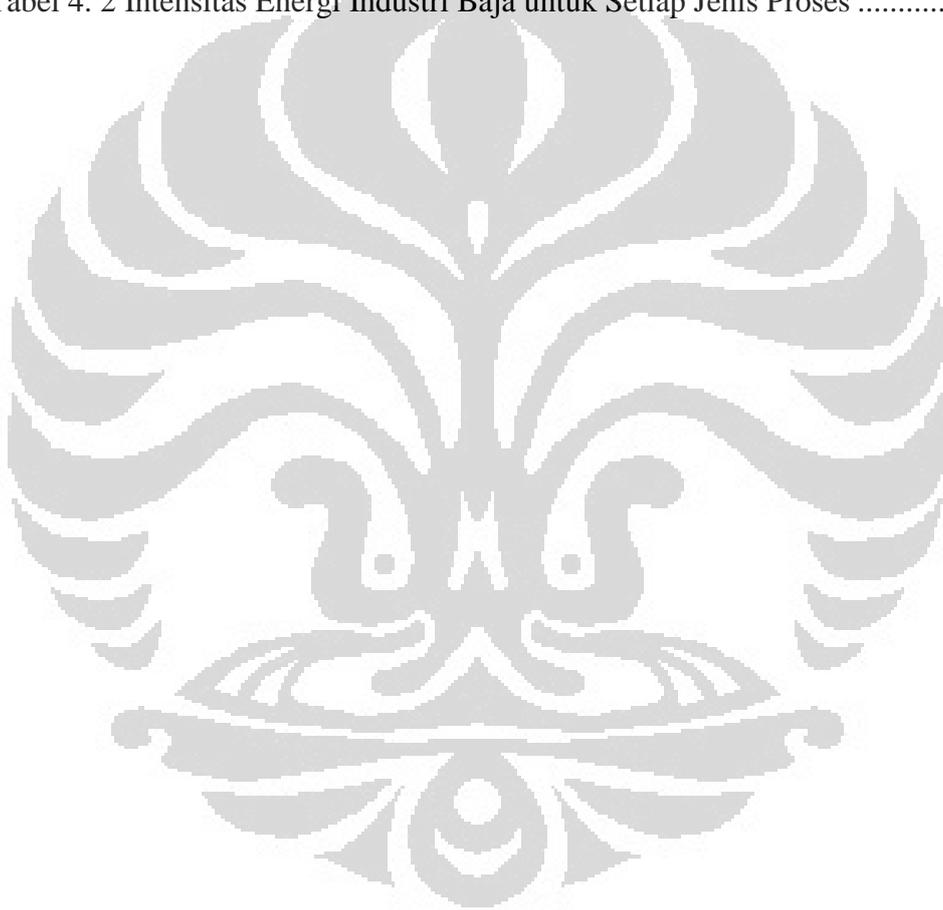


## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Siklus Kebijakan .....	8
Gambar 2. 2 Langkah Umum Pendekatan <i>End-Use</i> Pada Model Energi Listrik..	12
Gambar 2. 3 Estimasi Permintaan Energi Sektor Industri .....	12
Gambar 2. 4 Energy Footprints sektor manufaktur di Amerika Serikat .....	18
Gambar 2. 5 Alur energi pada proses produksi semen.....	22
Gambar 2. 6 Industri Hulu Pengolahan Logam .....	23
Gambar 2. 7 Industri Antara Pengolahan Logam.....	23
Gambar 2. 8 Industri Hilir Pengolahan Logam.....	24
Gambar 2. 9 Diagram Alir Teknologi Proses Produksi Pulp dan Kertas.....	29
Gambar 2. 10 Sistem Penyediaan Dan Kebutuhan Energi.....	33
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian.....	36
Gambar 4. 1 Produksi Semen dan Konsumsi Energi Industri Semen.....	44
Gambar 4. 2 Intensitas Energi Industri Semen Indonesia .....	46
Gambar 4. 3 Intensitas Emisi CO <sub>2</sub> Industri Semen Tahun 2001 - 2007.....	46
Gambar 4. 4 Intensitas Energi Industri Semen di beberapa Negara Tahun 2008 ..	47
Gambar 4. 5 Energi Footprint dan Emisi CO <sub>2</sub> Industri Semen tahun 2007 .....	49
Gambar 4. 6 Proyeksi Konsumsi Energi dan Produksi Industri Semen.....	50
Gambar 4. 7 Perbandingan Konsumsi Energi Intensitas Berubah dengan Konsumsi Energi Intensitas Tetap .....	51
Gambar 4. 8 Emisi Industri Semen 2008 – 2020 .....	52
Gambar 4. 9 Intensitas CO <sub>2</sub> Industri Semen Tahun 2008 - 2020.....	52
Gambar 4. 10 Produksi Baja dan Konsumsi Energi Industri Baja.....	53
Gambar 4. 11 Intensitas Energi Industri Baja Indonesia.....	54
Gambar 4. 12 Intensitas Emisi CO <sub>2</sub> Industri Baja Tahun 2001 - 2007 .....	55
Gambar 4. 13 Intensitas Energi Industri baja di beberapa Negara Tahun 2008 ....	56
Gambar 4. 14 Energi Footprint dan Emisi CO <sub>2</sub> Industri Baja tahun 2007.....	57
Gambar 4. 15 Proyeksi Konsumsi Energi dan Produksi Industri Baja .....	59
Gambar 4. 16 Perbandingan Konsumsi Energi Intensitas Berubah dengan Konsumsi Energi Intensitas Tetap .....	60
Gambar 4. 17 Emisi Industri Baja 2008 – 2020.....	60
Gambar 4. 18 Intensitas CO <sub>2</sub> Industri Baja Tahun 2008 – 2020.....	61
Gambar 4. 19 Produksi Pulp dan Konsumsi Energi Industri Pulp.....	62
Gambar 4. 20 Produksi Kertas dan Konsumsi Energi Industri Kertas.....	62
Gambar 4. 21 Intensitas Energi Industri Pulp Indonesia.....	64
Gambar 4. 22 Intensitas Energi Industri Kertas Indonesia .....	64
Gambar 4. 23 Intensitas Emisi CO <sub>2</sub> Industri Pulp Tahun 2001 – 2007.....	65
Gambar 4. 24 Intensitas Emisi CO <sub>2</sub> Industri Kertas Tahun 2001 – 2007.....	65
Gambar 4. 25 Intensitas Energi Industri Pulp di beberapa Negara Tahun 2008....	66
Gambar 4. 26 Intensitas Energi Industri Kertas di beberapa Negara Tahun 2008. 66	66
Gambar 4. 27 Energi Footprint dan Emisi CO <sub>2</sub> Industri Pulp tahun 2007.....	69
Gambar 4. 28 Energi Footprint dan Emisi CO <sub>2</sub> Industri Kertas tahun 2007.....	70

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Statistik penyediaan energi primer nasional .....	33
Tabel 2. 2 Statistik Konsumsi Energi Nasional .....	33
Tabel 2. 3 Statistik Konsumsi Energi Per Sektor ( <i>included biomass</i> ). .....	34
Tabel 2. 4 Simbol-Simbol yang Digunakan Dalam Powersim Studio.....	35
Tabel 3. 1 Asumsi Laju PDB yang Digunakan .....	41
Tabel 3. 2 Faktor Emisi untuk Tiap Jenis Bahan Bakar.....	42
Tabel 4. 1 Konsumsi Energi PT. X Tahun 2008 .....	45
Tabel 4. 2 Intensitas Energi Industri Baja untuk Setiap Jenis Proses .....	54



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kebijakan Energi Nasional (KEN) saat ini mengalami pergeseran dari supply side management menuju demand side management dimana penggunaan energi di Indonesia masih belum bisa dikatakan efisien (masih boros energi). Hal ini ditunjukkan oleh parameter intensitas energi atau sering disebut “*energy productivity*” (rasio permintaan energi/PDB) pada tahun 2008 sebesar 17,125 MBtu/US\$ yang masih lebih tinggi dibanding negara-negara Asia seperti Philipina 11,185, Malaysia 15,064, dan Jepang 4,651 (EIA, 2010). Walaupun permintaan energi per kapita Indonesia lebih rendah dibandingkan negara maju, namun hal ini hanya menunjukkan akses energi komersial dan aktivitas untuk kegiatan produktif masih rendah terbukti dari masih seringnya terjadi kelangkaan energi di beberapa tempat.

Penggunaan energi yang tidak efisien antara lain disebabkan produktivitas sektoral yang masih rendah karena kurang handalnya pasokan energi terutama sektor industri manufaktur sehingga beroperasi dibawah kapasitas. Selain itu, teknologi yang digunakan sektor pengguna energi pada umumnya sudah tua sehingga boros energi. Untuk sektor transportasi, terbatasnya moda transportasi massal yang efisien, keterbatasan infrastruktur, dan kurang sinkronnya kebijakan sektor energi dan sektor otomotif menyebabkan kemacetan lalu lintas yang mengakibatkan pemborosan energi. Di lain pihak, peralatan hemat energi yang banyak ditawarkan belakangan ini masih dinilai mahal dan dianggap sebagai ‘barang mewah’ serta belum adanya budaya hemat energi.

Sektor industri manufaktur merupakan sektor yang mengkonsumsi energi terbesar diantara semua sektor pengguna energi (transportasi, listrik, rumah tangga dan komersial) namun demikian intensitas energinya hampir dua kali lipat intensitas energi rata-rata nasional (Suehiro, 2007). Pertumbuhan input sektor industri terutama energi lebih tinggi dibanding pertumbuhan output (PDB sektor)

industri. Hal ini diduga terjadi “deindustrialisasi” yang antara lain disebabkan kekurangan pasokan energi terutama gas bumi dan listrik dan teknologi permesinan yang sudah tua dan boros energi dan faktor eksternal selain energi.

Sektor industri manufaktur dapat dibagi dalam kelompok padat energi (*Energy Intensive Industry*) dan kelompok yang tidak padat energi. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS) data konsumsi energi pada setiap subsektor industri manufaktur menunjukkan bahwa hanya 6 (enam) subsektor yang mengkonsumsi sekitar 80% dari total pasokan energi, sedangkan 20% pasokan energi diserap oleh 17 subsektor industri manufaktur. Enam subsektor yang masuk ke dalam subsektor padat energi adalah; subsektor Kimia, Logam, Makanan dan Minuman, Semen dan Keramik (galian bukan logam), Tekstil dan Pengolahan Kertas.

Dalam konteks kebijakan, pemerintah telah mengeluarkan PP No. 70 Tahun 2009 tentang konservasi energi yang mengatur antara lain kewajiban pengguna energi dengan jumlah tertentu (setara 6,000 TOE  $\approx$  252.000 GJ atau lebih) untuk melaksanakan manajemen energi dan audit energi; pemberian insentif, disinsentif bagi pelaku konservasi yang berhasil atau gagal, namun demikian belum terlihat hasilnya.

Model energi nasional telah dikembangkan sejak tahun 1997 oleh Pengkajian Energi Universitas Indonesia (PEUI) dengan nama *Indonesia Energy Outlook by System Dynamic* (INOSYD), terdiri dari model suplai energi dan permintaan energi (*reference energy system*), model makroekonomi (SAM/I-O) dan model lingkungan. Model INOSYD bersifat *bottom-up* (detail di bagian sistem energi suplai) dan optimisasi parsial serta *demand driven* (Purwanto, 2006). Model permintaan energi INOSYD masih menggunakan model ekonometrik berdasarkan teori ekonomi dan empiris, belum didasarkan pada *end used/engineering model* sehingga belum bisa dikaitkan dengan kebijakan *demand side management* yaitu konservasi dan efisiensi energi. Penelitian ini memodelkan subsektor padat energi industri manufaktur yakni, Semen, Logam, dan Pulp dan Kertas.

## 1.2 Perumusan Masalah

Subsektor Industri Kimia, Logam, Makanan dan Minuman, Semen dan Keramik (galian bukan logam), Tekstil dan Pengolahan Kertas merupakan subsektor yang padat energi pada industri manufaktur yang masih “boros” energi. Masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah seperti apa peta konsumsi energi dan intensitas energi pada subsektor-subsektor industri manufaktur di Indonesia. Dengan memodelkan subsektor-subsektor ini akan dapat diketahui intensitas energi dan peluang konservasi energi pada subsektor-subsektor yang dibahas.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan model permintaan energi yang berbasis *engineering-economic* model pada subsektor industri manufaktur yang akan diintegrasikan pada model INOSYD sehingga dapat:

- Memetakan dan memprediksikan kebutuhan energi dan *carbon footprint* pada keenam subsektor industri tersebut.
- Memprediksikan intensitas dan serta intensitas karbon dioksida pada subsektor industri.

## 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Analisis kebutuhan energi hanya pada industri Logam, Semen, dan Pulp dan Kertas.
- Kebutuhan energi yang dimaksud yaitu energi yang digunakan selama proses produksi tidak termasuk listrik untuk perkantoran dan transportasi pada industri.
- Intensitas energi dinyatakan dalam satuan Giga Joule (GJ)/ton produk untuk memudahkan pemodelan.
- Pemetaan Energi Footprint dilakukan dengan menggambarkan aliran pasokan energi dan kebutuhan energi di pabrik manufaktur.
- Emisi CO<sub>2</sub> dihitung hanya yang berasal dari proses pembakaran bahan bakar.
- Permodelan yang akan dilakukan berdasarkan kebijakan yang seragam untuk kurun waktu sampai dengan tahun 2020.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Penelitian Terkait Dengan Permintaan Energi di Indonesia**

Beberapa penelitian tentang sisi permintaan energi di Indonesia telah dilakukan oleh M.M. Pitt (1985), Sasmojo dan Tasrif (1991) yang mengulas sisi permintaan untuk Bahan Bakar Minyak khususnya kerosene, penelitian lain dilakukan oleh Ooi (1986) yang lebih fokus pada daerah rural. Schipper dan Meyers (1991) juga melakukan penelitian pada sisi permintaan energi dengan penekanan kepada efisiensi peralatan listrik rumah tangga.

Penelitian dalam skala regional, dimana Indonesia menjadi salah satu objek penelitian dilakukan oleh Ishguro M, dan T. Akiyama (1995) yang meneliti permintaan energi di negara-negara ASEAN, termasuk Indonesia pada tingkat agregat dengan menggunakan model ekonometrik, dan fokus penelitian adalah untuk melihat dampak dari kebijakan energi terhadap pertumbuhan permintaan. Sedangkan Dahl, dan Kurtubi (1997) melakukan penelitian terhadap perkiraan permintaan BBM dengan model cointegration. Penelitian tentang permintaan BBM yang dilakukan Saad S. (2009) adalah untuk memperkirakan elastisitas harga dan pendapatan terhadap harga. Penelitian yang dilakukan oleh Shrestha dan Marpaung (1999) yaitu dari sisi permintaan listrik dan terkait carbon tax.

Sun (2003) melakukan analisa terhadap intensitas energi pada sektor manufaktur di banyak negara di dunia. Dalam penelitiannya Sun membahas penurunan intensitas energi di sektor manufaktur di Indonesia dan beberapa negara berkembang lainnya yang disebabkan oleh perhitungan total pasokan energi primer (*Total Primary Energy Supply*) dan juga memasukkan pasokan energi terbarukan.

#### **2.2 Penelitian Terkait Dengan Permodelan Permintaan Energi**

Permodelan energi membantu dalam memahami hubungan dan interaksi antara energi dengan faktor lainnya (misalnya ekonomi, teknologi dan lain-lain).

Hal ini membantu para perencana kebijakan energi untuk memperkirakan dan merencanakan dampak kebijakan di masa depan. Permodelan energi dapat digunakan untuk landasan dalam memformulasi kebijakan yang sesuai dengan keadaan dan situasi yang terjadi. Publikasi dalam negeri yang terkait dengan kebijakan energi dan permodelan adalah yang diterbitkan oleh Pengkajian Energi Universitas Indonesia (PEUI), buku ini mempunyai cakupan luas tentang permodelan energi serta memberi panduan untuk setiap konsep dan formulasi.

Jebaraja dan Iniyana (2004) telah melakukan *paper review* terhadap berbagai topik yang berkembang dan berhubungan dengan permodelan energi. Perbedaan jenis permodelan yang dicatat dalam penelitiannya adalah *energy planning models* – permodelan energi untuk perencanaan, *energy supply-demand models* – permodelan energi untuk pasokan-permintaan, *forecasting models* – permodelan untuk melakukan perkiraan, *renewable energy models* – permodelan untuk energi terbarukan, *emission reduction models* – permodelan untuk pengurangan emisi, dan model untuk optimalisasi. Selain mengulas jenis-jenis permodelan, mereka juga mengulas permodelan berdasarkan *neural network* dan *fuzzy theory* yang dapat digunakan untuk melakukan perkiraan.

Bhattacharyya dan Timilsilna (2009) secara kritis mengulas beberapa metodologi permodelan energi dalam rangka mendapatkan model yang tepat untuk memasukkan hal-hal yang khusus yang terdapat di negara-negara berkembang. Kemudian mereka menyimpulkan bahwa secara umum permodelan permintaan energi yang telah dilakukan dapat dikelompokkan ke dalam dua pendekatan, yaitu *econometric models* dan *end-use energy accounting*. Pendekatan *end-use energy accounting* di negara-negara berkembang terdapat masalah dengan ketersediaan data, padahal model ini membutuhkan data yang detail untuk mewakili setiap sub sektor dalam membuat proyeksi/prediksi ke depan yang realistis dibandingkan dengan pendekatan ekonometrik.

### **2.3 Penelitian Terkait Dengan Sektor Industri Manufaktur**

Beberapa penelitian untuk menganalisa performa intensitas energi pada industri manufaktur dilakukan dengan perbandingan antar negara atau terfokus pada satu negara tertentu. Miketa (2001) menggunakan metodologi Panel

Analisis untuk menganalisa sektor industri manufaktur di negara-negara berkembang dan negara-negara industri maju yang meliputi negara anggota OECD, negara-negara di Asia dan di Amerika latin. Penelitian ini melihat perubahan index intensitas energi dan bukan melihat nilai intensitas energi di negara-negara tersebut. Salah satu pertanyaan dari kajian ini adalah; berapa besar industri yang mampu mempengaruhi intensitas energi. Variabel yang dianalisa terutama adalah a.) aktivitas ekonomi sektoral dan b.) sektor investasi. Kesimpulan dari penelitian ini adalah, secara umum investasi tidak memiliki natural force untuk membawa kearah penurunan intensitas energi. Seangkan jawaban bagi salah satu pertanyaan penelitian ini, seperti disebutkan di atas, adalah semakin besar industri tumbuh, maka semakin banyak energi yang diperlukan.

Silveria dan Luken (2008) melakukan penelitian terhadap intensitas sektor industri manufaktur secara global. Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk melihat dan pada subsektor manufaktur dan negara mana yang memiliki potensi untuk penurunan penggunaan energi. Metodologi yang digunakan berbeda dengan Miketa, dimana Silveria dan Luken menggunakan metodologi *decoupling*. Metoda ini adalah untuk melihat pertumbuhan relatif dari parameter-parameter terkait dengan lingkungan hidup (misalnya, Energi) dengan pertumbuhan parameter ekonomi (misalnya, pertumbuhan output industri).

Penelitian Silveria dan Luken dilakukan terhadap industri padat energi yang terdiri dari; Kimia dan Petrokimia, Pulp and Paper, Makanan/Minuman dan Rokok, serta Tekstil dan Kulit.

Penelitian yang fokus terhadap satu negara terhadap sektor industri manufaktur yang lain adalah seperti yang dilakukan oleh Worrell dan Price (2001) untuk wilayah Amerika Serikat, atau oleh Mongia, dan Sathaye (2001), yang melihat hubungan antara kebijakan teknologi proses dan kondisi produksi terhadap produktivitas serta pertumbuhan diukur dengan angka pertumbuhan dan kemudian dilakukan analisa dekomposisi dengan *Divisia Index* dengan metode yang digunakan adalah *Additive LMDI* pada sektor industri padat energi. Meskipun penelitian yang dilakukan oleh Mongia, dan Sathaye memiliki

kesamaan objek industri manufaktur serta pada pendekatan analisa Dekomposisi dengan metode *Additive Divisia Index*. Namun demikian Mongia, dan Sathaye tidak melakukan pemetaan *Energy Footprint* dalam melakukan analisisnya.

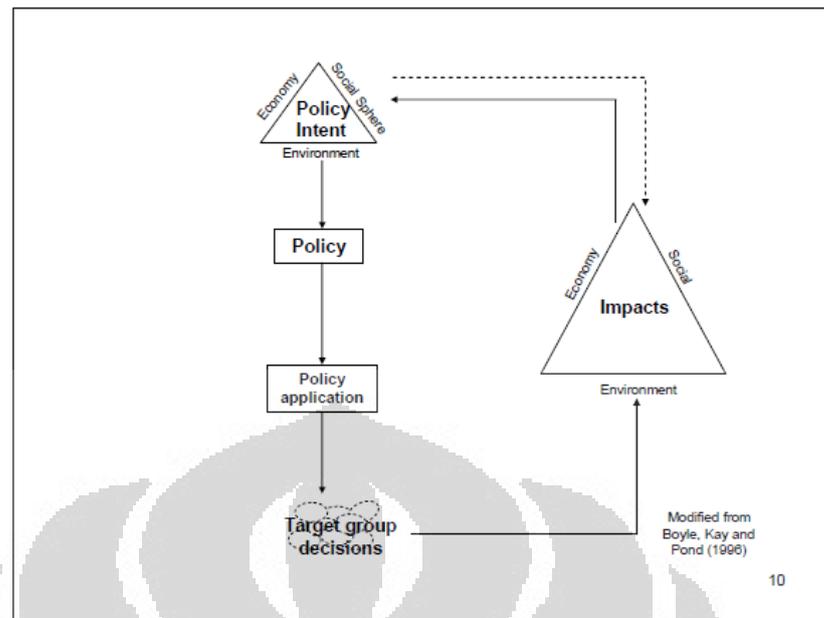
Penelitian yang menarik dilakukan oleh Dyer (2008) untuk melihat *State-of-science* hingga 2050, serta melakukan teknologi assessment untuk menekan permintaan energi dan penurunan emisi CO<sub>2</sub>. Hasil utama dari penelitian ini adalah mengidentifikasi karakter industri di UK, acuan dalam melakukan teknologi assessment, identifikasi perkembangan teknologi saat ini dan arah perkembangan ke depan serta mengidentifikasi pemicu dan hambatan pada industri dalam menggunakan teknologi yang hemat energi serta ramah lingkungan. Dyer melihat bahwa pemicu utama bagi industri untuk melakukan perubahan adalah Biaya dan Peraturan Pemerintah.

Penelitian yang dilakukan pada wilayah ASEAN antara lain dilakukan oleh Bhattacharyya dan Ussanarassameeb (2005) yang meneliti perubahan intensitas energi pada sektor industri di Thailand antara tahun 1981 and 2000 dengan menggunakan pendekatan decomposition analysis.

Di Indonesia penelitian tentang sektor manufaktur telah dilakukan oleh Sriyadi (2011) industri baja, industri pulp dan kertas, industri semen dan tekstil dan Karunia (2010) industri semen dan tekstil. Keduanya membahas tentang hubungan intensitas energi dengan penambahan kapasitas pada industri dan tambahan pada konsumsi energi dengan menggunakan model permintaan energi.

#### **2.4 Model Permintaan Energi**

Pengambilan sebuah kebijakan didasarkan pada sebuah tujuan untuk apa kebijakan tersebut, dengan mempertimbangkan keadaan ekonomi, keadaan sosial dsb pada saat itu. Setelah sebuah kebijakan dibuat, kemudian kebijakan tersebut diaplikasikan. Dampak dari pengaplikasian kebijakan tersebut kemudian menjadi feedback untuk membuat sebuah kebijakan baru yang mensupport kebijakan lama. Hal ini berlangsung terus hingga menjadi sebuah siklus. Gambar 2.1 menunjukkan siklus kebijakan yang dimaksud.



Gambar 2. 1 Siklus Kebijakan

Model permintaan energi merupakan model yang menitikberatkan pada kebutuhan energi untuk memenuhi berbagai kebutuhan lainnya, dengan model ini akan didapatkan indikator-indikator kinerja utama yang dapat dibandingkan dengan target-target yang telah ditetapkan melalui kebijakan yang diambil. Salah satu indikator adalah intensitas energi.

Beberapa pendekatan yang biasa digunakan dalam model permintaan energi adalah sebagai berikut:

#### 2.4.1 Pendekatan Ekonometrik

Pendekatan ini merupakan pendekatan standar yang umum digunakan dalam energi modeling, pendekatan ini menggunakan hubungan antara variabel terikat dengan variabel bebas tertentu berdasarkan analisis statistik dari data historis. Hubungan antar variabel ini kemudian digunakan untuk memproyeksi variabel terikat dengan mengubah variabel bebas dan menentukan efeknya terhadap variabel terikat.

Pendekatan ini memiliki hubungan yang sangat dekat dengan teori konsumsi dan teori produksi. Variabel penting yang akan digunakan didalam model dapat diambil dari teori yang sesuai dan pengaruh dari variabel ini dievaluasi secara statistik. Biasanya hasil analisis statistik dari faktor-faktor yang relevan akan dipertimbangkan dan digunakan dalam fungsi untuk mengestimasi

kebutuhan. Fungsi-fungsi alternatif lain juga dapat diuji untuk mendapatkan hubungan antar variabel yang paling sesuai, tetapi saat jumlah variabel bebas bertambah, maka kombinasi untuk mencari hubungan antar variabel akan meningkat secara eksponen dan membuat pemilihan fungsi menjadi sulit.

Tingkat kerumitan pendekatan ekonometrik bervariasi, sebuah persamaan diturunkan dari bentuk dasar analisis. Pendekatan market share juga digunakan dalam beberapa kasus tertentu, khususnya untuk bahan bakar di sektor transportasi. Pada kasus seperti ini total permintaan/kebutuhan diestimasi secara bersamaan melalui sebuah persamaan dan market share setiap jenis bahan bakar, baru kemudian diestimasi secara terpisah dengan menggunakan beberapa persamaan yang lain lagi. Estimasi kompleks berdasarkan persamaan pengeluaran yang simultan juga digunakan dalam pendekatan ini. Pendekatan ekonometrik ini telah diaplikasikan pada total agregat permintaan energi seperti pada permintaan energi per sektor (industri, transportasi, komersial, rumah tangga, dan pembangkitan). Bahkan pendekatan ini telah digunakan di dalam keseluruhan energi sistem dengan menggunakan framework keseimbangan energi.

Pendekatan ekonometrik ini telah berkembang secara signifikan dalam 30 tahun terakhir. Pada tahun 1970-an tujuan utamanya adalah untuk mengerti hubungan antara energi dengan berbagai variabel ekonomi. Seperti yang dinyatakan oleh Pindyck (1979) sebagai berikut:

“Pengertian terhadap respon permintaan energi dalam jangka panjang akibat perubahan harga dan pendapatan masih sangat kurang dan ini berakibat pada sulitnya membuat sebuah desain kebijakan energi dan ekonomi. Dengan menggunakan model energi yang berbeda dan mengestimasi menggunakan data internasional, kita mendapatkan pengertian yang lebih baik tentang struktur permintaan energi jangka panjang dan hubungannya dengan pertumbuhan ekonomi.”

Hartman (1979) merangkum perkembangan pendekatan ekonometrik pada periode 1970-an sebagai berikut:

“Banyak pendekatan dini pada sektor rumah tangga, komersial dan/atau industri di model permintaan adalah kumulatif (secara total), menggunakan persamaan tunggal, dan berfokus pada satu bahan bakar. Model seperti ini, secara

umum hanya menggunakan harga bahan bakar sebagai *decision variable*, tidak memberikan perhatian lebih pada karakteristik pembakaran bahan bakar pada peralatan dan perbedaan antara permintaan jangka panjang dan permintaan jangka pendek. Model keseimbangan energi memberikan kedinamisan model demand untuk sebuah bahan bakar dan kemudian merambat ke interfuel dan inter-faktor model untuk permintaan energi di sektor rumah tangga, komersial dan/atau industri”

Griffin (1993) telah mengidentifikasi tiga metode yang berkembang pesat sejak tahun 1970-an, yaitu *trans-log revolution*, panel data dan *discrete choice*. Wirl dan Szirucsek (1990) menyatakan bahwa fungsi trans-log tampil sebagai metode yang banyak dipakai karena memiliki fleksibilitas. Ini mengakomodir investigasi kapital energi, substitutabilitas dan perubahan teknologi. Analisis panel data mengakomodasi variasi interregional yang dapat digunakan untuk menggambarkan perubahan jangka panjang yang digambarkan pada time series data. Sementara itu metode discrete data bergantung pada stok dan utilitas untuk menentukan permintaan

#### **2.4.2 Pendekatan End-Use.**

Pendekatan *end-use* atau pendekatan *engineering-economic* yang juga dikenal dengan pendekatan *bottom-up* adalah pendekatan yang juga digunakan secara luas pada prakiraan permintaan energi yang berfokus pada kebutuhan final energi. Pendekatan ini digunakan pada *International Institute of Applied Systems Analysis* (IIASA), *International Atomic Energy Agency* (IAEA), *Lawrence Berkeley Laboratory* (LBL) dan tempat-tempat lainnya. Wilson dan Swisher (1993) menyarankan metode ini digunakan untuk menjawab pertanyaan dimana dan seberapa banyak energi digunakan pada sektor tertentu. Pendekatan ini menyediakan kacamata yang berbeda pada realisasi pertumbuhan ekonomi dan kualitas hidup yang baik dengan suplai energi yang terbatas.

Worrel et.al (2004) berpendapat bahwa walaupun harga sangat mempengaruhi penggunaan energi, tetapi juga terdapat faktor lain seperti kebijakan dan interkasi antar industri yang mempengaruhi penggunaan energi di level konsumen akhir.

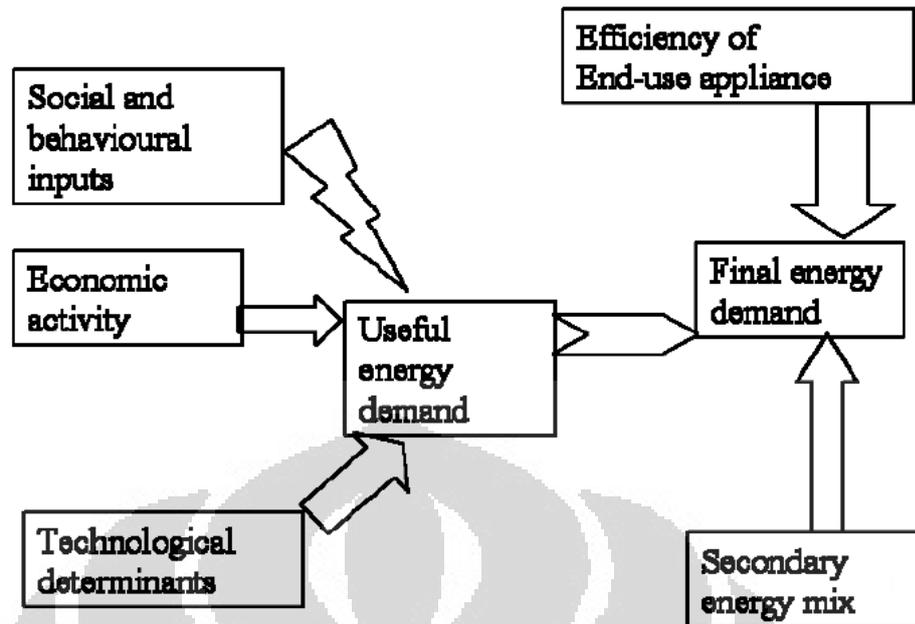
“a comprehensive assessment of policy impacts and program effects, effectiveness, and efficiency. The variety also means that the standard neoclassic economic framework is insufficient for energy models aiming to explore the different dimensions of potential policy impacts.”

Model *bottom-up* menyediakan alternatif lain dalam menganalisis sebuah kebijakan secara lebih dekat. Model ini memiliki beberapa langkah umum sebagai berikut (IAEA, 2006):

- Pembagian total permintaan energi kedalam kategori per sektor.
- Analisis sistematis faktor-faktor sosial, ekonom dan teknologi
  - Untuk mendapatkan evolusi jangka panjang
  - Identifikasi interrelationship
- Menbuat struktur hierarki
- Formulaisasi struktur kedalam bentuk matematika.
- *Snap-shot view* dari tahun yan menjadi refrensi
  - Dasar dari proyeksi energi
  - Pembangunan data yang relevan dan hubungan matematis
  - Tahun refrensi adalah tahun terakhir dari data historis yang tersedia.
- Mendisain skenario untuk proyeksi
- Proyeksi kuantitatif menggunakan hubungan matematis dan skenario.

Contoh pendekatan *end-use* yang diaplikasikan pada model energi listrik dapat dilihat Gambar 2. 2.

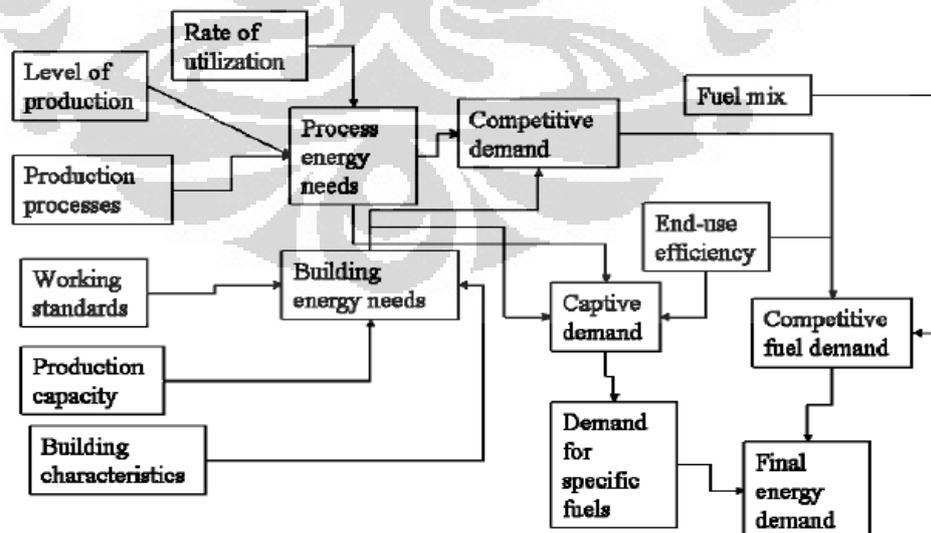
Variasi model yang berdasarkan pendekatan ini telah banyak dipublikasikan, perbedaannya terletak pada tingkat disagregasi (pembagian/pemisahan), representasi teknologi, pemilihan teknologi, tujuan model dan integrasi ekonomi makro. Secara umum, model *end-use* menggunakan simulasi atau optimisasi, sementara representasi teknologi dibuat eksplisit. Model makro ekonomi lebih sering dijadikan sebagai driver dari variabel yang digunakan, tetapi juga ada beberapa model yang di drive dari makro model yang berbeda yang mengambil hubungan dari model makro ekonomi. Gambar 2. 3 berikut menyatakan cara estimasi permintaan energi sektor industri secara umum.



Sumber: Swisher et al, 1997

Gambar 2. 2 Langkah Umum Pendekatan *End-Use* Pada Model Energi Listrik

Sebagian besar model *end-use* muncul setelah kenaikan harga minyak pertama pada tahun 1970-an, dan banyak mengalami perubahan sampai mencapai keadaan saat ini. Sebagai contoh representasi teknologi didalam MARKAL yang didukung oleh data yang mendetail. Saat ini sebagian besar model yang dijalankan di komputer pribadi dan dapat dipersikan dengan basis *stand-alone*.



Sumber: UN, 2001

Gambar 2. 3 Estimasi Permintaan Energi Sektor Industri

Model ini juga dapat memasukkan pembagian desa-kota dan mencakup aktivitas informal. Selain itu model ini juga dapat memperlihatkan keberagaman proses aktual dan teknologi konversi energi dan penggunaannya, dan tidak bergantung pada agregat total dan satu era teknologi. Oleh karena tidak juga bergantung pada sejarah evolusi masa lalu, model ini dapat memperlihatkan perubahan struktural dan perkembangan teknologi ini yang menjadi kelebihan dari pendekatan *end-use* model. Dari berbagai skenario yang dikembangkan, model ini mencoba memproyeksi perkembangan jalur dan pengaruh kebijakan terhadap perkembangan ekonomi. Walaupun begitu model jenis ini sangat kurang untuk dapat mengetahui pengaruh harga terhadap hasil yang akan dikeluarkan, ini menyebabkan kurang efektifnya analisis pada kebijakan-kebijakan tertentu.

### 2.4.3 Pendekatan Input-Output

Metoda ini merupakan teknik yang diperkenalkan oleh Prof. Wassily W. Leontief tahun 1951. Teknik ini dipergunakan untuk mengetahui hubungan antar industri agar dapat memahami saling ketergantungan dan kompleksitas perekonomian. Banyak negara yang menggunakan pendekatan ini sebagai dasar dari model energi, walaupun terdapat beberapa asumsi atau batasan pada pendekatan ini

Tabel input output adalah suatu matriks yang menggambarkan transaksi penggunaan barang dan jasa antar berbagai kegiatan ekonomi. Tabel input output memberikan gambaran menyeluruh tentang:

- Struktur perekonomian negara/wilayah yang mencakup output dan nilai tambah masing-masing sektor.
- Struktur input antara, yaitu transaksi penggunaan barang dan jasa antara sektor produksi.
- Struktur penyediaan barang dan jasa baik berupa produksi dalam negeri maupun barang impor.
- Struktur permintaan barang dan jasa, baik permintaan oleh berbagai sektor produksi maupun permintaan untuk konsumsi, investasi dan ekspor.

Dari uraian di atas, dapat dijabarkan kegunaan tabel input output adalah sebagai berikut :

- Menyediakan informasi yang lengkap mengenai struktur penggunaan barang dan jasa di tiap sektor ekonomi serta pola distribusi produksi yang dihasilkan.
- Sebagai dasar berbagai perencanaan dan analisis ekonomi makro terutama berkaitan dengan produksi, konsumsi, pembentukan modal, ekspor dan impor.
- Sebagai kerangka model untuk studi kuantitatif seperti analisis dampak dan keterkaitan antar sektor, proyeksi ekonomi dan ketenagakerjaan, serta studi khusus lainnya.
- Menguji dan mengevaluasi konsistensi data sektoral antar sumber, sehingga berguna untuk perbaikan dan penyempurnaan sistem penyediaan data statistik perekonomian.
- Memberi petunjuk mengenai sektor-sektor yang mempunyai pengaruh terkuat dalam pertumbuhan ekonomi serta sektor yang peka terhadap pertumbuhan perekonomian wilayah.

Tabel input output yang digunakan untuk analisis ekonomi bersifat tetap karena berkaitan dengan asumsi dasar penyusunannya. Asumsi yang digunakan antara lain (Harry W. Richardson, 1979):

- Keseragaman, yang mensyaratkan bahwa setiap sektor memproduksi suatu output tunggal dengan struktur input tunggal dan tidak ada substitusi otomatis terhadap input dari output sektor yang berbeda-beda.
- Kesebandingan, yang menyatakan hubungan antara input dan output dalam tiap sektor merupakan fungsi linier yaitu jumlah tiap jenis input yang diserap oleh sektor tertentu naik atau turun sebanding dengan kenaikan atau penurunan sektor tersebut.
- Keterbatasan di atas berpengaruh terhadap penggunaan tabel koefisien input untuk kegunaan analisis. Koefisien input yang disebutkan juga koefisien teknis dianggap konstan sepanjang periode, sehingga diasumsikan tidak ada perubahan teknologi.
- Perubahan kuantitas dan harga input sebanding dengan perubahan kuantitas dan harga output.

- Tidak ada eksternalitas ekonomi dan disekonomi, biasanya total output merupakan penjumlahan dari individual output.

#### 2.4.4 Pendekatan skenario

Pendekatan ini banyak digunakan pada model untuk memperoleh kebijakan perubahan iklim dan efisiensi energi (Ghanadan dan Koomey, 2005). Pendekatan skenario berasal dari manajemen strategis yang telah digunakan sejak tahun 1960. Pada energi dan area perubahan iklim, skenario yang digunakan oleh *Intergovernmental Panel of Climate Change* (IPCC) telah menjadi isu yang penting pada penentuan kebijakan bersama. Pendekatan skenario bukan merupakan pendekatan baru dalam analisis energi, ia merupakan integrasi dari pendekatan *ens-use*.

Sebuah skenario adalah sebuah cerita/pengandaian yang menggambarkan tentang kemungkinan yang akan terjadi di masa mendatang (shell,2003). Skenario mengarah pada sebuah jalur yang dibuat untuk mengetahui bagaimana dampaknya terhadap masa depan. (Ghanadan dan Koomey, 2005). Dan merupakan pendekatan yang tepat untuk dunia yang selalu berubah dan tidak pasti (Leydon et al, 1996).

*“Scenarios give the analyst the opportunity to highlight different combinations of various influences, so that alternative future contexts can be sketched out, and the energy implications examined”* (Leydon et al. 1996)

Kelebihan dari pendekatan skenario ini adalah kemampuan model untuk menangkap perubahan struktur secara eksplisit dengan mempertimbangkan perubahan arah pembangunan secara tiba-tiba. Tingkat pembagian aktual agregat dan pemasukkan energi tradisional dan aktivitas sektor informal tergantung dari pembuat model dan implementasinya. Berdasarkan teori, dimungkinkan untuk memasukkan faktor-faktor tersebut, tetapi pada aplikasi nyatanya tidak diketahui secara pasti seberapa banyak faktor-faktor tersebut dapat dimasukkan kedalam model. Sebagai tambahan, perkembangan dari pendekatan ini yang dapat mengakomodir perubahan struktural, kemunculan atau penghilangan aktivitas ekonomi bukanlah hal yang mudah.

### 2.4.5 Pendekatan hibrid

Pendekatan ini seperti namanya, merupakan kombinasi dari dua atau lebih pendekatan yang telah dijelaskan diatas untuk dapat menghasilkan model yang lebih baik. Pendekatan hibrid muncul untuk mengatasi batasan yang muncul pada sebuah pendekatan. Model jenis ini telah berkembang luas dan tidak dapat diklasifikasikan secara spesifik berdasarkan kategori yang ada saat ini. Sebagai contoh, model ekonometrik ada yang telah mengadopsi pemisahan representatif aktivitas ekonomi yang lebih mendetail. Sama halnya seperti model *end-use* yang menggunakan pendekatan ekonometrik pada level disagregatisasi/pemisahan yang merupakan keunggulan dari pendekatan ekonometrik.

Penggunaan pendekatan ini berkembang karena beberapa hal berikut:

- Untuk menyatukan “gap efisiensi” yang ada pada model *top-down* dan *bottom-up*, model dengan struktur *top-down* menggunakan informasi *bottom-up* untuk mengestimasi parameter. (Koopman dan te Velde, 2001)
- Untuk mendapatkan detail teknologi dari model *bottom-up* dan detail mikro, dan makro-ekonomi dari pendekatan yang diadopsi. NEMS (*National Energy Model System*) yang dikembangkan oleh *U.S. Department of Energy* (DOE) masuk kedalam kategori ini. NEMS dikembangkan untuk *Annual Energy Outlook* yang diterbitkan oleh DOE. NEMS menggunakan detail yang ada pada model *engineering-economic (end-use)* dengan memperthankan analisis perilaku yang didapat dari model *top-down*. Contoh lain model seperti ini adalah CIMS.
- Untuk meningkatkan kemampuan pengaruh harga pada model *bottom-up*, informasi harga disisipkan pada struktur model *bottom-up*. Contoh model yang menggunakan hal ini adalah POLES yang banyak digunakan di Uni Eropa untuk analisis kebijakan energi jangka panjang.

Pendekatan ini telah dikembangkan lebih jauh dari sekedar analisis permintaan dan proyeksi permintaan yang menyertakan interaksi energi-ekonomi, dan bahkan menyertakan masuknya energi terbarukan dan pemilihan teknologi.

Jelas sudah tujuan dari model dengan pendekatan seperti ini (hibrid) adalah untuk meningkatkan interaksi diantara paradigma model yang ada untuk mendapatkan hasil yang lebih baik. Jadi model hibrid menggabungkan detail pada

keberagaman teknologi dengan konsistensi asumsi model yang digunakan pada makro-ekonomi. Pada prinsipnya, dimungkinkan untuk menambahkan energi tradisional dan aktivitas ekonomi informal ke dalam model. Dan juga dimungkinkan untuk memasukkan pembagian desa-kota dengan menggunakan pendekatan *spatially differentiated*. Tetapi pada aplikasinya implementasi model ini sangat bervariasi tergantung dari tujuan dibuatnya model.

## 2.5 *Energy Footprint*

Penelitian tentang Energi Footprint pada sektor industri manufaktur, terutama di Indonesia belum banyak ditemukan pada saat kajian putaka ini dipersiapkan. Ferng (2002) mengusulkan kerangka kerja yang memasukan hubungan antara 1.) estimasi Energy Footprints yang terkandung dalam barang dan jasa yang dikonsumsi oleh populasi dan 2.) membangun skenario dan simulasi kebijakan untuk mengurangi Energy Footprints. Konsep tersebut kemudian diaplikasikan dalam penelitian di wilayah Taiwan.

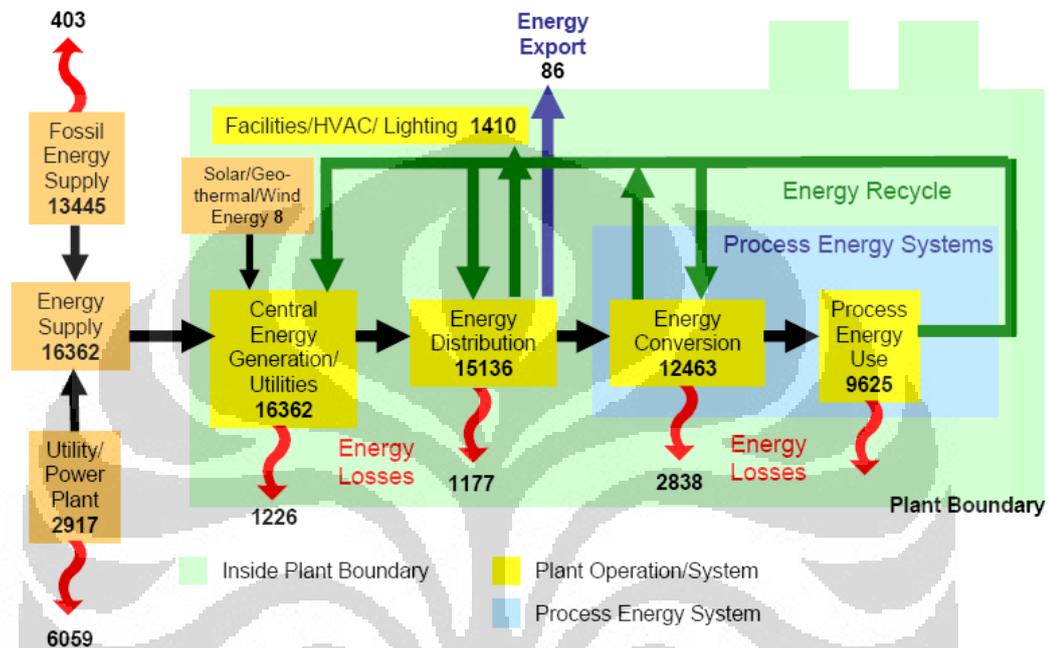
Dacombe, Banks, Krivtsov, Heaven menggunakan analisa *Energy Footprints* untuk mendapatkan opsi yang terbaik dalam mengelola sisa pecahan kaca/gelas dari rumah tangga sampai pengolahan kembali. Untuk mendapatkan gambaran konsumsi energi yang dibutuhkan, sisa pecahan tersebut diikuti mulai dari rumah tangga sampai pengelolaan kembali limbah kaca tersebut.

Tan dan Foo mengadaptasi metoda *Carbon Emission Pinch Analysis* (CEPA) digunakan untuk membuat *Energy Footprints*. Metoda ini digunakan untuk analisa batasan potensi karbon emisi dalam energi. Metoda ini berangkat dari asumsi bahwa dalam suatu sistem terdapat sumber energi, dimana sumber energi tersebut memiliki karakteristik intensitas karbon dari bahan bakar (energi) atau teknologi yang digunakan. Dan pada saat yang sama sistem tersebut juga mengandung permintaan energi, dimana permintaan tersebut tentunya juga memiliki potensi emisi karbon. Tetapi konsep ini memiliki asumsi bahwa semua bentuk energi dapat saling bertukar (*interchangable*), sehingga sulit digunakan pada level industri.

Penjelasan dari *Energy Footprints* pada sektor industri manufaktur diuraikan oleh US Dept of Energy bahwa *Energy Footprints* memetakan aliran pasokan energi, permintaan, dan energi hilang (*losses*) pada industri manufaktur.

Identifikasi sumber energi dan penggunaan energi akan membantu untuk mendapatkan area yang berpotensi untuk penghematan energi, dan memberikan acuan dalam menghitung manfaat dari peningkatan efisiensi energi.

Gambar 2.2 berikut adalah contoh dari *Energy Footprints* pada sektor manufaktur di Amerika Serikat pada tahun 2002.



Sumber: <http://www1.eere.energy.gov>

Gambar 2. 4 Energy Footprints sektor manufaktur di Amerika Serikat

## 2.6 Industri Semen

Semen (*cement*) adalah hasil industri dari paduan bahan baku: batu kapur/gamping sebagai bahan utama dan lempung / tanah liat atau bahan pengganti lainnya dengan hasil akhir berupa padatan berbentuk bubuk/bulk, tanpa memandang proses pembuatannya, yang mengeras atau membatu pada pencampuran dengan air. Secara garis besar untuk proses pembuatan semen adalah sebagai berikut:

- Pengeringan dan penggilingan bahan baku (*Unit Raw Mill*)
- Penyediaan dan persiapan bahan bakar (*Unit Coal Mill*)
- Pembakaran tepung baku dan pendinginan clinker (*Unit Burning*)
- Penggilingan akhir (*Unit Finish Mill*)
- Pengantongan semen (*Unit Packing*)

### 2.6.1 Unit Raw Mill

Bahan baku tersebut harus melalui proses penggilingan dan pengeringan sebelum ke kiln. Hal ini dimaksudkan untuk:

- Mengeringkan bahan baku hingga kadar airnya <1%.
- Mereduksi ukuran bahan baku hingga ukurannya 170 mesh (90 mikron) sehingga diperoleh material yang lebih halus, dengan luas permukaan lebih besar yang berpengaruh pada operasi di kiln.
- Mencampur bahan baku dengan perbandingan tertentu.
- Memperoleh campuran yang lebih homogen.

### 2.6.2 Unit Coal Mill

Pada unit *coal mill*, batubara digunakan sebagai bahan bakar pada proses pembakaran di kiln. Batubara yang akan dihaluskan diangkut dengan *belt feeder* dan *belt conveyor* ke penyimpanan untuk homogenisasi (mengatur nilai kalori dari batubara). Batubara akan dilewatkan pada *tripper* untuk mengatur penyebaran batubara pada penyimpanan sehingga membentuk *pile*. *Pile* ini berfungsi mempermudah pengamatan volumetrik terhadap jumlah batubara yang digunakan untuk mencegah kebakaran. Kemudian sebelum dihancurkan batubara diangkut melewati *iron separator* dengan *belt conveyor* menuju *vibrating screen*. *Iron separator* berfungsi menahan benda-benda asing (bersifat logam) yang dengan menggunakan magnet. *Vibrating screen* berfungsi menahan batubara besar (>50 mm) dan akan dihancurkan. Pada unit *crusher* terjadi proses pengeringan, penggilingan, dan pemisahan.

### 2.6.3 Unit Burning (kiln)

Pada unit ini, bahan baku (batu kapur, pasir silica, tanah liat, dan pasir besi) direaksikan hingga membentuk *clinker* dengan kandungan  $C_2S$ ,  $C_3S$ ,  $C_3A$ , dan  $C_4AF$ .

Umpan tepung baku dari *storage silo (kiln feed)* dialirkan air *slide conveyor* ke *feed tank* (tempat penampungan sementara dan kemudian dikeluarkan menuju *weighing feeder*. Setelah itu laju aliran material menuju *bucket elevator* dan kemudian dimasukkan ke *suspension preheater*.

Tepung baku masuk ke sistem *suspension preheater* yang terdiri dari *cyclone* yang berhubungan satu dengan yang lain secara bertingkat. Gas panas keluar karena hisapan *suspension preheater fan* dan digunakan kembali untuk pengeringan dan penggilingan di *raw mill*. Begitu seterusnya sampai semua *cyclone* dilewati, kemudian tepung baku masuk ke kiln. Keuntungan unit ini:

- Gas panas dari *suspension preheater* sebagai pemanas *raw mill* dan *coal mill*.
- *Rotary kiln* menjadi lebih pendek.
- Penghematan bahan bakar.

Unit *suspension preheater* dilengkapi dengan kalsinasi awal yang berfungsi untuk menaikkan derajat material sebelum masuk ke kiln. Gas untuk pemanasan material berasal dari pemanasan gas panas yang dihasilkan oleh batubara yang disuplai ke KSV dan sisa panas dari kiln. Jumlah total konversi kalsinasi dari *suspension preheater* adalah 75-85%.

Setelah keluar dari *cylone* pertama, tepung baku akan masuk ke dalam *rotary kiln* melalui kiln inlet pada suhu  $\pm 900-1000$  °C. Di dalam kiln terjadi kontak antara gas panas dan material secara kontinu dengan arah *counter current* sehingga terjadi reaksi dan perpindahan panas yang menyebabkan perubahan fisika dan kimia material sepanjang kiln.

Di *rotary kiln*, bahan bakar dialirkan ke alat pembakar (*burner*). Batubara dibakar dengan bantuan udara primer (*primary air*) dari udara bebas dengan bantuan *primary fan blower* dan udara sekunder (*secondary air*) dari *cooler*. Hasil pembakaran yang berupa gas panas juga digunakan untuk pemanasan di *suspension preheater*, *raw mill*, dan *coal mill*. *Rotary kiln* sebagai ruang pembakaran utama terbagi dalam lima daerah (zona), yaitu:

- Zona kalsinasi lanjutan
- Zona *safety*
- Zona transisi
- Zona sintering
- Zona *cooling*

*Clinker* yang terbentuk pada proses pembakaran mengalami pendinginan pada *grate cooler* untuk:

- Menghindari terurainya  $C_3S$  menjadi  $C_2S$  yang dapat menyebabkan clinker menjadi terlalu keras.
- Menjaga keawetan peralatan transportasi dan penyimpanan karena material dengan temperatur tinggi dapat merusak alat.
- Clinker panas dapat menyebabkan terjadinya penguraian gypsum yang ditambahkan pada proses penggilingan akhir.
- Mencegah pembentukan kristal long periclase yang dapat menurunkan kualitas semen.
- Panas sensibel yang terkandung pada clinker dapat dimanfaatkan kembali untuk secondary air (membantu pembakaran di main burner) dan tertiary air (membantu pembakaran di suspension preheater).

Proses pendinginan dalam *cooler* dilakukan secara tiba-tiba agar komposisi *clinker* tidak berubah karena laju pendinginan *clinker* mempengaruhi perbandingan kandungan kristal dan fase cair dalam *clinker*. Pendinginan yang lambat mendorong pertumbuhan mineral *clinker*.

#### 2.6.4 Unit *Finish Mill*

Unit penggilingan akhir dilakukan untuk mendapatkan semen dengan kehalusan yang diinginkan. Partikel akan keluar dari alat penggiling (*mill*) kemudian akan melewati separator untuk menghasilkan produk dengan ukuran  $30\mu\text{m}$  (400 mesh). *Clinker* dari *clinker silo*, dibawa keluar melalui *appron conveyor* menuju *hopper clinker* dengan *bucket elevator*. Jumlahnya ditentukan dengan *weighing feeder*, lalu *clinker* tersebut dibawa ke *finish mill*.

Gypsum dan bahan tambahan aditif lainnya (seperti *limestone*, *fly ash*, *trash*, dan *slag*) dari *storage* diangkut dengan *belt conveyor* menuju *hopper gypsum*. Pembakaran batubara di *coal mill* menghasilkan *ash* yang akan bereaksi dengan *clinker* dari *raw mill*. Pada *finish mill*, *clinker* dan gypsum digiling menggunakan *steel ball*.

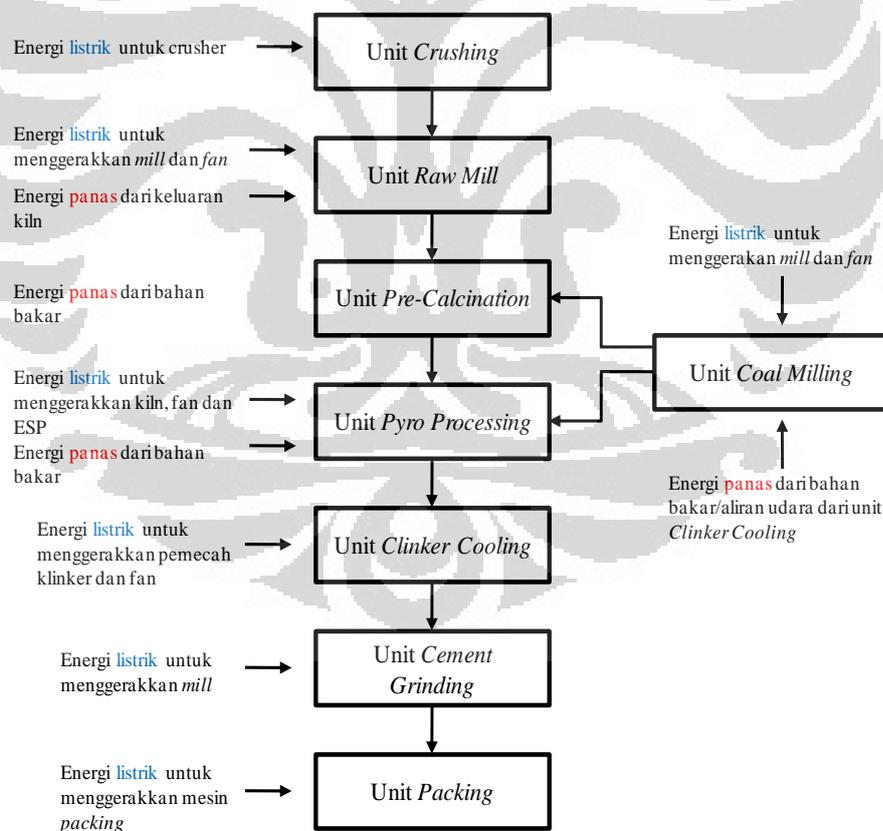
#### 2.6.5 Unit *Packing*

Produk yang keluar dari penyimpanan semen diangkut menggunakan *air slide conveyor* menuju *bucket elevator* kemudian dimasukkan ke dalam *vibrating screen* untuk memisahkan material yang halus dengan yang kasar. Material yang

kasar dan pengotor dibuang dengan corong *vibrating screen* di bagian atas, sedangkan material yang halus langsung masuk ke dalam *cement bin*. Kemudian dari bin dialirkan ke dalam *in line packer*. Jika bin tersebut telah penuh, maka semen akan bersikulasi, yaitu dijatuhkan kembali ke dalam *bucket elevator* lalu kembali ke *vibrating screen* dan seterusnya.

### 2.6.6 Energi Yang Digunakan Dalam Industri Semen

Macam energi pokok yang digunakan untuk pabrik semen ini adalah energi listrik dan energi panas, yang biasanya berasal dari dua bahan bakar dasar yaitu minyak solar dan batubara. Energi Listrik digunakan di hampir semua alat proses pada pabrik semen sebagai penggerak motor-motor yang ada pada alat-alat proses produksi semen. Energi panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar digunakan pada kiln untuk melelehkan bahan mentah sehingga dapat bereaksi. Gambar 2. 5 merupakan alur energi pada proses pembuatan semen.



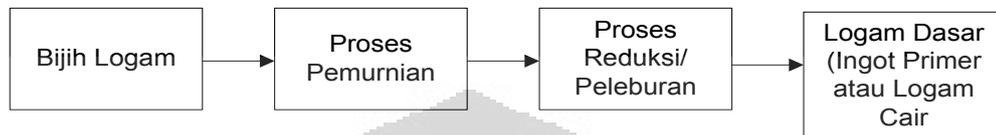
Sumber: [http://www.energyefficiencyasia.org/docs/IndustrySectorsCement\\_draftMay05.pdf](http://www.energyefficiencyasia.org/docs/IndustrySectorsCement_draftMay05.pdf)

Gambar 2. 5 Alur energi pada proses produksi semen

## 2.7 Industri Baja

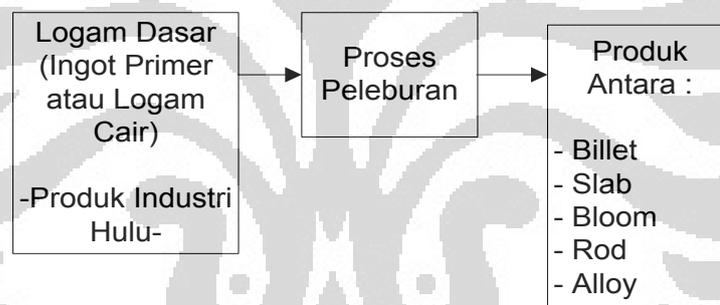
Proses pengolahan logam secara garis besar dibagi atas 3 bagian pokok yaitu :

- Industri hulu : industri yang mengolah bahan tambang berupa biji logam menjadi logam dasar melalui proses pemurnian dan proses reduksi/peleburan.



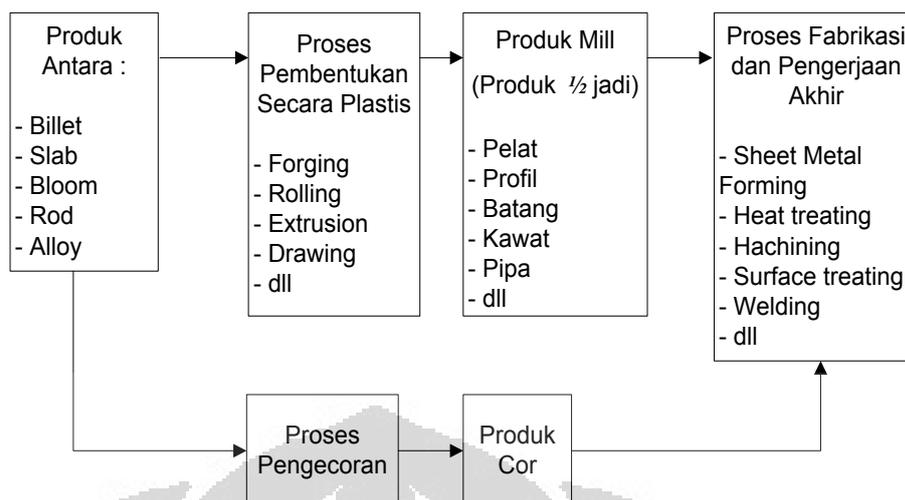
Gambar 2. 6 Industri Hulu Pengolahan Logam

- Industri antara : industri yang mengolah logam dasar baik yang berbentuk ingot primer atau masih berupa logam cair menjadi produk antara seperti *billet*, *slab*, *bloom*, *rod* atau ingot paduan untuk industri pengecoran.



Gambar 2. 7 Industri Antara Pengolahan Logam

- Industri hilir : industri yang mengolah lebih lanjut produk industri antara menjadi produk setengah jadi dan selanjutnya melalui proses pabrikasi dan pengerjaan akhir menjadi produk jadi.



Gambar 2. 8 Industri Hilir Pengolahan Logam

### 2.7.1 Pengolahan Bijih Besi

Bahan baku awal dalam pembuatan besi dan baja adalah bijih besi (*iron core*). Bijih besi yang didapatkan dari alam umumnya merupakan senyawa besi dengan oksigen seperti *hematite* ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ); *magnetite* ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ); *limonite* ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ); atau *siderite* ( $\text{Fe}_2\text{CO}_3$ ). Pembentukan senyawa besi oksida tersebut sebagai proses alam yang terjadi selama beribu-ribu tahun.

Bijih besi hasil penambangan didapatkan dalam bentuk senyawa dan bercampur dengan kotoran-kotoran lainnya maka sebelum dilakukan peleburan bijih besi tersebut terlebih dahulu harus dilakukan pemurnian untuk mendapatkan konsentrasi bijih yang lebih tinggi (25 - 40%). Proses pemurnian ini dilakukan dengan metode : *crushing*, *screening*, dan *washing* (pencucian). Untuk meningkatkan kemurnian menjadi lebih tinggi (60 - 65%) serta memudahkan dalam penanganan berikutnya, dilakukan proses agglomerasi dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- Bijih besi dihancurkan menjadi partikel-partikel halus (serbuk).
- Partikel-partikel bijih besi kemudian dipisahkan dari kotoran-kotoran dengan cara pemisahan magnet (magnetic separator) atau metode lainnya.
- Serbuk bijih besi selanjutnya dibentuk menjadi pellet berupa bola-bola kecil berdiameter antara 12,5 - 20 mm.

- Terakhir, pellet biji besi dipanaskan melalui proses sinter/pemanasan hingga temperatur 1300°C agar pellet tersebut menjadi keras dan kuat sehingga tidak mudah rontok.

### 2.7.2 Proses Peleburan

Proses peleburan dilakukan dengan menggunakan tungku pelebur yang disebut juga tanur tinggi (*blast furnace*). Biji besi hasil penambangan dimasukkan ke dalam tanur tinggi tersebut dan didalam tanur tinggi dilakukan proses reduksi tidak langsung yang cara kerjanya sebagai berikut :

Bahan bakar yang digunakan untuk tanur tinggi ini adalah batubara yang telah dikeringkan (kokas). Kokas dengan kandungan karbon (C) diatas 80%, tidak hanya berfungsi sebagai bahan bakar, tetapi juga berfungsi sebagai pembentuk gas CO yang berfungsi sebagai reduktor. Untuk menimbulkan proses pembakaran maka ke dalam tanur tersebut ditiupkan udara dengan menggunakan *blower* sehingga terjadi proses oksidasi sebagai berikut :



Gas CO yang terjadi dapat menimbulkan reaksi reduksi terhadap biji yang dimasukkan ke dalam tanur tersebut. Sedangkan panas yang ditimbulkan berguna untuk mencairkan besi yang telah tereduksi tersebut.

Untuk mengurangi kotoran-kotoran (*impurity*) dari logam cair, ke dalam tanur biasanya ditambahkan sejumlah batu kapur (*limestone*). Batu kapur tersebut akan membentuk terak (*slag*) dan dapat mengikat kotoran-kotoran yang ada didalam logam cair. Karena berat jenis terak lebih rendah dari berat jenis cairan besi maka terak tersebut berada dipermukaan logam cair sehingga dapat dikeluarkan melalui lubang terak.

Terak tersebut ditampung secara terpisah dan diolah menjadi berbagai bahan bangunan jalan. Dengan menambahkan kapur yang diberikan pada bijih besi dan kokas maka didapatkan terak yang bermutu baik. Besi yang cair/disebut besi kasar yang terkumpul pada bagian terbawah tanur tinggi tersebut mengandung cukup banyak karbon ( $\pm 4\%$ ) dan pencemar lain setelah masa

pendinginan menyebabkan besi kasar rapuh. Oleh sebab itu besi kasar belum dapat ditempa atau digiling.

Besi yang mengnadung karbon kurang dari 2%, dinamakan baja. Sebagian besar besi kasar yang dihasilkan dari tungku tanur tinggi diubah menjadi baja di pabrik baja dengan cara menurunkan kadar karbonnya. Penurunan kadar karbon terjadi di dalam sebuah tabung reaksi atau di dalam tungku. Di dalam tabung reaksi (*converter*) kadar karbon diturunkan tanpa diberikan pemanasan dari luar. Muatannya dibentuk dari cairan bijih kasar. Kadang-kadang ditambahkan dengan besi tua dan bijih besi supaya suhu dapat dikendalikan.

Untuk mengurangi kadar karbon, dipakai juga metode dengan meniupkan panas dari luar tungku. Dengan cara ini bisa diolah lebih banyak lagi baja bekas (besi tua) dan besi mentah yang padat, proses ini lebih mudah dikendalikan karena lebih lambat kerjanya. Pada proses Siemnes-Martin digunakan minyak atau gas sebagai bahan bakar, pada pemakaian tungku listrik, maka listriklah yang memanaska. Dengan menggunakan tungku listrik, komposisi baja dapat diatur dengang teliti, sehingga biasanya dipakai untuk pembuatan baja khusus.

Produk spesial seperti pipa tanpa sambungan dibuat berdasarkan metode penggilingan khusus. Kawat baja tipis dibuat dengan cara menekan-nekan dan menarik-narik baja itu melalui lubang-lubang khusus. Penggarapan seperti ini biasanya dilakukan di pabrik khusus.

### **2.7.3 Kebutuhan Energi Dalam Industri Baja**

#### **- Proses *Blast Furnace* (BF) – *Basic Oxygen Furnace* (BOF)**

Pada proses ini, bahan baku (bijih besi) dipersiapkan dalam bentuk *pellet* atau sinter. Panas dari gas yang berasal dari *Coke Oven* dan Tanur harus dapat diambil atau di daur ulang., serta isian untuk converter (BOF/LD) diharuskan berupa campuran besi mentah (76%) dan skrap (24%).

Saat ini, pabrik besi dan baja terpadu lebih banyak menggunakan metode pembuatan besi mentah yang memanfaatkan kokas sebagai sumber energi utamanya, dan apabila diperhitungkan mengenai penggunaan/daur ulang dari surplus energi yang ada, konsumsi energi per ton besi mentah yang dihasilkan

dapat diperkirakan sebesar 3,5 Gkal. Lebih jauh lagi, mengingat penggunaan kembali energi (dalam bentuk kalor atau panas) serta pemanfaatan besi panas dalam bentuk cair dengan pencampuran skrap, maka kebutuhan energi per ton baja adalah 3,3 Gkal.

- *Proses Corex Smelting Reduction (SR) – Basic Oxygen Furnace (BOF)*

Pada metode ini, tenaga listrik dihasilkan melalui pemanfaatan gas sisa proses yang keluar dari tanur smelting untuk memenuhi kebutuhan energi listrik bagi proses produksi dan menyuplai kelebihan energi listrik ke sistem lainnya. Kebutuhan spesifik per unit ton besi mentah adalah sebesar 4,15 Gkal. Konsumsi energi spesifik, per unit ton besi mentah padat lebih tinggi 0,8 Gkal dibandingkan dengan proses tanur tinggi (BF).

- *Proses Coal Based Direct Reduction (DR) – Electric Arc Furnace (EAF)*

Pada proses pembuatan besi mentah dengan rotar kiln, campuran bijih besi dan batubara non-kokas diproses dalam tanur. Tetapi bila dibandingkan dengan proses reduksi langsung berbasis gas alam pada *shaft furnace*, proses ini memiliki laju reaksi yang lebih lambat berkenaan dengan proses reaksinya yang memanfaatkan gasifikasi batubara non-kokas padat menjadi gas CO langsung di dalam tanur. Karena perpindahan kalor reaksi yang rendah, mengakibatkan efisiensi reaksi yang rendah, dengan konsumsi energi sebesar 4,19 Gkal (normal) per unit ton besi mentah. Dari konsumsi energi ini, konsumsi untuk tenaga listrik adalah sebesar 0,2 Gkal, dan kelebihan energi selebihnya disuplai oleh batubara non-kokas granular.

Batubara granular dimasukkan ke dalam tanur sebagai sumber utama gas reduktan dan batubara serbuk (*pulverized coal*) digunakan untuk menambah jumlah gas CO yang dihasilkan dari reaksi pembakaran dalam sisi-sisi burner tanur.

Kebutuhan energi untuk tungku busur listrik sedikit berbeda dibandingkan dengan yang ada untuk proses lanjut besi mentah padat hasil reduksi langsung berbasis gas, dengan asumsi menggunakan jenis dan tipe bijih besi yang sama.

- *Proses Gas Based Direct Reduction (DR) – Electric Arc Furnace (EAF)*

Gas alam yang digunakan sebagai bahan bakar dalam proses reduksi langsung shaft furnace. Total kebutuhan gas alam untuk proses ini sebanyak 300 Nm<sup>3</sup> (Normal meter kubik), dimana sebanyak 182 Nm<sup>3</sup> terurai oleh gas reformer menjadi gas CO dan H<sub>2</sub>. Meskipun gas sisa yang terdiri dari gas-gas hasil reaksi proses (CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O) serta reduktan yang tidak tereaksi (CO dan H<sub>2</sub>), hanya sebanyak 65% yang digunakan sebagai reforming gas untuk menghasilkan kembali gas-gas reduktan. Konsumsi energi listrik untuk *blower* yang berfungsi sebagai sirkulator gas dalam sistem cukup banyak, sebesar 120 kWh per unit ton besi mentah padat. Dan konsumsi energi sebesar 2,99 Gkal per unit ton besi mentah padat.

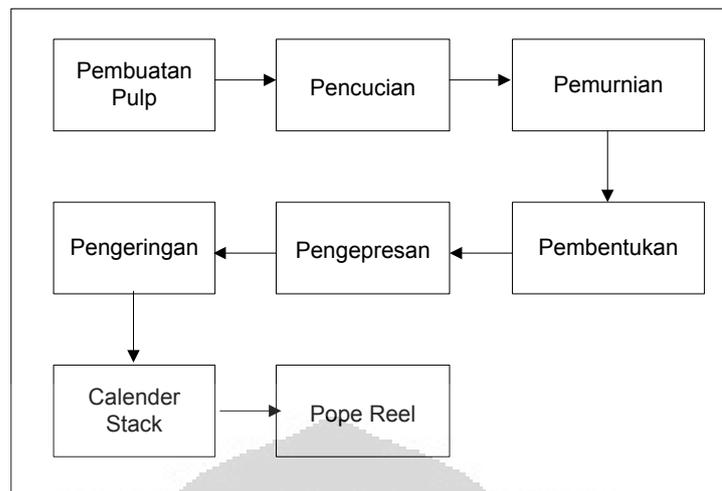
Produksi baja cair pada tungku busur listrik dilakukan dengan peleburan dan oksidasi bahan baku besi mentah padat (77%) dan scrap baja (23%). Konsumsi energi keseluruhan sebesar 4,02 Gkal per unit ton baja cair.

Kebutuhan energi per unit produk output yang paling rendah dimiliki oleh proses BF-BOF, kemudian diikuti gas based DR-EA, proses SR-BOF dan yang paling banyak mengkonsumsi energi adalah coal based DR-EAF.

## **2.8 Industri Pulp dan Kertas**

Di Indonesia terdapat 84 perusahaan yang bergerak di dalam industri pulp dan kertas ini. 10 diantaranya adalah perusahaan yang terintegrasi, 71 perusahaan hanya memproduksi kertas, dan 3 sisanya hanya memproduksi pulp. (APKI, 2007)

Industri pulp dan kertas mengubah bahan baku serat menjadi pulp, kertas dan kardus. Urutan proses pembuatannya adalah persiapan bahan baku, pembuatan pulp (secara kimia, semi-kimia, mekanik atau limbah kertas), pemutihan, pengambilan kembali bahan kimia, pengeringan pulp dan pembuatan kertas. Skema diagram prosesnya terlihat pada Gambar 2. 9 dibawah ini. Proses yang membutuhkan energi paling tinggi adalah proses pembuatan pulp dan proses pengeringan kertas.



Gambar 2. 9 Diagram Alir Teknologi Proses Produksi Pulp dan Kertas

Tahapan utama dan proses sederhana dalam pembuatan pulp dan kertas adalah sebagai berikut :

- Pembuatan pulp

Dalam tanki pencampur, pulp dicampur dengan air menjadi *slurry*. *Slurry* kemudian dibersihkan lebih lanjut dan dikirimkan ke mesin kertas. Bahan baku dimasukkan kedalam *Pulper* untuk *defiberization* dan mempercepat beating serta fibrillation dikarenakan pemekaran serat. Pembuatan pulp ini secara umum menggunakan salah satu dari tiga metode, yaitu metode kimia, semi-kimia dan mekanik

- Pemutihan

Proses pemutihan untuk tipe pulp Kraft dilakukan dalam beberapa menara dimana pulp dicampur dengan berbagai bahan kimia, kemudian bahan kimia diambil kembali dan pulp dicuci.

- Pemurnian

Pulp dilewatkan plat yang berputar pada alat pemurnian bentuk disk. Pada proses mekanis ini terjadi penguraian serat pada dinding selnya, sehingga serat menjadi lebih lentur. Tingkat pemurnian pada proses ini mempengaruhi kualitas kertas yang dihasilkan.

- Pembentukan

Selanjutnya, proses dilanjutkan dengan proses sizing dan pewarnaan untuk menghasilkan spesifikasi kertas yang diinginkan. Sizing dilakukan untuk meningkatkan kehalusan permukaan kertas; pada saat pewarnaan ditambahkan pigmen, pewarna dan bahan pengisi. Proses dilanjutkan dengan pembentukan lembaran kertas yang dimulai pada *headbox*, dimana serat basah ditebarkan pada saringan berjalan.

- Pengepresan

Lembaran kertas kering dihasilkan dengan cara mengepres lembaran diantara silinder pada *calendar stack*.

- Pengeringan

Sebagian besar air yang terkandung didalam lembaran kertas dikeringkan dengan melewati lembaran pada silinder yang berpemanas uap air.

- *Calendar Stack*

Tahap akhir dari proses pembuatan kertas dilakukan pada *calendar Stack*, yang terdiri dari beberapa pasangan silinder dengan jarak tertentu untuk mengontrol ketebalan dan kehalusan hasil akhir kertas.

- *Pope Reel*

Bagian ini merupakan tahap akhir dari proses pembuatan kertas yaitu pemotongan kertas dari gulungannya. Pada bagian ini, kertas yang digulung dalam gulungan besar, dibelah pada ketebalan yang diinginkan, dipotong menjadi lembaran, dirapikan kemudian dikemas.

- Penggunaan Energi di Industri Pulp dan Kertas

Karakteristik teknologi energi yang digunakan untuk industri pulp dan kertas tergantung dari jenis proses yang digunakan. Secara garis besar proses di industri ini dibagi menjadi empat kelompok, yaitu: pembuatan pulp dengan proses kimia dan termokimia, pembuatan pulp secara mekanik, produksi kertas, pembuatan kertas secara recycle. Setiap proses memerlukan energi tertentu yang bisa menggunakan bahan bakar seperti batubara, gas dan

minyak maupun menggunakan energi listrik. Bahan bakar tersebut terutama digunakan untuk pembangkitan uap. Sedangkan alat pengguna listrik yang utama di industri ini adalah motor listrik.

Kayu dan serat diubah menjadi pulp yang kemudian dibentuk menjadi lembaran kertas dengan proses pengeringan. Pembuatan pulp secara mekanik, misalnya untuk membuat kertas koran dilakukan melalui proses penggergajian kayu secara mekanik. Pulp mempunyai kandungan lignin yang tidak berwarna putih murni serta mempunyai kekuatan yang terbatas. Pembuatan pulp dengan proses kimiawi dan termo-kimia dilakukan dengan memisahkan lignin dari serat dengan proses memasak. Dalam proses ini biasanya digunakan bahan kimia sulfat dan menghasilkan produk yang disebut sulphate pulp.

Pembuatan pulp secara mekanik memerlukan energi listrik yang cukup besar. Sedangkan pembuatan pulp secara kimiawi menghasilkan produk sampingan berupa *black liquor*. Produk sampingan ini bisa dimanfaatkan dalam incinerator untuk membangkitkan uap dan listrik. Black liquor dapat menghasilkan energi sebesar 22 GJ per ton produksi pulp. Tergantung dari efisiensi dan konfigurasi proses yang digunakan dalam pabrik pulp kimiawi dapat menghasilkan surplus energi. Karena berbasis pada penggunaan bioenergi maka emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan sangat rendah sehingga potensi untuk pengurangan emisi CO<sub>2</sub> di industri pulp dan kertas sangat terbatas. Sedangkan penggunaan bioenergi secara lebih efisien masih mungkin dilakukan sehingga kelebihan bioenergi tersebut dapat digunakan untuk substitusi bahan bakar fosil di tempat lain.

Pabrik pulp biasanya berada di dekat sumber bahan baku yang seringkali berada di wilayah terpencil di sekitar hutan. Dengan kondisi ini maka memungkinkan untuk membuat pabrik pulp dan kertas yang terintegrasi. Meskipun demikian, pabrik yang terintegrasi ini masih memerlukan pasokan energi listrik dan bahan bakar tambahan. Beberapa pabrik pulp yang modern dapat mencukupi kebutuhan energinya dengan menggunakan bioenergi dari hasil sampingan.

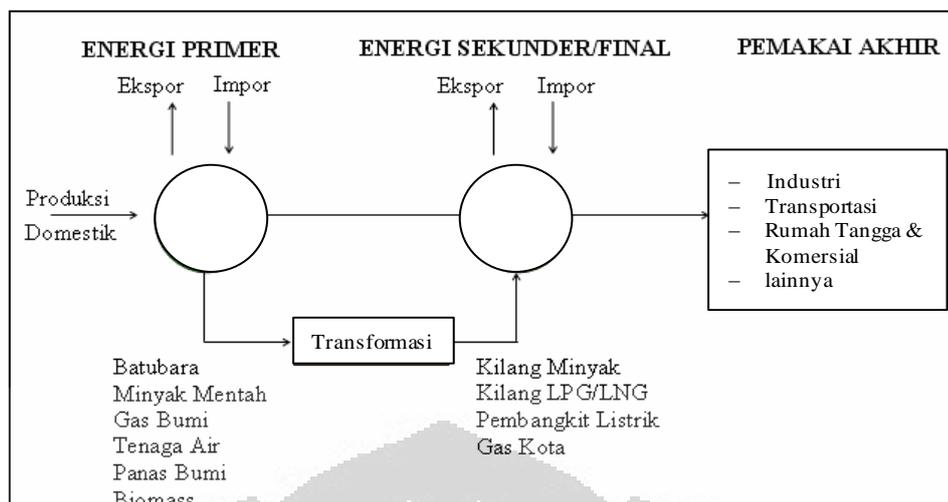
Sepuluh dari produksi kertas dunia berasal dari limbah kertas melalui proses *recycle*. Pabrik kertas *recycle* lebih kecil dari pada pabrik kertas primer dan energi yang dibutuhkan relatif lebih besar. Namun energi yang hilang karena proses pembuatan pulp dapat dihemat karena dengan *recycle*, proses tersebut sudah tidak diperlukan.

## 2.9 Statistik Energi Indonesia

Penyediaan energi di masa depan merupakan permasalahan yang senantiasa menjadi perhatian semua bangsa karena bagaimanapun juga kesejahteraan manusia dalam kehidupan modern sangat terkait dengan jumlah dan mutu energi yang dimanfaatkan. Bagi Indonesia yang merupakan salah satu negara sedang berkembang, penyediaan energi merupakan faktor yang sangat penting dalam mendorong pembangunan. Seiring dengan meningkatnya pembangunan terutama pembangunan di sektor industri, pertumbuhan ekonomi dan pertumbuhan penduduk, kebutuhan akan energi terus meningkat. Sampai saat ini, minyak bumi masih merupakan sumber energi yang utama dalam memenuhi kebutuhan di dalam negeri. Selain untuk memenuhi kebutuhan energi di dalam negeri, minyak bumi juga berperan sebagai komoditi penghasil penerimaan negara dan devisa.

Peranan minyak bumi yang besar tersebut terus berlanjut, sedangkan cadangan semakin menipis. Di lain pihak harga minyak bumi sangat sulit untuk diperkirakan, sebagai akibat banyaknya faktor tak menentu yang berpengaruh. Selain itu, produksi BBM yang dilakukan melalui teknologi transformasi di dalam negeri, tidak mencukupi kebutuhannya.

Sistem penyediaan kebutuhan energi, baik sebelum maupun setelah melalui teknologi transformasi sampai ke pemakai akhir dapat diperlihatkan pada Gambar 2. 10.



Sumber: KESDM, 1996

Gambar 2. 10 Sistem Penyediaan Dan Kebutuhan Energi

Tabel 2. 1 Statistik penyediaan energi primer nasional

(Ribu SBM)

Tahun	Coal	Crude Oil & Product	Natural Gas & Product	Hydro Power	Geothermal	Biomass	Total
2000	93.831	433.360	164.649	25.248	9.596	269.054	995.741
2001	119.125	441.731	172.083	29.380	9.960	268.970	1.041.252
2002	122.879	452.817	188.822	25.038	10.248	270.230	1.070.035
2003	164.950	456.647	204.142	22.937	10.375	272.005	1.131.058
2004	151.543	498.117	187.553	24.385	11.077	271.806	1.144.483
2005	173.673	493.636	191.189	27.034	10.910	270.042	1.166.487
2006	205.779	459.333	196.599	24.256	11.182	276.335	1.173.487
2007	258.174	474.042	183.623	28.450	11.421	275.199	1.230.913
2008	322.934	455.612	193.352	29.060	13.423	277.962	1.292.344

Sumber: KESDM, 2009

Tabel 2. 2 Statistik Konsumsi Energi Nasional

(Ribu SBM)

Tahun	Biomassa	Batubara	Gas Alam	BBM	Produk Minyak Lainnya	Briket	LPG	Listrik	TOTAL
2000	269.042	36.060	87.214	315.272	13.435	85	8.261	48.555	777.924
2001	268.953	37.021	82.235	328.203	25.712	78	8.280	51.841	802.323
2002	270.207	38.598	80.885	325.202	22.688	83	8.744	53.418	799.825
2003	271.974	58.264	90.277	321.384	23.555	77	8.756	55.473	829.760
2004	271.765	55.344	85.459	354.317	37.716	80	9.187	51.393	865.261
2005	270.043	65.744	86.634	338.375	29.614	94	8.453	55.544	854.501
2006	276.271	89.043	83.221	311.913	40.922	94	9.414	59.071	869.949
2007	275.126	121.904	80.178	314.248	30.873	89	10.925	74.376	907.719
2008	277.874	169.138	91.457	312.190	88.099	153	15.719	79.138	1.033.768

Sumber: KESDM, 2009

Tabel 2. 3 Statistik Konsumsi Energi Per Sektor (*included biomass*).

(BOE)

Tahun	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Industri	252.158.714	245.108.900	275.308.517	263.294.377	262.687.070	280.187.757	300.675.120	360.688.169
Rumah Tangga	301.347.223	303.032.794	309.046.165	314.114.684	313.772.025	312.715.871	319.333.000	317.032.982
Komersial	21.449.843	21.752.300	22.397.122	25.412.327	26.234.764	26.194.683	27.896.499	27.984.294
Transportasi	148.259.584	151.498.823	156.232.909	178.374.391	178.452.407	170.127.492	179.135.822	191.257.453
Lain-lain	30.585.607	29.998.546	28.445.436	31.689.809	29.102.166	25.936.873	24.912.051	24.842.951
Konsumsi Energi Final	753.800.971	751.391.363	791.430.149	812.885.588	810.248.432	815.162.676	851.952.492	921.805.849

Sumber: KESDM, 2009

## 2.10 PowerSim Studio

PowerSim studio adalah salah satu perangkat lunak yang digunakan untuk membuat model simulasi baik dinamik maupun linear. Model sendiri didefinisikan sebagai penggambaran dari suatu sistem yang telah dibatasi. Sistem yang dibatasi ini mempunyai pengertian sistem yang meliputi semua konsep dan variabel yang saling berhubungan dengan permasalahan ditentukan (Ricliarson, 1981).

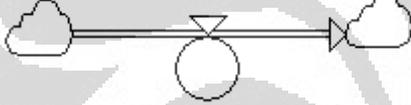
Pada akhir 1950-an, Profesor Jay W. Forrester dari *Sloan School of Management di Massachusetts Institute of Technology*, mengembangkan sebuah metode dinamika sistem. Sejak itu, metode ini telah diterapkan pada berbagai macam masalah baik di sektor publik dan swasta. Perusahaan-perusahaan besar dan lembaga pemerintah menggunakan pengetahuan yang diperoleh dari sistem model dalam merancang sebuah kebijakan dan strategi, dan juga dalam mengambil keputusan taktis.

Powersim merupakan sebuah perangkat lunak yang memfasilitasi studi tentang sistem dinamis. Perangkat lunak ini berbasis MS-Windows, yang memungkinkan perumusan model simulasi dalam notasi grafis yang pada awalnya dikembangkan oleh Profesor Forrester. (catatan: Alat simulasi yang pertama dinamakan Powersim saat ini sudah berganti nama dengan Powersim Studio). ([www.powersim.com](http://www.powersim.com))

Saat ini powersim studio sudah banyak digunakan dalam membangun berbagai model diantaranya baik model simulasi dinamik maupun model non-dinamik. Powersim menggunakan simbol-simbol grafis yang didefinisikan

sebagai wakil dari variabel-variabel yang kita tentukan dalam model. Selain itu program ini juga dilengkapi grafik dan tabel untuk menampilkan hasil perhitungan yang dijalankan. Tabel 2. 4 berikut menampilkan simbol-simbol yang biasa digunakan dalam perangkat lunak ini.

Tabel 2. 4 Simbol-Simbol yang Digunakan Dalam Powersim Studio

Simbol	Keterangan
 (level)	Level mewakili akumulasi pada sistem yang dimodelkan. Level ini dapat di set sebagai level biasa atau reservoir yang nilainya tidak bisa dibawah nol.
 (auxiliary)	Auxiliarie menerima, menghitung dan menyampaikan informasi dalam model. Auxiliary nilainya dapat berubah seiring waktu simulasi tergantung dari persamaan yang dimasukkan.
 (constant)	Constant nilainya ditentukan pada awal simulasi dan tidak berubah selama rentang waktu simulasi.
 (flow rate)	Flow rates mengontrol aliran data dari dan ke dalam level. Semua variabel yang memiliki nilai dapat dijakan sebuah flow rate.

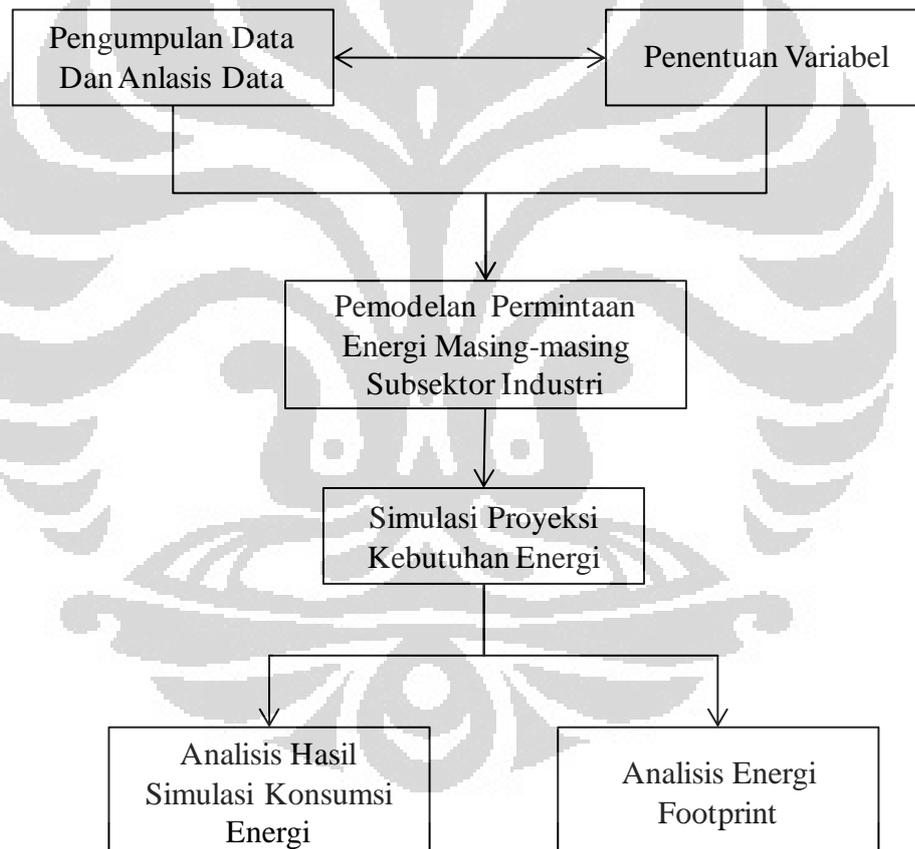
Sumber: powersim studio 2005

## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah pengumpulan data, penentuan variabel, identifikasi data, permodelan, simulasi, analisis dan terakhir adalah membuat rekomendasi terkait hasil penelitian.

### 3.1 Pola Pikir Penelitian

Urutan kegiatan penelitian dapat digambarkan oleh Gambar 3. 1 sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

### 3.2 Pengumpulan Data dan Analisis Data

Data yang digunakan dalam penelitian adalah: data sekunder dari tahun 2001 - 2007 yang berasal dari berbagai sumber seperti: Biro Pusat Statistik (BPS) meliputi data kebutuhan energi sektoral seperti; jumlah konsumsi energi untuk

setiap jenis energi pada subsektor industri manufaktur. Data dari sumber Kementerian Perindustrian seperti produksi subsektor industri manufaktur, serta data makro ekonomi lainnya yang dikeluarkan oleh lembaga seperti Bank Dunia dan IEA atau kementerian-kementerian didalam negeri. Analisis data disajikan pada bab 4 dalam hasil dan pembahasan masing-masing subsektor.

### 3.3 Penentuan Variabel

Penelitian ini merupakan penelitian empiris yang bermaksud untuk mendapatkan variabel-variabel (variabel terikat) baru yang dapat menjelaskan suatu fenomena tertentu dengan data masukan (input) yang bersifat variabel bebas. Pada pemodelan permintaan energi, dibagi menjadi 2 bagian yaitu rentang tahun 2001 – 2007 yang merupakan tahun data dan rentang tahun 2008-2020 yang merupakan rentang tahun proyeksi. Variabel bebas dan variabel terikat yang digunakan juga berbeda untuk tiap rentangnya/bagiannya.

#### Bagian data rentang tahun 2001 - 2007

Variabel bebas pada bagian data adalah sebagai berikut:

- Konsumsi energi subsektor industri
- Produksi energi generator onsite
- Produksi subsektor industri
- Faktor emisi

Variabel terikat untuk bagian data adalah sebagai berikut:

- Intensitas energi
- Emisi CO<sub>2</sub>
- Efisiensi generator onsite
- Intensitas emisi total

#### Bagian proyeksi rentang tahun 2008 – 2020

Variabel bebas pada bagian proyeksi adalah sebagai berikut:

- Intensitas energi tahun 2008 dan tahun 2020
- Laju pertumbuhan PDB nasional
- Efisiensi generator onsite

- Faktor emisi
- Rasio PDB – produksi subsektor industri
- Prosentase konsumsi tiap jenis energi

Variabel terikat pada bagian proyeksi adalah sebagai berikut:

- Konsumsi energi subsektor industri
- Produksi energi generator onsite
- Produksi subsektor industri
- Emisi CO<sub>2</sub>
- Intensitas Emisi CO<sub>2</sub> Total

### 3.4 Pemodelan Permintaan Energi

Model didapatkan dari korelasi parameter/hubungan sebab-akibat yang dikembangkan ke dalam perangkat lunak pemodelan sistem dinamik. Kemudian masing-masing variabel didefinisikan ke dalam perangkat lunak sehingga didapatkan hasil yang diinginkan. Dalam menggunakan perangkat lunak Powersim Studio versi 2005. Dan plot energi footprint menggunakan perangkat lunak e!sankey ver 3.0 *trial version*.

#### 3.4.1 Persamaan Matematis

Persamaan matematis yang digunakan dalam model permintaan energi yang dibuat pada penelitian dibagi dalam dua bagian yaitu bagian data dan bagian proyeksi, persamaannya adalah sebagai berikut:

- Bagian Data (rentang tahun 2001-2007)

Rentang tahun ini merupakan data yang diperoleh tentang konsumsi dan produksi dari subsektor industri manufaktur. Persamaan-persamaan untuk menghitung variabel terikat dalam rentang ini adalah sebagai berikut:

- Intensitas energi

$$I_{E,n} = \frac{K_{ET,n}}{P_n} \quad (1)$$

dengan:

$I_E$  = Intensitas Energi (GJ/Ton)

$K_{ET}$  = Konsumsi Energi Total (GJ)

$P$  = Produksi (Ton)

$n$  = Subsektor Industri Manufaktur

- Emisi CO<sub>2</sub>

$$e_i = fe_i \times K_{E,i} \quad (2)$$

dengan

$e$  = Emisi CO<sub>2</sub> (Ton)

$fe$  = Faktor Emisi CO<sub>2</sub> (Ton/GJ)

$K_E$  = Konsumsi Energi (GJ)

$i$  = Jenis Energi (Solar, Kerosene, FO, Gas, Batubara)

- Efisiensi generator onsite

$$E_f = \frac{K_{E,g}}{P_{L,g}} \times 100\% \quad (3)$$

dengan

$E_f$  = Efisiensi (%)

$K_{E,g}$  = Konsumsi Energi Generator (GJ)

$P_{L,g}$  = Produksi Listrik (GJ)

- Intensitas emisi total

$$I_e = \frac{e_{T,n}}{P_n} \quad (4)$$

dengan

$I_e$  = Intensitas Energi (GJ/Ton)

$e_T$  = Konsumsi Energi Total (GJ)

$P$  = Produksi (Ton)

$n$  = Subsektor Industri Manufaktur

- Bagian Proyeksi (rentang tahun 2008-2020)

Rentang tahun ini merupakan bagian proyeksi dengan menggunakan asumsi yang akan dijelaskan pada subbab berikutnya. Persamaan-persamaan untuk menghitung variabel terikat dalam rentang ini adalah sebagai berikut:

- Konsumsi energi subsektor industri

$$K_{ETP,n} = P_{P,n} \times I_{EP,n} \quad (5)$$

$K_{ETP}$  = Konsumsi Energi Total Proyeksi(GJ)

$I_{EP}$  = Intensitas Energi Proyeksi (GJ/Ton)

$P_P$  = Produksi Proyeksi (Ton)

$n$  = Subsektor Industri Manufaktur

- Produksi energi generator onsite

$$P_{L,g} = K_{E,g} \times \frac{E_f}{100\%} \quad (6)$$

$P_{LP,g}$  = Produksi Listrik Proyeksi (GJ)

$E_{fp}$  = Efisiensi Proyeksi(%)

$K_{EP,g}$  = Konsumsi Energi Generator Proyeksi (GJ)

- Produksi subsektor industri

$$P_{P,n} = RP_{P,n} \times PDB_P \quad (7)$$

$P_{P,n}$  = Produksi Proyeksi (Ton)

$RP_{P,n}$  = Rasio Produksi – PDB Proyeksi (Ton/Milyar Rp)

$PDB_P$  = Produk Domestik Bruto Proyeksi

$n$  = Subsektor Industri Manufaktur

- Emisi CO<sub>2</sub>

$$e_{p,i} = fe_i \times K_{EP,i} \quad (8)$$

dengan

$e_p$  = Emisi CO<sub>2</sub> Proyeksi (Ton)

$fe$  = Faktor Emisi CO<sub>2</sub> (Ton/GJ)

$K_{EP}$  = Konsumsi Energi Proyeksi (GJ)

$i$  = Jenis Energi (Solar, Kerosene, FO, Gas, Batubara)

- Intensitas Emisi CO<sub>2</sub> Total Proyeksi

$$I_{eP} = \frac{e_{TP,n}}{P_{P,n}} \quad (9)$$

$I_{eP}$  = Intensitas Energi Proyeksi (GJ/Ton)

$e_{TP}$  = Konsumsi Energi Total Proyeksi (GJ)

$P_P$  = Produksi Proyeksi (Ton)

$n$  = Subsektor Industri Manufaktur

### 3.4.2 Asumsi

Asumsi dapat dikatakan sebagai batasan kondisi dalam sebuah model, asumsi digunakan untuk lebih memudahkan dalam pemodelan. Dalam penelitian ini asumsi digunakan dalam memproyeksi kebutuhan energi subsektor manufaktur mulai tahun 2008 sampai dengan tahun 2020. Asumsi-asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Laju pertumbuhan PDB

Laju pertumbuhan PDB digunakan untuk menghitung nilai PDB pada tahun-tahun proyeksi. Laju pertumbuhan PDB yang digunakan pada penelitian ini diambil dari Masterplan Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia (MP3EI) 2011-2025 untuk tahun 2012 – 2020 dan data BPS pada tahun 2008-2011. Tabel 3. 1 berikut menyajikan laju pertumbuhan PDB yang digunakan.

Tabel 3. 1 Asumsi Laju PDB yang Digunakan

Tahun	Laju PDB	Tahun	Laju PDB
2008	6.01%	2015	8.0%
2009	4.55%	2016	8.0%
2010	6.10%	2017	8.0%
2011	6.50%	2018	8.0%
2012	6.90%	2019	8.0%
2013	7.40%	2020	9.0%
2014	7.70%		

Sumber: MP3EI

- Intensitas energi

Asumsi intensitas energi ini diambil dengan melihat benchmark intensitas energi yang paling rendah untuk mensimulasikan keadaan ‘ekstrim’ untuk melihat pengaruh konsumsi energi dan juga perbedaan/penghematan konsumsi energi dengan keadaan intensitas energi yang tidak berubah. Asumsi intensitas energi yang digunakan untuk setiap sub sektor industri manufaktur yang dimodelkan, dijabarkan sebagai berikut:

- Industri Semen

Intensitas energi digunakan untuk menghitung konsumsi energi total subsektor. Intensitas energi pada industri semen yang digunakan pada tahun 2008 adalah intensitas energi PT. X. Sedangkan intensitas energi pada tahun 2020 menggunakan intensitas energi semen pada Negara Spanyol sebesar 2,04 GJ/ ton semen.

- Industri Baja

Intensitas energi pada industri semen yang digunakan pada tahun 2008 adalah intensitas energi tertinggi yang dihitung pada tahun-tahun

sebelumnya yaitu sebesar 14,7 GJ/ton baja. Sedangkan intensitas energi pada tahun 2020 menggunakan intensitas energi semen pada Negara Yunani (Greece) sebesar 3,83 GJ

- Industri Pulp dan Kertas

Pada sektor ini tidak dilakukan proyeksi intensitas energi, karena tidak adanya data acuan.

- Prosentase konsumsi per jenis energi

Prosentase konsumsi per jenis energi ini diambil dari rata-rata data yang diperoleh. Asumsi ini untuk menghitung berapa jumlah konsumsi energi per jenis energi, yang nantinya akan mempengaruhi jumlah emisi CO<sub>2</sub> yang terbentuk.

- Prosentase konsumsi energi untuk proses

Prosentase konsumsi energi untuk proses menggunakan asumsi sebesar 90%. Asumsi ini diambil dari hasil audit energi yang dilakukan oleh DJLPE pada beberapa industri manufaktur.

- Efisiensi pembangkit listrik onsite

Untuk efisiensi pembangkit listrik onsite digunakan nilai 37% dari energi masuk generator listrik onsite. Nilai ini diambil dari hasil kajian *International Energy Agency* (IEA) pada tahun 2008.

- Faktor Emisi CO<sub>2</sub>

Faktor emisi adalah bilangan yang menyatakan jumlah rata-rata emisi yang dihasilkan suatu bahan bakar tertentu per jumlah energi. Data factor emisi diperoleh dari *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC). Berikut adalah data faktor emisi yang digunakan dalam penelitian ini.

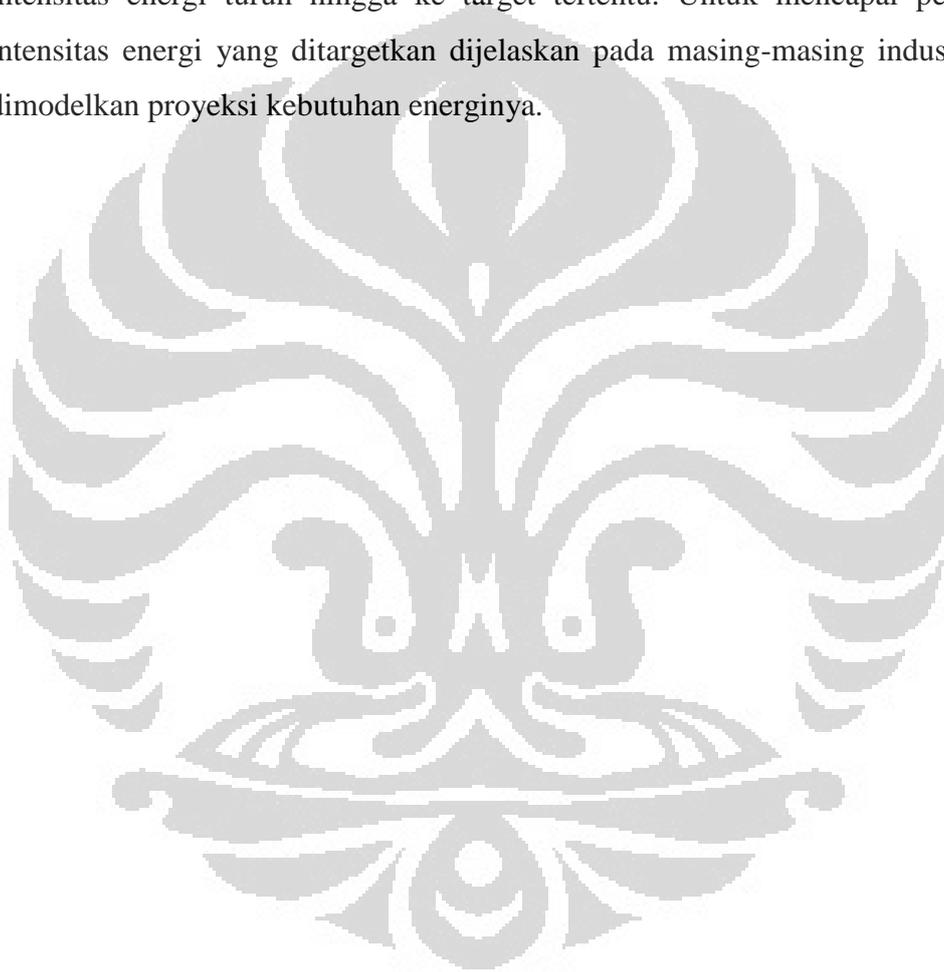
Tabel 3. 2 Faktor Emisi untuk Tiap Jenis Bahan Bakar

Jenis Bahan Bakar	Faktor Emisi (ton CO <sub>2</sub> /GJ)
Solar	0,0741
Kerosene	0,0715
FO	0,0788
Gas pipa	0,0561
LPG	0,0631
Batubara	0,0983

Sumber Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2012)

### 3.5 Simulasi Model Permintaan Energi

Pada tahap ini akan dilakukan simulasi dengan menggunakan model permintaan energi dengan inputan dua skenario yaitu skenario konservasi dan skenario dasar dengan periode 2008-2020. Pada skenario dasar digunakan intensitas energi yang tetap sepanjang waktu proyeksi, sedangkan pada skenario konservasi intensitas energi diturunkan sampai target tertentu pada tahun 2020. Skenario konservasi menunjukkan kondisi yang dipaksakan untuk membuat intensitas energi turun hingga ke target tertentu. Untuk mencapai penurunan intensitas energi yang ditargetkan dijelaskan pada masing-masing industri yang dimodelkan proyeksi kebutuhannya.



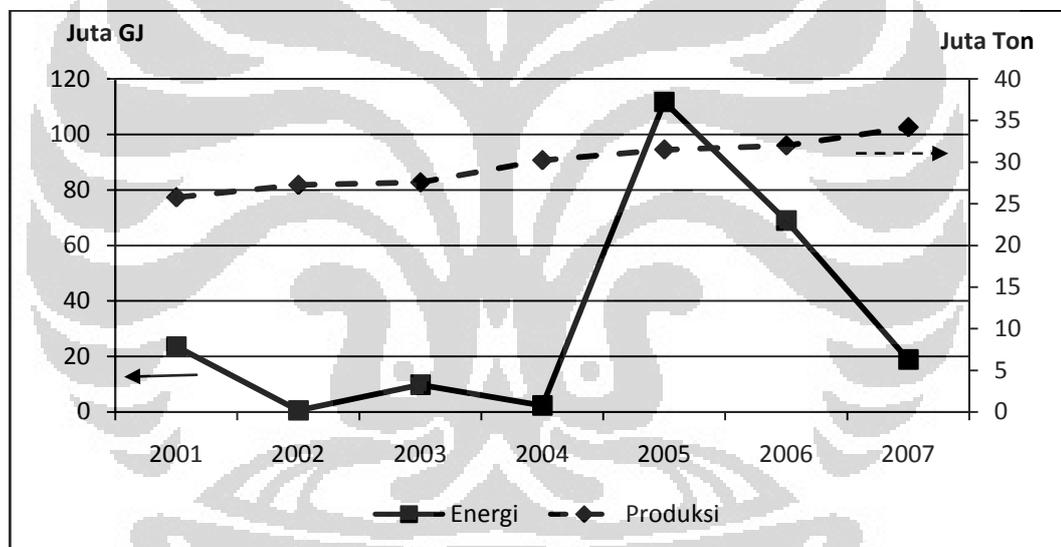
## BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Industri Semen

Industri semen merupakan industri yang mengkonsumsi energi terbesar ke 2 dari total konsumsi energi seluruh industri manufaktur. Pada subbab berikutnya akan dibahas hasil analisa dari industri semen.

#### 4.1.1 Konsumsi Energi dan Produksi Industri Semen

Data konsumsi energi dan produksi industri semen di Indonesia diperlihatkan oleh Gambar 4. 1



Sumber: BPS dan Kemenperin (diolah)

Gambar 4. 1 Produksi Semen dan Konsumsi Energi Industri Semen

Data konsumsi energi hasil survey BPS tidak mencakup seluruh industri semen di Indonesia, hal ini terlihat dari Gambar 4. 1 dimana tren produksi yang cenderung tetap sedangkan tren konsumsi energi yang naik turun. Untuk data produksi semen yang hampir sama didapatkan data konsumsi energi yang jauh berbeda. Pada data yang disediakan BPS juga tidak terdapat data produksi pabrik-pabrik yang disurvei, sehingga intensitas energi pada industri semen ini tidak dapat dimewakili keadaan sesungguhnya industri semen yang ada di Indonesia.

Intensitas energi pada subsektor industri semen akan dibahas pada subab selanjutnya.

Untuk konsumsi energi pada PT. X tahun 2008 disajikan pada Tabel 4.1 berikut ini.

Tabel 4. 1 Konsumsi Energi PT. X Tahun 2008

<b>Jenis Energi</b>	<b>GJ</b>
Panas	19.938.389
Listrik	2.212.364
Total	22.150.754

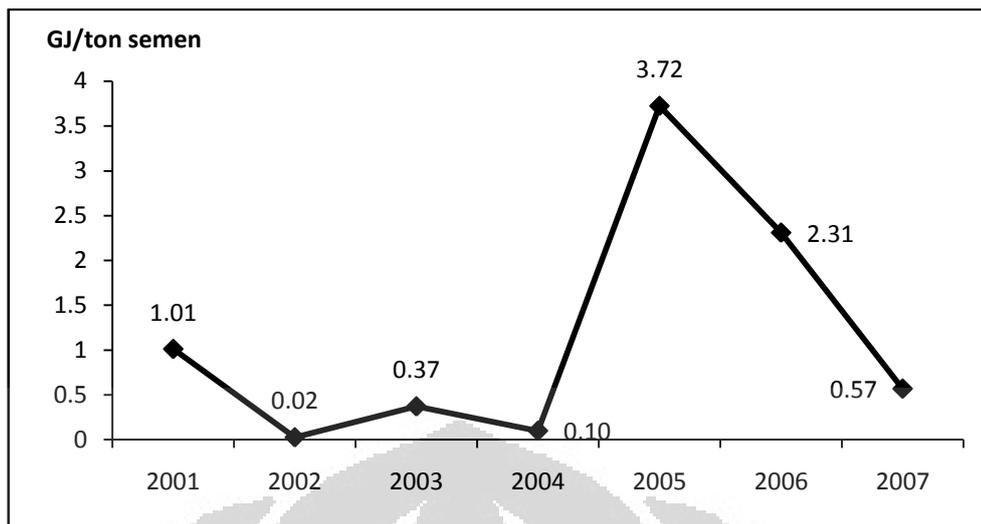
Sumber Audit energi DJLPE

Terlihat pada Tabel 4.1 bahwa konsumsi energi pada PT. X dibagi kedalam 2 jenis, yaitu energi panas dan energi listrik. Energi panas merupakan energi yang berasal dari pembakaran bahan bakar seperti batubara, solar maupun gas yang digunakan pada perusahaan tersebut. Dari data yang diperoleh ini semakin terlihat jika data survey konsumsi energi yang dilakukan BPS (Gambar 4. 1) tidak mencakup semua industri semen yang ada bahkan nilai konsumsi energinya lebih rendah dari PT. X pada tahun-tahun tertentu. Produksi PT. X pada tahun 2008 tercatat sebesar 5.840.189 ton.

#### **4.1.2 Intensitas Energi Industri Semen**

Intensitas energi yang diperoleh tidak konsisten pada setiap tahunnya, hal ini disebabkan karena data konsumsi energi pada industri semen yang tidak membentuk sebuah tren. Jika dibandingkan antara data energi dan data produksi (Gambar 4. 1) maka akan terlihat ketidak-konsistenan data hasil survey yang dilakukan oleh BPS. Intensitas energi yang didapat memiliki rentang yang jauh dari 0,02 sampai 3,72 GJ/ton semen.

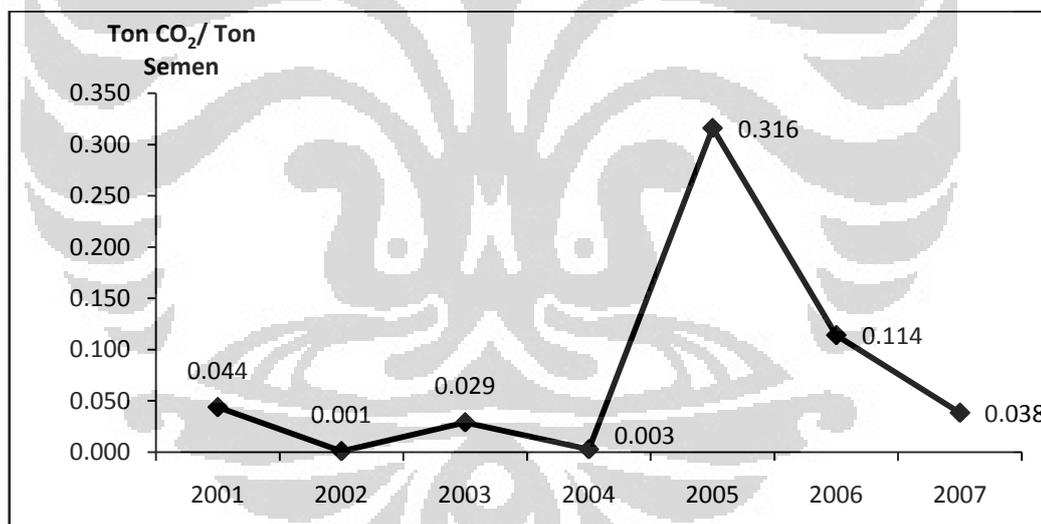
Intensitas energi pada PT. X di tahun 2008 didapatkan sebesar 3,74 GJ/ton semen. Intensitas ini yang akan dibandingkan dengan intensitas energi pada industri semen dengan Negara-negara lain.



Gambar 4. 2 Intensitas Energi Industri Semen Indonesia

#### 4.1.3 Intensitas Emisi CO<sub>2</sub> Industri Semen

Intensitas emisi CO<sub>2</sub> pada Industri semen Indonesia disajikan pada Gambar 4.3 berikut ini

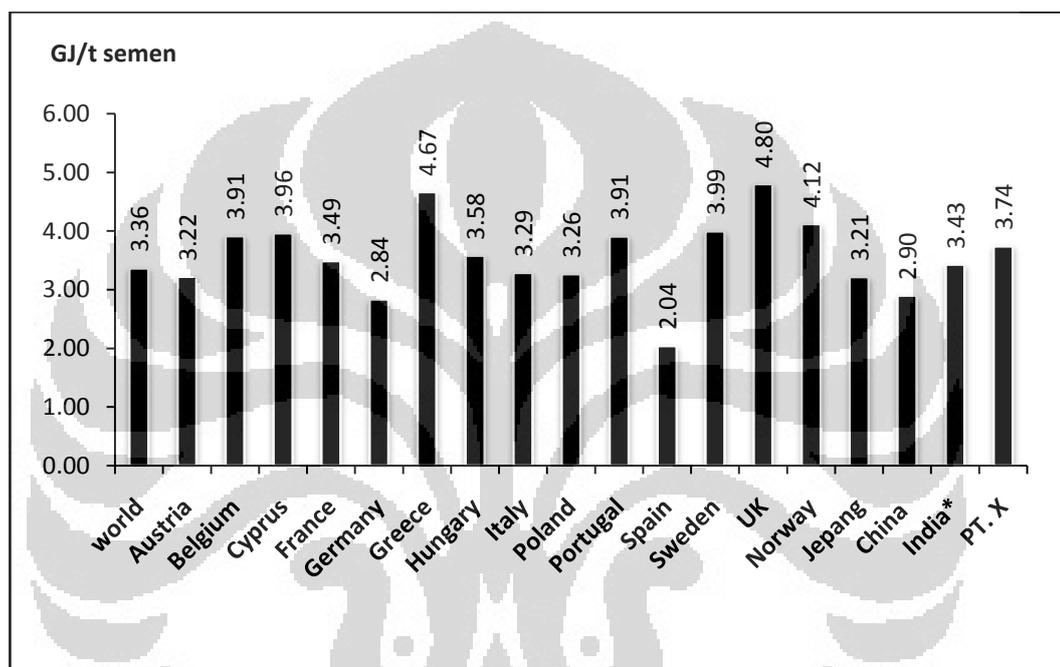


Gambar 4. 3 Intensitas Emisi CO<sub>2</sub> Industri Semen Tahun 2001 - 2007

Intensitas emisi pada industri semen mengikuti tren konsumsi energinya. Berdasarkan data yang ada, intensitas emisi CO<sub>2</sub> pada tahun 2001 – 2007 berkisar antara 0,001 ton CO<sub>2</sub>/ton semen sampai dengan 0,316 ton CO<sub>2</sub>/ton semen. Dari data konsumsi energi yang ada intensitas emisi ini tidak dapat dibandingkan dengan Negara lain karena data yang tidak lengkap, sehingga hasil yang diperoleh tidak mencerminkan emisi yang sesungguhnya dari industri semen di Indonesia.

#### 4.1.4 Benchmark Intensitas Energi Industri Semen

Benchmark dilakukan untuk melihat perbandingan intensitas energi industri semen Indonesia dengan Negara lain dan memperkirakan peluang kenaikan intensitas energi industri semen Indonesia dengan patokan intensitas energi sebuah negara yang lebih efisien atau *best practice technology* yang ada di dunia saat ini. Gambar 4.4 berikut ini menggambarkan intensitas energi beberapa Negara di Eropa.



Sumber : [www.eea.europa.eu](http://www.eea.europa.eu)

Note: \* data tahun 2004

Gambar 4. 4 Intensitas Energi Industri Semen di beberapa Negara Tahun 2008

Gambar 4. 4 memperlihatkan bahwa terdapat 7 negara yang memiliki intensitas di bawah rata-rata dunia (3,36 GJ/ton semen), yaitu Spain (2,04 GJ/ton semen), Austria (3,220 GJ/ton semen), Germany (2,84 GJ/ton semen), Italy (3,29 GJ/ton semen), Poland (3,26 GJ/ton semen), Japan (3,21 GJ/ton semen) dan China (2,9 GJ/ton semen). Negara yang paling mendekati kebutuhan energi untuk pembakaran secara teoritis sebesar 1,7 – 1,8 GJ/tonsemen (cement beureu, 2005) adalah Spain dengan intensitas energi sebesar 2,04 GJ/ton semen.

Intensitas energi industri semen Indonesia secara nasional tidak dapat dibandingkan karena ketersediaan data yang tidak mendukung. Intensitas energi PT. X termasuk baik hanya berbeda sebesar 11% dibandingkan dengan rata-rata

dunia saat ini. Tetapi hal ini masih dapat ditingkatkan lagi dengan melakukan konservasi energi.

#### **4.1.5 Energy Footprint Industri Semen**

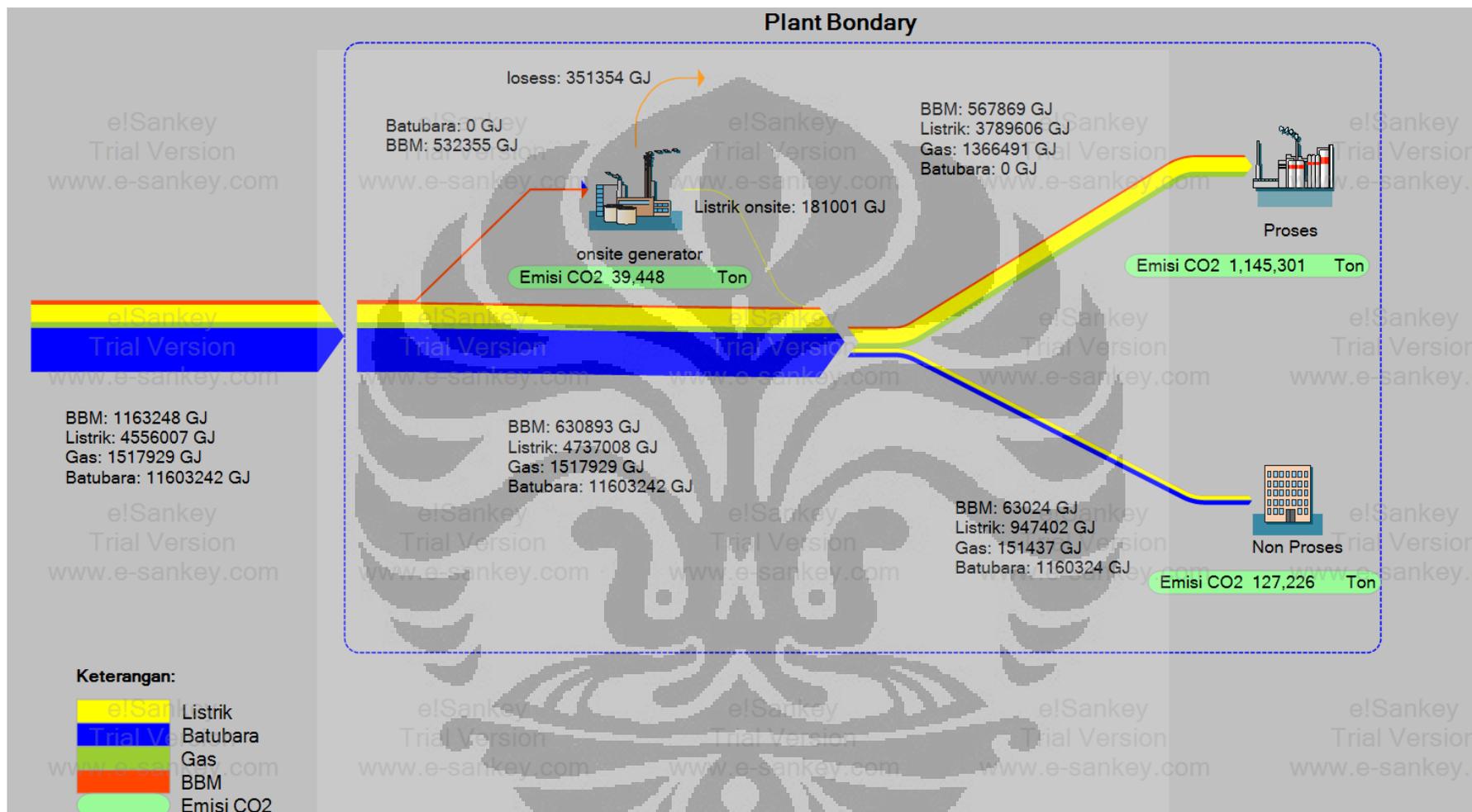
*Energy Footprint* merupakan gambaran tentang aliran/alur energi yang dikonsumsi dalam sebuah industri. Dalam aliran energi ini termuat jumlah energi yang dikonsumsi baik untuk proses produksi, non proses produksi dan energi yang dikonsumsi untuk perubahan bentuk energi. Energi losses yang terjadi akibat perubahan bentuk energi juga digambarkan pada aliran energi ini. Gambar 4. 5 menunjukkan aliran energi untuk industri semen di Indonesia pada tahun 2007 dalam satuan Giga Joule (GJ).

Aliran energi pada Gambar 4.5 didasarkan pada data konsumsi energi yang tersedia dari BPS, asumsi yang digunakan adalah prosentase energi yang digunakan untuk proses yaitu sebesar 90,23%. Asumsi ini diambil dari hasil audit energi yang dilakukan oleh DJLPE pada beberapa industri industri semen.

Terlihat pada Gambar 4. 5 losses terjadi pada perubahan bentuk energi dari energi termal menjadi energi listrik yang diubah pada generator. Efisiensi energi yang dihitung hanya sebesar 34% atau kehilangan energi sekitar 350 ribu GJ. Efisiensi generator ini masih dibawah rule of thumb yang menyatakan efisiensi generator berkisar antara 37%-45% (IEA, 2008), ini berarti masih ada potensi penghematan energi sekitar 0,8 – 1,3 juta GJ pada pembangkitan listrik onsite.

Jenis bahan bakar yang terbanyak dikonsumsi oleh industri ini adalah batubara sebesar 11,6 juta GJ (62%) dari total konsumsi energi sebesar 18,8 juta GJ. Energi listrik yang dibeli untuk memenuhi kebutuhan pabrik sebesar 4,5 juta GJ (24%), sisanya sebesar 14% menggunakan gas dan BBM.

Beberapa cara peningkatan efisiensi energi untuk industri semen di Indonesia masih dapat dilakukan diantaranya dengan menggunakan pembangkit listrik co-generation yang memanfaatkan panas keluaran dari proses preheater yang menggunakan udara dengan suhu mencapai 900 °C. Hal yang sama sudah dikaji oleh Banerjee (2002) pada industri semen di India yang dapat menghemat energi sebesar 30% dari total energi yang dibutuhkan industri untuk berproses.



Gambar 4. 5 Energi Footprint dan Emisi CO<sub>2</sub> Industri Semen tahun 2007

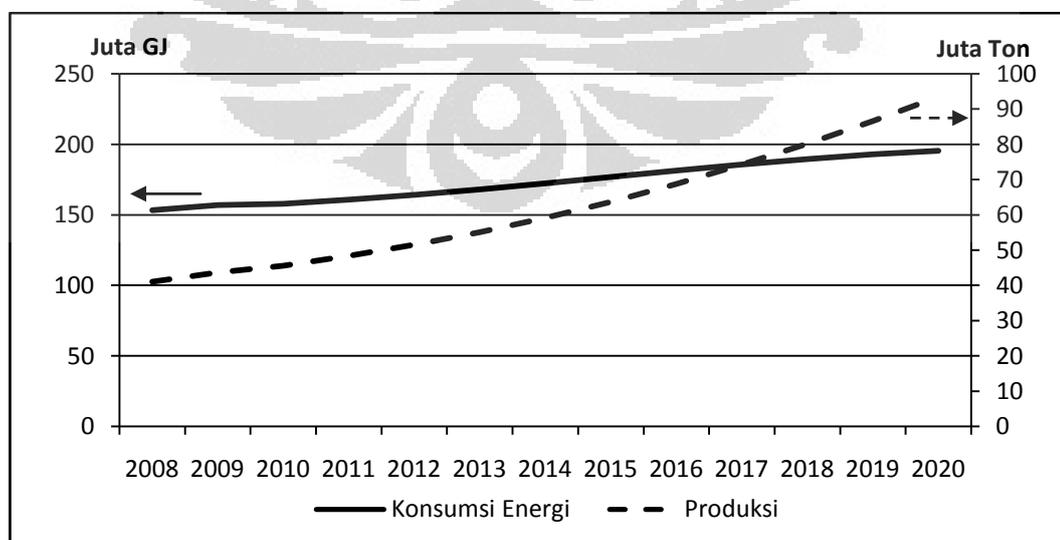
#### 4.1.6 Simulasi Model Permintaan Energi Industri Semen

##### - Proyeksi Konsumsi energi dan produksi industri semen

Hasil simulasi konsumsi energi dan produksi industri semen ditunjukkan pada Gambar 4.6. Terlihat pada Gambar 4.6 bahwa baik konsumsi energi maupun produksi cenderung meningkat setiap tahunnya. Pertumbuhan rata-rata dari produksi mencapai 8% per tahun, sedangkan pertumbuhan konsumsi energinya sebesar 2% per tahunnya. Pertumbuhan konsumsi energi yang kecil ini akibat asumsi model yang menurunkan intensitas energi tiap tahunnya hingga mencapai 2,9 GJ/ ton semen pada tahun 2020.

Penurunan intensitas energi ini dapat dicapai dengan cara-cara sebagai berikut:

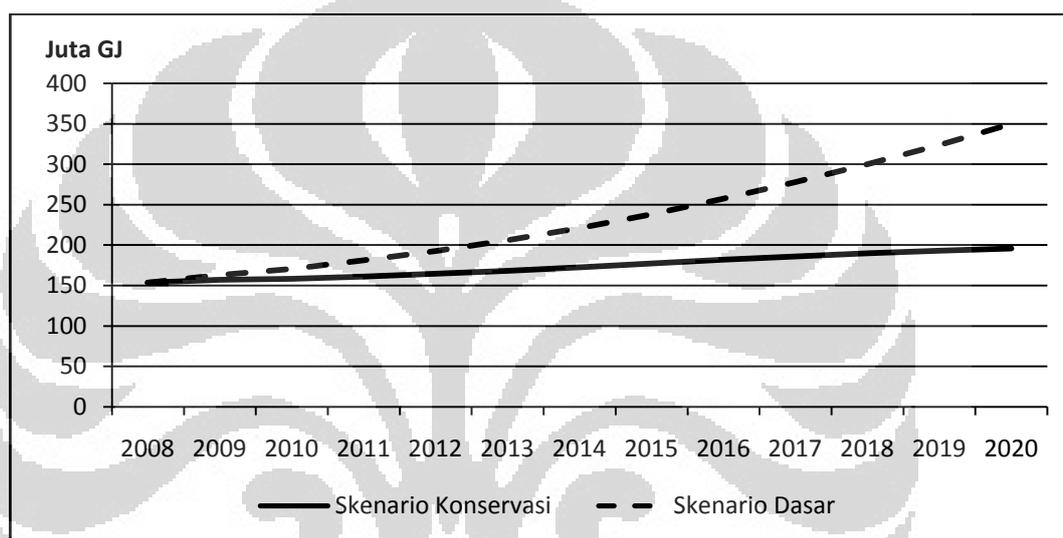
- Mengurangi rasio klinker-semen, karena hampir 90% energi digunakan untuk memproduksi klinker. Hal ini dapat mengurangi intensitas energi per ton semen sampai 15% (worrell, 2007). Semen jenis Portland dapat menggunakan klinker 65% dan *fly ash* 35%. Semen jenis *blast furnace* dapat dicampur dengan 65% *blast furnace slag* dan 35% klinker.
- Optimasi pendinginan klinker dengan cara mengurangi akses udara dengan mengontrol kedalaman kiln, ini dapat menghemat konsumsi energi sampai dengan 0,5 GJ/ton.
- Memasang waste heat recovery, ini dapat mengurangi konsumsi bahan bakar untuk generator sebesar 30% (Banerjee, 2002).



Gambar 4. 6 Proyeksi Konsumsi Energi dan Produksi Industri Semen

Produksi semen pada tahun 2020 meningkat sebesar 128% dari tahun 2008 atau sebesar 93.551.163 ton semen. Sedangkan konsumsi energi hanya meningkat sebesar 27,5% dari 153 juta GJ pada tahun 2008 menjadi 196 Juta GJ pada tahun 2020.

Dengan asumsi penurunan intensitas energi setiap tahunnya sampai tahun 2020, penghematan yang dapat dicapai mencapai 150 juta GJ pada tahun 2020. Hal ini karena perbandingan antara konsumsi energi pada intensitas tetap lebih tinggi, (Gambar 4.7).



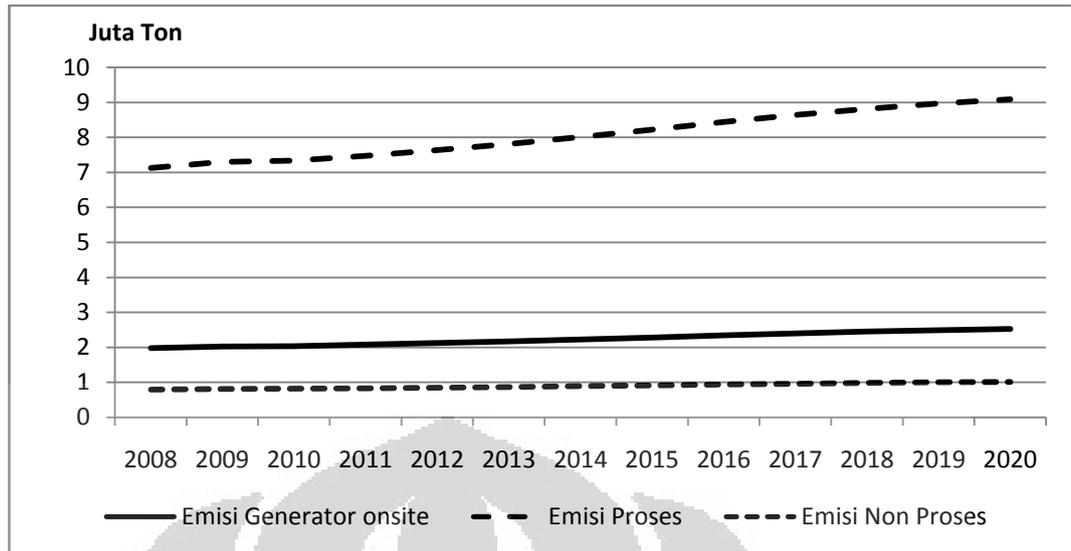
Gambar 4. 7 Perbandingan Konsumsi Energi antara Skenario Dasar dengan Skenario Konservasi

Pertumbuhan rata-rata konsumsi energi tiap tahunnya jika intensitas energi tetap sebesar 7,1%, sehingga mencapai angka 350 Juta GJ pada tahun 2007. Nilai jauh berbeda dengan konsumsi energi jika intensitas energinya turun yang pertumbuhannya hanya mencapai 2% pertahunnya.

#### - Emisi CO<sub>2</sub>

Emisi yang dihasilkan dari simulasi diperlihatkan pada Gambar 4.8 berikut ini.

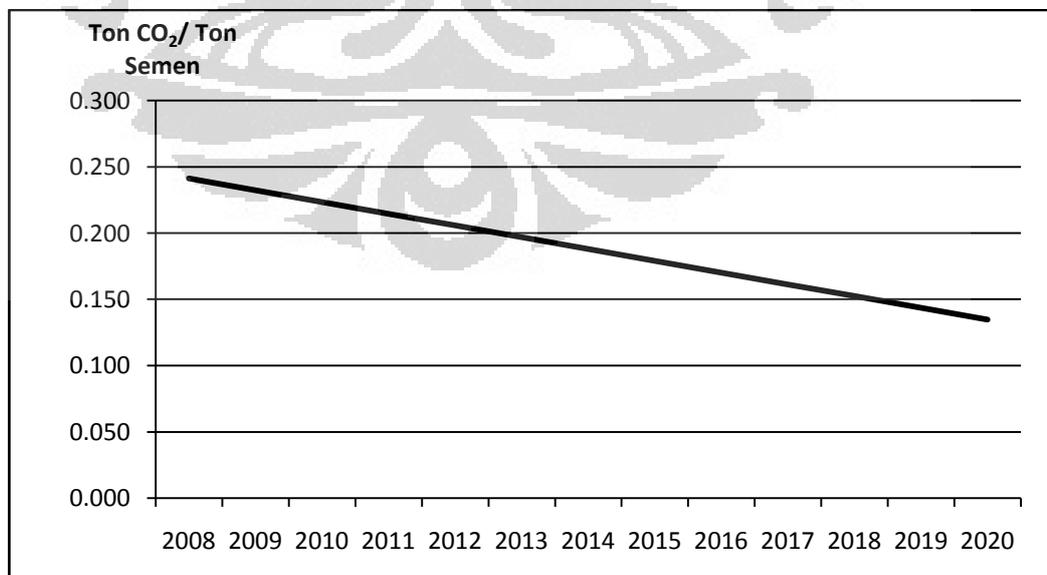
Emisi terbesar dihasilkan dari proses pembuatan semen yang mencapai 9 Juta Ton CO<sub>2</sub> pada tahun 2020, sedangkan emisi dari generator onsite dan non proses berturut-turut sebesar 2,5 Juta Ton CO<sub>2</sub> dan 1 Juta Ton CO<sub>2</sub>. Emisi yang dihasilkan tergantung dari jenis bahan bakar yang digunakan.



Gambar 4. 8 Emisi Industri Semen 2008 – 2020

Intensitas emisi total yang diperlihatkan pada Gambar 4.9 memiliki tren negative (turun setiap tahunnya). Hal ini dikarenakan kenaikan emisi CO<sub>2</sub> total lebih rendah dibandingkan dengan kenaikan pada produksi semen, sehingga membuat tren intensitas emisi menjadi turun.

Intensitas CO<sub>2</sub> pada industri semen turun sebesar 44% dari 0,24 pada tahun 2008 menjadi 0,13 pada tahun 2020. Hal ini juga menunjukkan hubungan positif antara intensitas energi dan intensitas karbon. Dengan menurunnya intensitas energi, intensitas karbon juga akan menurun.



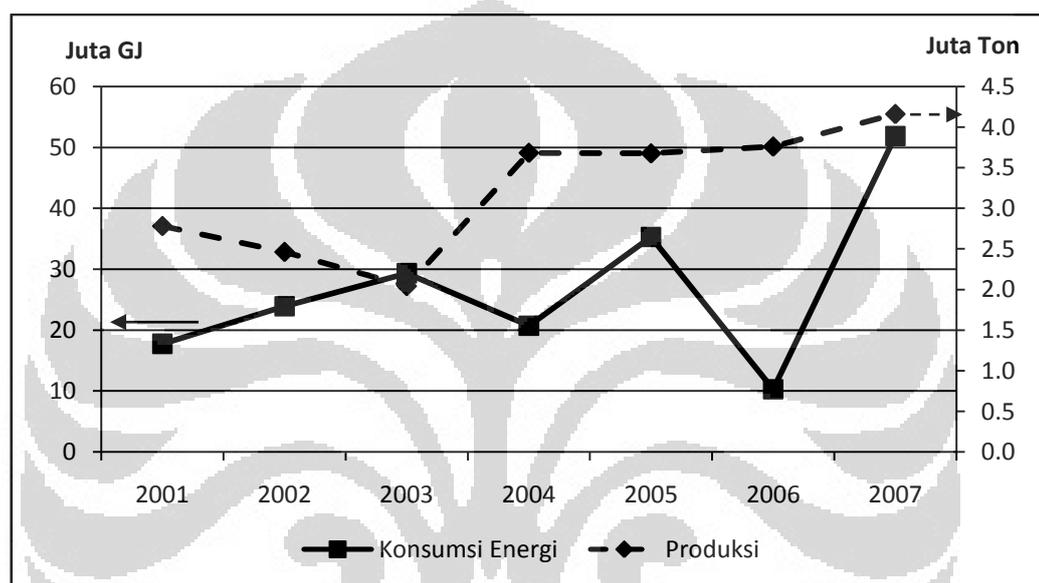
Gambar 4. 9 Intensitas CO<sub>2</sub> Industri Semen Tahun 2008 - 2020

## 4.2 Industri Baja

Pembahasan industri baja pada penelitian ini dibagi kedalam 6 bagian, pembahasan dimulai dari kondisi data yang di dapatkan kemudia dilanjutkan dengan perhitungan dan proyeksi kebutuhan energi, produksi maupun emisi.

### 4.2.1 Konsumsi Energi dan Produksi Industri Baja

Konsumsi energi dan produksi industri baja di Indonesia disajikan oleh Gambar 4. 10 berikut



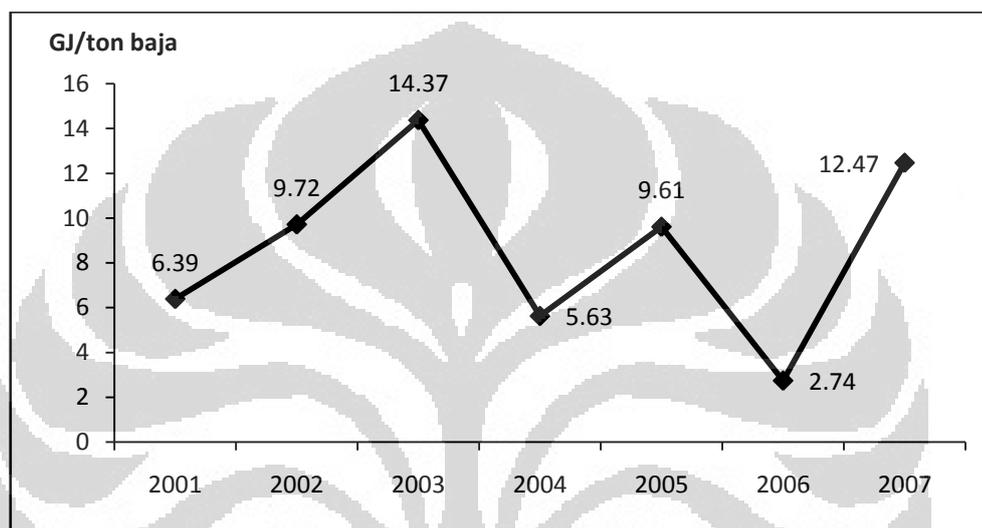
Sumber: BPS dan Worldsteel Association (diolah)

Gambar 4. 10 Produksi Baja dan Konsumsi Energi Industri Baja

Data konsumsi energi seperti yang terlihat pada Gambar 4. 10 memiliki kecenderungan untuk naik setiap tahunnya, kecuali pada tahun 2004 dan 2006. Sedangkan tren produksi industri baja nasional justru naik dibandingkan dengan tahun sebelumnya pada dua tahun tersebut. Hal ini mungkin disebabkan karena data konsumsi energi yang dikumpulkan BPS tidak mencakup seluruh industri baja yang ada di Indonesia sehingga tren konsumsi energi berbeda dengan tren produksi baja nasional. Untuk data produksi baja yang hampir sama didapatkan data konsumsi energi yang jauh berbeda (tahun 2004 – 2006). Pada data yang disediakan BPS juga tidak terdapat data produksi pabrik-pabrik yang disurvei. Kedua data ini digunakan untuk menghitung intensitas energi industri baja yang dipaparkan pada subbab selanjutnya.

#### 4.2.2 Intensitas Energi Industri Baja

Intensitas energi yang diperoleh tidak konsisten pada setiap tahunnya, hal ini disebabkan karena data konsumsi energi pada industri baja yang tidak membentuk sebuah tren. Jika dibandingkan antara data energi dan data produksi (Gambar 4. 10) maka akan terlihat ketidak-konsistenan data hasil survey yang dilakukan oleh BPS. Intensitas energi yang didapat dari data ini memiliki rentang yang jauh dari 2,74 sampai 14,47 GJ/ton baja.



Gambar 4. 11 Intensitas Energi Industri Baja Indonesia

Intensitas energi pada industri baja memang bervariasi tergantung dari proses utama yang digunakan seperti yang terlihat pada Tabel 4. 2.

Tabel 4. 2 Intensitas Energi Industri Baja untuk Setiap Jenis Proses

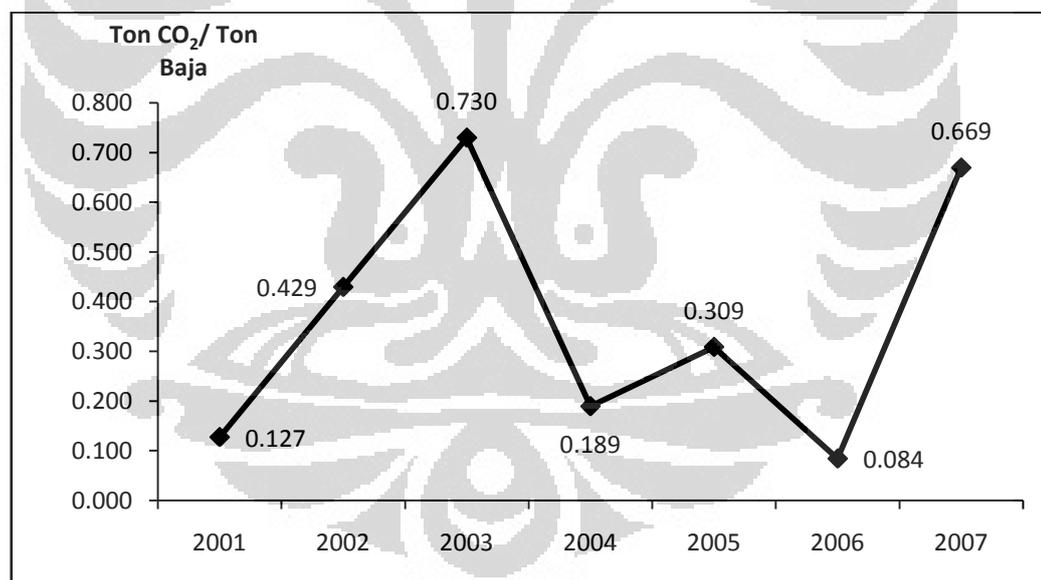
		Blast Furnace – Basic Oxygen Furnace		Smelt Reduction- Basic Oxygen Furnace		Direct Reduced Iron – Electric Arc Furnace		Scrap - Electric Arc Furnace	
		GJ/t	kgce/t	GJ/t	kgce/t	GJ/t	kgce/t	GJ/t	kgce/t
Material Preparation	Sintering	1.9	65.2			1.9	65.2		
	Pelletizing			0.6	19.0	0.6	19.0		
	Coking	0.8	28.6						
Ironmaking	Blast Furnace	12.2	414.9						
	Smelt Reduction			17.3	591.6				
	Direct Reduced Iron					11.7	399.6		
Steelmaking	Basic Oxygen Furnace	-0.4	-15.4	-0.4	-15.4				
	Electric Arc Furnace					2.5	85.6	2.4	80.6
	Refining	0.1	4.3	0.1	4.3				
Casting and Rolling	Continuous Casting	0.1	2.0	0.1	2.0	0.1	2.0	0.1	2.0
	Hot Rolling	1.8	62.5	1.8	62.5	1.8	62.5	1.8	62.5
<b>Sub-Total</b>		<b>16.5</b>	<b>562.2</b>	<b>19.5</b>	<b>664.0</b>	<b>18.6</b>	<b>633.9</b>	<b>4.3</b>	<b>145.1</b>
Cold Rolling and Finishing	Cold Rolling	0.4	13.7	0.4	13.7				
	Finishing	1.1	38.1	1.1	38.1				
<b>Total</b>		<b>18.0</b>	<b>613.9</b>	<b>21.0</b>	<b>715.8</b>	<b>18.6</b>	<b>633.9</b>	<b>4.3</b>	<b>145.1</b>

(Worrell et al., 2007)

Terlihat pada Tabel 4. 2 bahwa rentang intensitas energi berada antara 4,3 GJ/ ton baja yang diperoleh dari proses Scrap – EAF yang dilanjutkan dengan Casting dan Rolling sampai dengan 19,5 GJ/ton baja yang diperoleh dari proses SR – BOF. Ini menunjukkan bahwa data konsumsi yang disediakan BPS tidak mencakup seluruh industri baja yang ada di Indonesia atau hanya perusahaan-perusahaan yang menggunakan proses tertentu saja yang disurvei.

#### 4.2.3 Intensitas Emisi CO<sub>2</sub> Industri Baja

Intensitas emisi CO<sub>2</sub> pada industri baja Indonesia disajikan pada Gambar 4. 12. Intensitas emisi pada industri baja mengikuti tren konsumsi energinya. Berdasarkan data yang ada, intensitas emisi CO<sub>2</sub> pada tahun 2001 – 2007 berkisar antara 0,084 ton CO<sub>2</sub>/ton baja sampai dengan 0,73 ton CO<sub>2</sub>/ton baja. Dari data konsumsi energi yang ada intensitas emisi ini tidak dapat dibandingkan dengan Negara lain karena data yang tidak lengkap, sehingga hasil yang diperoleh tidak mencerminkan emisi yang sesungguhnya dari industri baja di Indonesia.

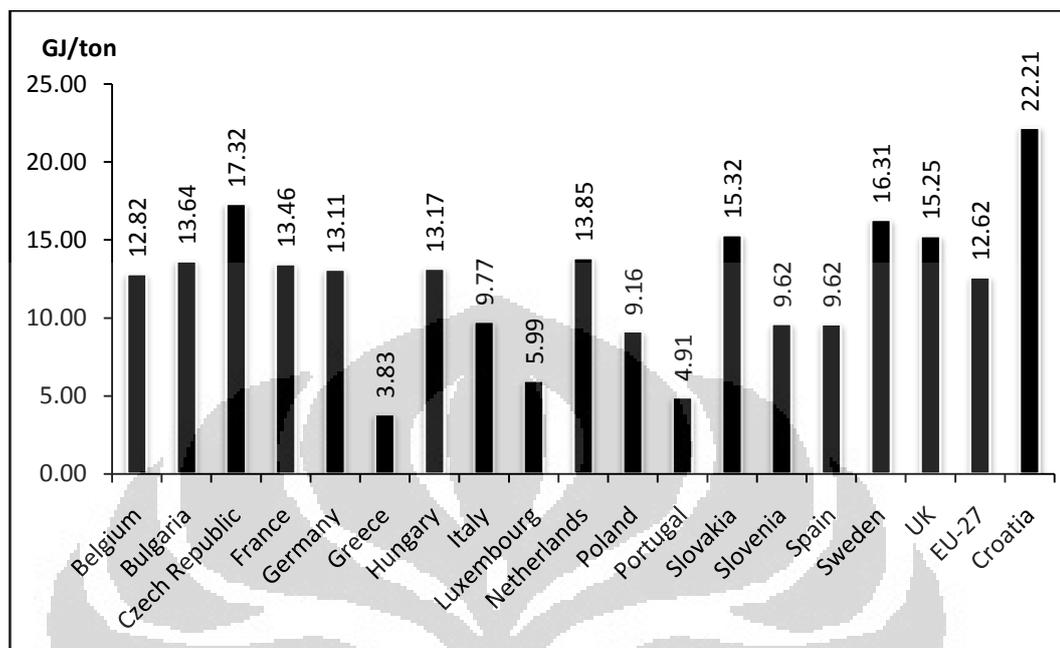


Gambar 4. 12 Intensitas Emisi CO<sub>2</sub> Industri Baja Tahun 2001 - 2007

#### 4.2.4 Benchmark Intensitas Energi Industri Baja

Benchmark dilakukan untuk melihat perbandingan intensitas energi industri baja Indonesia dengan Negara lain dan memperkirakan peluang kenaikan intensitas energi industri baja Indonesia dengan patokan intensitas energi sebuah

negara yang lebih efisien yang ada di dunia saat ini. Gambar 4. 13 berikut ini menggambarkan intensitas energi beberapa Negara di Eropa.



Sumber : [www.eea.europa.eu](http://www.eea.europa.eu)

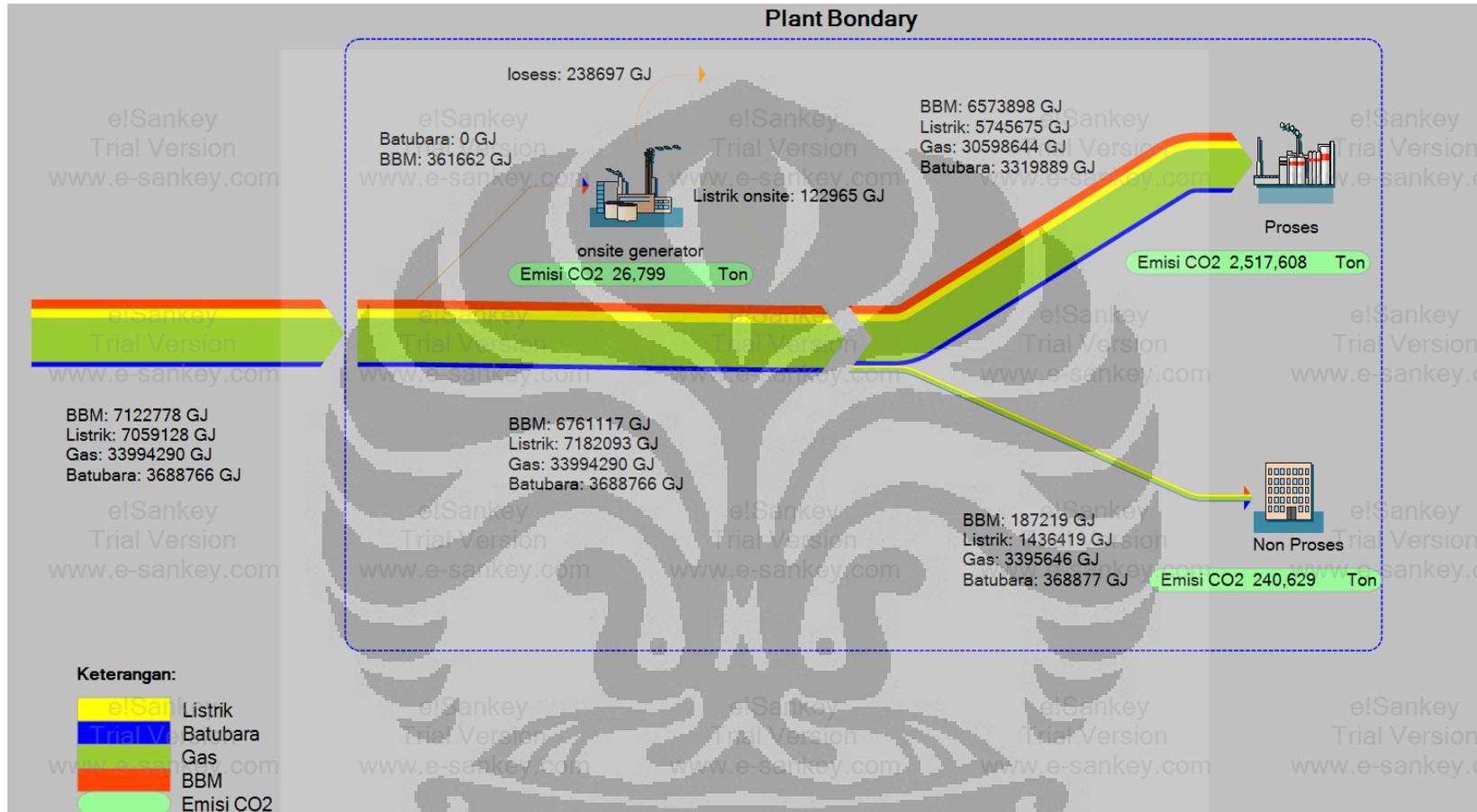
Gambar 4. 13 Intensitas Energi Industri baja di beberapa Negara Tahun 2008

Gambar 4. 13 memperlihatkan bahwa Yunani (Greece) memiliki intensitas energi terendah sebesar 3,83 GJ/ton baja, kemudian diikuti oleh Portugal 4,91 GJ/ton baja, dan yang ketiga adalah Luxemburg sebesar 5,99 GJ/ ton baja. Negara dengan intensitas energi industri baja terbesar adalah Croatia 22 GJ/ton baja.

#### 4.2.5 Energi Footprint Industri Baja Indonesia

Gambar 4. 14 menunjukkan aliran energi untuk industri baja di Indonesia pada tahun 2007 dalam satuan Giga Joule (GJ). Aliran energi pada Gambar 4. 14 didasarkan pada data konsumsi energi yang tersedia dari BPS, asumsi yang digunakan adalah prosentase energi yang digunakan untuk proses yaitu sebesar 90%.

Terlihat pada Gambar 4. 14 losses terjadi pada perubahan bentuk energi dari energi termal menjadi energi listrik yang diubah pada generator. Efisiensi energi yang dihitung hanya sebesar 34% atau kehilangan energi sekitar 239 ribu GJ. Efisiensi generator ini masih dibawah *rule of thumb* yang menyatakan efisiensi generator berkisar antara 37%-45% (IEA, 2008).



Gambar 4. 14 Energi Footprint dan Emisi CO<sub>2</sub> Industri Baja tahun 2007

Konsumsi energi final yang mendominasi pada tahun 2007 adalah gas sebesar 34 juta GJ atau sebesar 65% energi yang masuk ke dalam pabrik. Selanjutnya diikuti oleh BBM dan listrik masing 14% dari total energi yang masuk ke dalam industri baja, untuk konsumsi batubara sendiri hanya sebesar 3,7 juta GJ atau sebesar 7% dari total energi yang dikonsumsi oleh industri baja.

Emisi yang dihasilkan oleh generatt pada industri baja pada tahun sebesar 26.789 ton CO<sub>2</sub> emisi pada proses sebesar 2.571.608 ton CO<sub>2</sub> dan emisi non proses sebesar 240.629 ton CO<sub>2</sub>.

#### 4.2.6 Simulasi Model Permintaan Energi Industri Baja

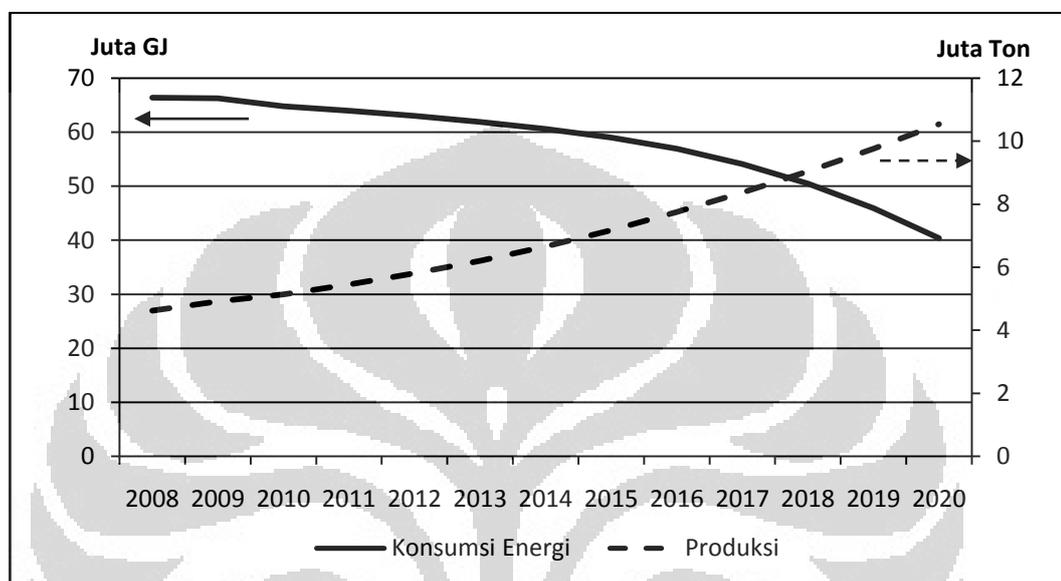
##### - Proyeksi Konsumsi energi dan produksi industri baja

Hasil simulasi konsumsi energi dan produksi indutri baja ditunjukkan pada Gambar 4. 15. Terlihat pada Gambar 4. 15 bahwa konsumsi energi cenderung menurun sedangkan produksi cenderung meningkat setiap tahunnya. Pertumbuhan rata-rata dari produksi mencapai 8% per tahun mengikuti pertumbuhan dari PDB indonesia, sedangkan penurunan konsumsi energinya sebesar 4% per tahunnya. Penurunan konsumsi energi ini akibat asumsi model yang menurunkan intensitas energi tiap tahunnya hingga mencapai 3,83 GJ/ ton pada tahun 2020 dari 14,7 GJ/ ton pada tahun 2008.

Penurunan intensitas energi ini dapat dicapai dengan cara-cara sebagai berikut (worell, 2001):

- Menggunakan teknologi *coke dry quenching* yaitu dengan mengganti media pendingin *coke* yang tadinya air menjadi gas, selanjutnya gas ini dapat digunakan kembali untuk proses pembangkit listrik dengan metode *waste heat recovery*. Metode ini dapat menghemat sampai 0,37 GJ/ton bahan bakar.
- Menggunakan batubara yang dihaluskan pada *blast of furnace* ini dapat menghemat bahan bakar sampai 0,69 GJ/ton.
- Menggunakan gas dari BOF dan *heat sensible recovery* untuk digunakan sebagai pembangkit listrik. Ini dapat menghemat bahan sampai 0,92 GJ/ton.

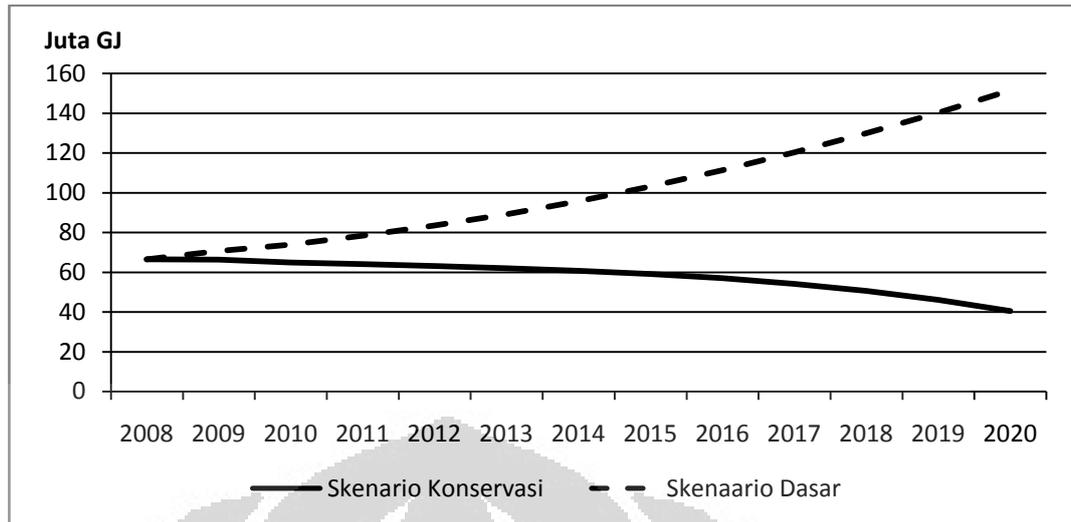
- Mengimprof kontrol blast pada BOF, ini dapat menghemat energi sampai 0,36 GJ/ton.
- Menggunakan teknologi *thin slab casting* ini dapat menghemat penggunaan bahan bakar sampai 3,13 GJ/ton.
- Menggunakan *preheater* bahan baku besi tua untuk metode EAF.



Gambar 4. 15 Proyeksi Konsumsi Energi dan Produksi Industri Baja

Produksi baja pada tahun 2020 meningkat sebesar 153,5% dari tahun 2007 atau sebesar 10.547.668 ton baja. Sedangkan konsumsi energi mengalami penurunan sebesar 22% dari 66 juta GJ pada tahun 2008 menjadi hanya 40,3 Juta GJ pada tahun 2020. Ini menunjukkan dengan penurunan intensitas energi yang tajam (rata-rata 10,4% per tahun) akan menurunkan konsumsi energi meski produksi baja tetap naik. Penurunan ini karena penurunan intensitas energi lebih besar dari pada pertumbuhan produksi baja.

Dengan asumsi penurunan intensitas energi setiap tahunnya sampai tahun 2020 (skenario konservasi), penghematan yang dapat dicapai mencapai 111 juta GJ pada tahun 2020 atau menurun sebesar 72% dari skenario dasar. Hal ini karena perbandingan antara konsumsi energi pada intensitas tetap lebih tinggi, (Gambar 4. 16).

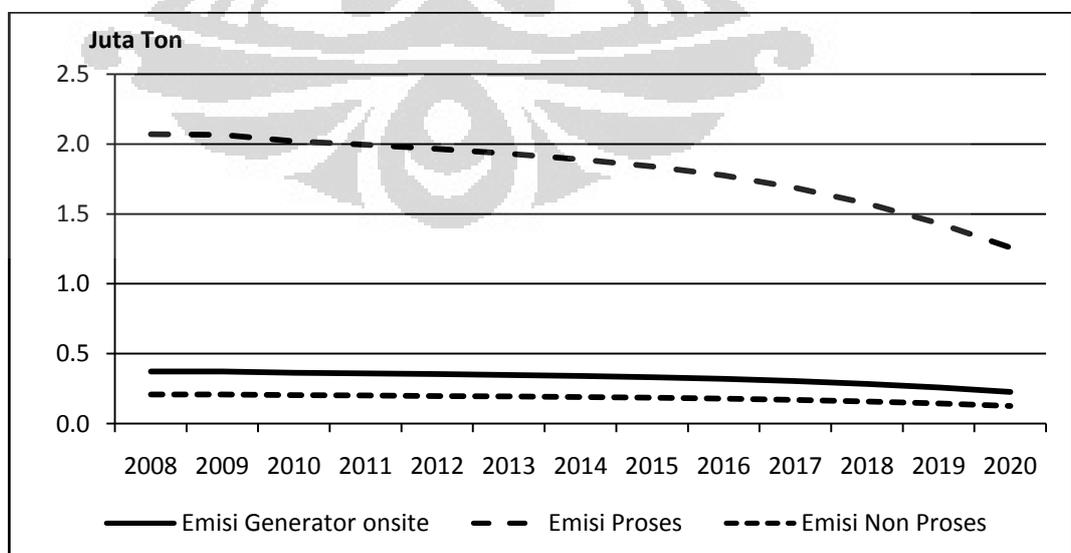


Gambar 4. 16 Perbandingan Konsumsi Energi Intensitas Berubah dengan Konsumsi Energi Intensitas Tetap

Pertumbuhan rata-rata konsumsi energi tiap tahunnya jika intensitas energi tetap sebesar 7,1%, sehingga mencapai angka 151 Juta GJ pada tahun 2020.

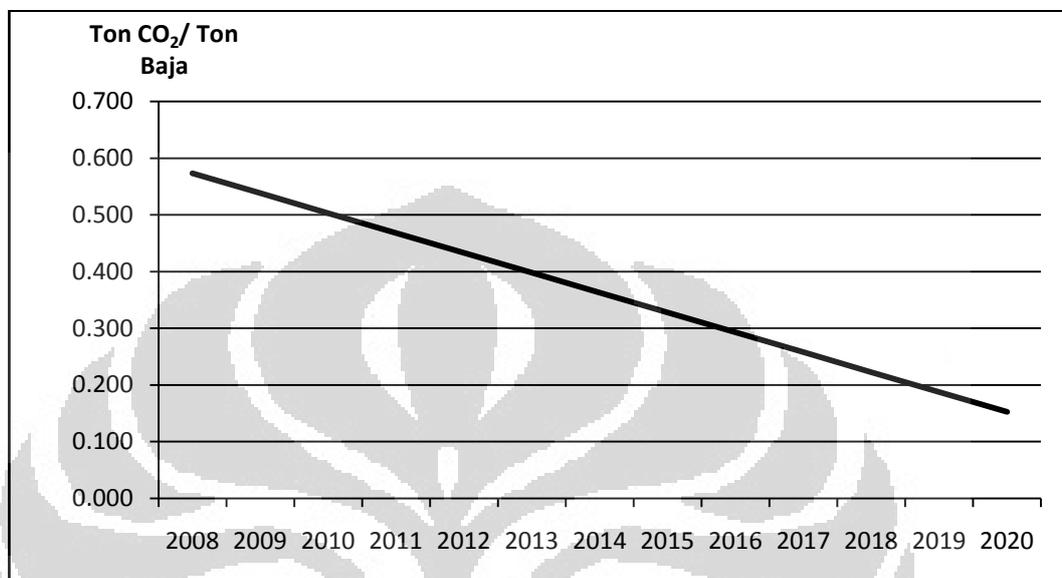
#### - Emisi CO<sub>2</sub>

Emisi yang dihasilkan dari simulasi diperlihatkan pada Gambar 4. 17 berikut ini. Emisi terbesar dihasilkan dari proses pembuatan baja yang mencapai 1,2 Juta Ton CO<sub>2</sub> pada tahun 2020, sedangkan emisi dari generator onsite dan non proses berturut-turut sebesar 0,2 Juta Ton CO<sub>2</sub> dan 0,1 Juta Ton CO<sub>2</sub>. Emisi yang dihasilkan tergantung dari jenis bahan bakar yang digunakan pada masing-masing bagian.



Gambar 4. 17 Emisi Industri Baja 2008 – 2020

Intensitas emisi total yang diperlihatkan pada Gambar 4.9 memiliki tren negatif (turun setiap tahunnya). Hal ini dikarenakan kenaikan emisi CO<sub>2</sub> total lebih rendah dibandingkan dengan kenaikan pada produksi baja, sehingga membuat tren intensitas emisi menjadi turun.



Gambar 4. 18 Intensitas CO<sub>2</sub> Industri Baja Tahun 2008 – 2020

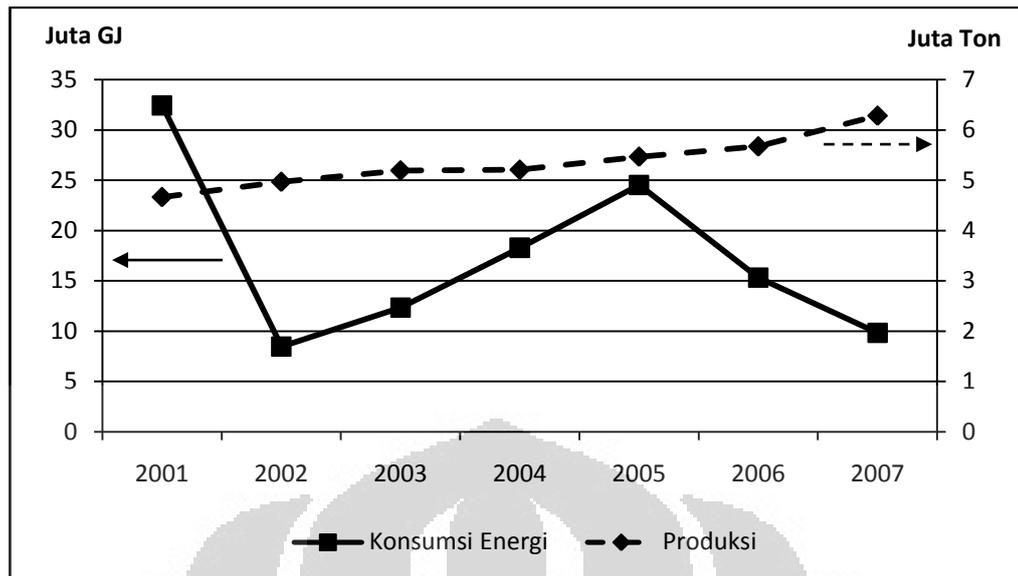
Intensitas CO<sub>2</sub> pada industri baja turun sebesar 73% dari 0,57 pada tahun 2008 menjadi 0,15 pada tahun 2020. Hal ini juga menunjukkan hubungan positif antara intensitas energi dan intensitas karbon. Dengan menurunnya intensitas energi, intensitas karbon juga akan menurun. Selain itu juga dipengaruhi komposisi energi final yang digunakan dalam proses produksi.

### 4.3 Industri Pulp dan Kertas.

Pembahasan industri pulp dan kertas pada penelitian ini dibagi kedalam 6 bagian, pembahasan dimulai dari kondisi data yang di dapatkan kemudian dilanjutkan dengan perhitungan dan proyeksi kebutuhan energi, produksi maupun emisi. Industri ini akan dipisahkan menjadi industri yang memproduksi pulp dan industri yang memproduksi kertas.

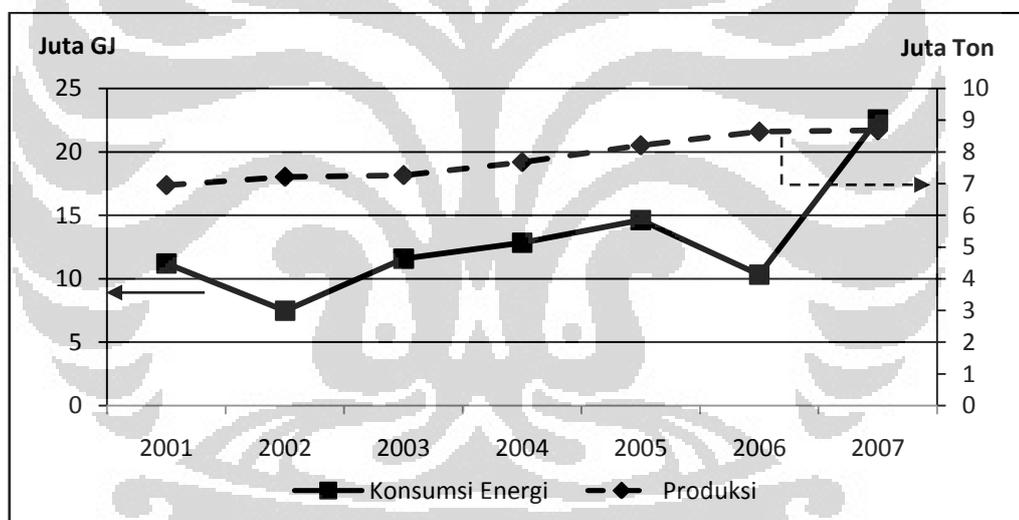
#### 4.3.1 Konsumsi Energi dan Produksi Industri Pulp dan Kertas

Konsumsi energi dan produksi industri pulp dan kertas disajikan oleh Gambar 4. 19 dan Gambar 4. 20 berikut ini.



Sumber: BPS, APKI, Kemenperin (diolah)

Gambar 4. 19 Produksi Pulp dan Konsumsi Energi Industri Pulp



Sumber: BPS, APKI, Kemenperin (diolah)

Gambar 4. 20 Produksi Kertas dan Konsumsi Energi Industri Kertas

Gambar 4. 19 dan Gambar 4. 20 menunjukkan data produksi dan konsumsi energi dari industri pulp dan Kertas. Kedua industri ini di pisahkan untuk memudahkan dalam mensimulasikannya. Produksi pulp dan kertas selalu mengalami kenaikan dari tahun ke tahun. Kenaikan produksi pulp dalam kurun waktu 2001 – 2007 mencapai 34% dari 4,6 juta Ton di tahun 2001 menjadi 6,3 juta ton pada tahun 2007. Sedangkan kenaikan produksi kertas mencapai 25%

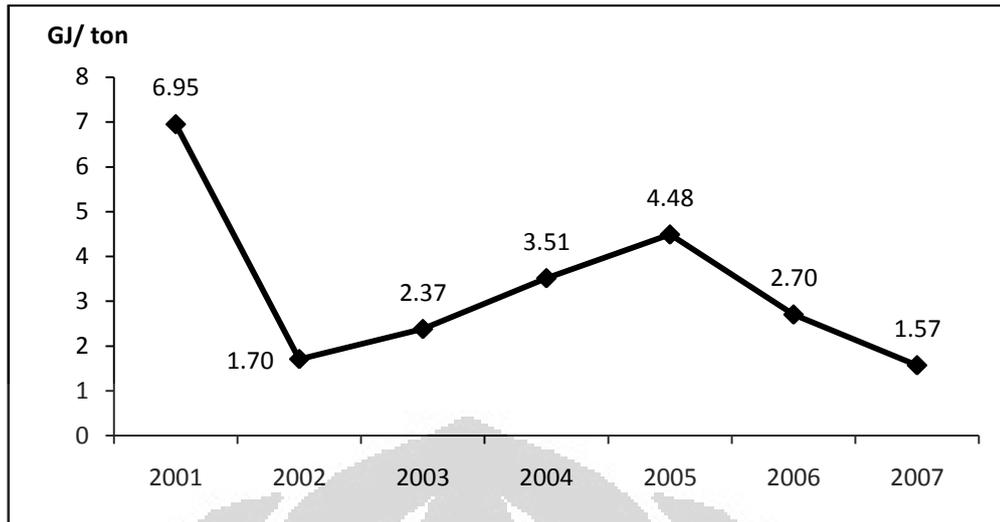
dalam kurun waktu yang sama, dimana pada tahun 2001 produksi kertas mencapai 6,9 juta ton menjadi 8,7 juta ton pada tahun 2007.

Pada konsumsi energi, konsumsi energi pada produksi pulp tidak menunjukkan tren yang sama dengan produksinya. Data yang ada tidak konsisten karena untuk data produksi pulp yang hampir sama didapatkan data konsumsi energi yang jauh berbeda. Hal ini mungkin data konsumsi energi yang tersedia tidak mencakup seluruh perusahaan yang memproduksi pulp sehingga sangat sulit untuk diolah karena berdampak pada perhitungan intensitas energi. Rentang konsumsi energi berada pada kisaran 8 juta GJ sampai dengan 32 Juta GJ.

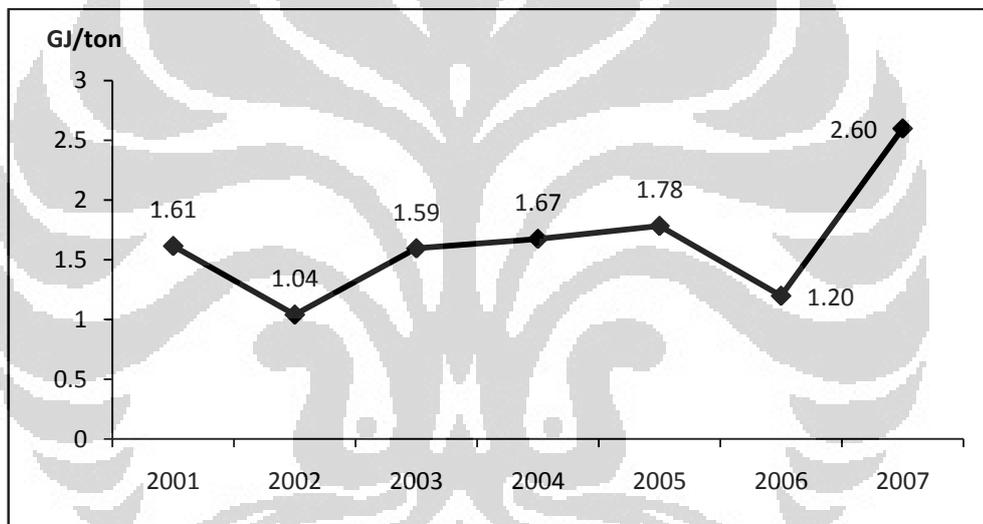
Konsumsi energi pada produksi kertas justru memiliki tren yang hampir sama dengan tren produksinya, kecuali untuk tahun 2002 dan 2006. Kenaikkan konsumsi energi pada industri kertas mencapai 101% pada rentang tahun 2001 – 2007. Dari 11,2 juta GJ pada tahun 2001 menjadi 22,5 Juta GJ pada tahun 2007.

#### **4.3.2 Intensitas Energi Industri Pulp dan Kertas**

Intensitas energi yang diperoleh pada industri pulp tidak konsisten pada setiap tahunnya (Gambar 4. 21), hal ini disebabkan karena data konsumsi energi pada industri pulp yang tidak membentuk sebuah tren. Berbeda dengan intensitas energi pada industri kertas yang cenderung tetap (Gambar 4. 22). Jika dibandingkan antara data energi dan data produksi industri pulp (Gambar 4. 19) maka akan terlihat ketidak-konsistenan data hasil survey yang dilakukan oleh BPS. Intensitas energi industri pulp yang didapat memiliki rentang yang cukup jauh antara 1,57 sampai 6,96 GJ/ton. Hal ini dimungkinkan terjadi karena jumlah perusahaan/ industri yang di survey pada setiap tahunnya berbeda dan tidak seluruh industri pulp tersurvey dengan baik.



Gambar 4. 21 Intensitas Energi Industri Pulp Indonesia



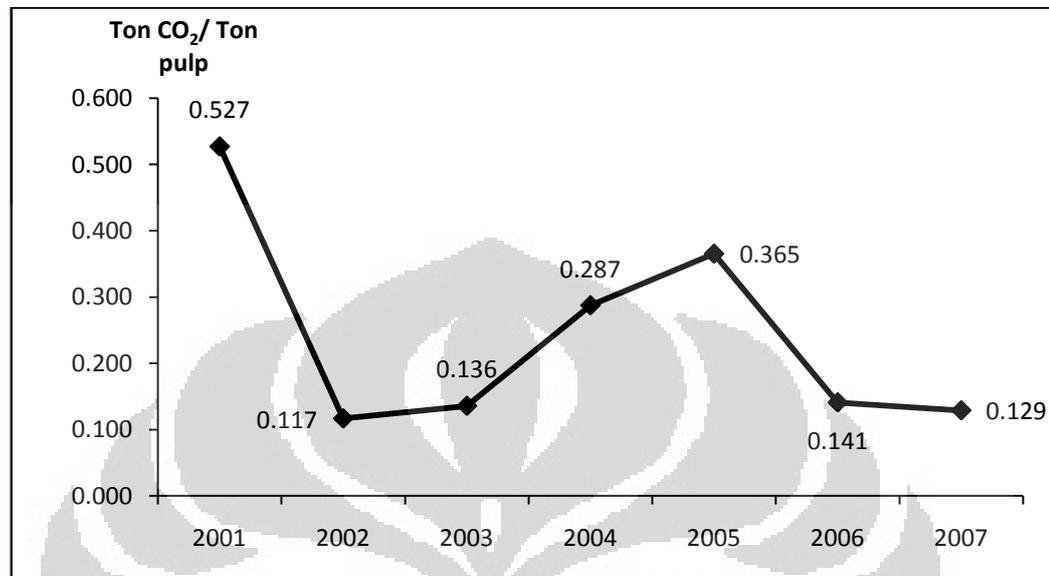
Gambar 4. 22 Intensitas Energi Industri Kertas Indonesia

Hal yang berbeda terjadi pada intensitas energi industri kertas. Pada industri ini intensitas energinya tidak memiliki rentang yang jauh yaitu antara 1,04 sampai dengan 2,6 juta GJ. Walaupun pada tahun 2002 dan 2006 mengalami penurunan tetapi secara umum dapat dikatakan jumlah industri yang tersurvei pada industri ini lebih konsisten dari yang lainnya.

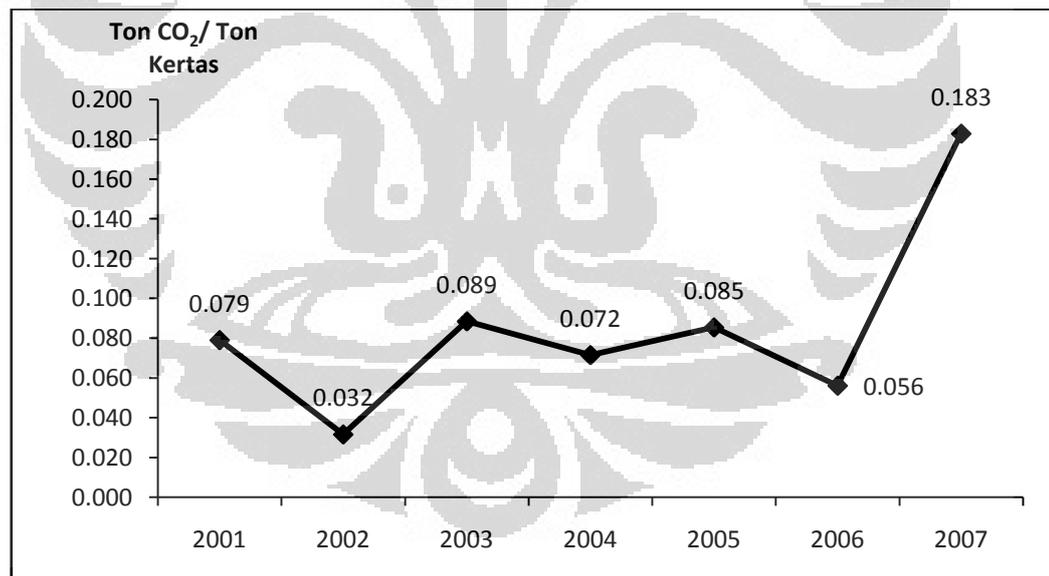
Akan tetapi jika kedua intensitas ini dibandingkan dengan intensitas Negara lain akan terlihat bahwa industri pulp dan kertas Indonesia merupakan industri yang paling efisien dalam penggunaan energi. Mengenai perbandingan ini selengkapnya akan dibahas pada subab benchmark intensitas energi industri pulp dan kertas hal 66

### 4.3.3 Intensitas Emisi CO<sub>2</sub> Industri Pulp dan Kertas

Intensitas emisi CO<sub>2</sub> pada industri pulp dan kertas Indonesia disajikan pada berikut ini



Gambar 4. 23 Intensitas Emisi CO<sub>2</sub> Industri Pulp Tahun 2001 – 2007



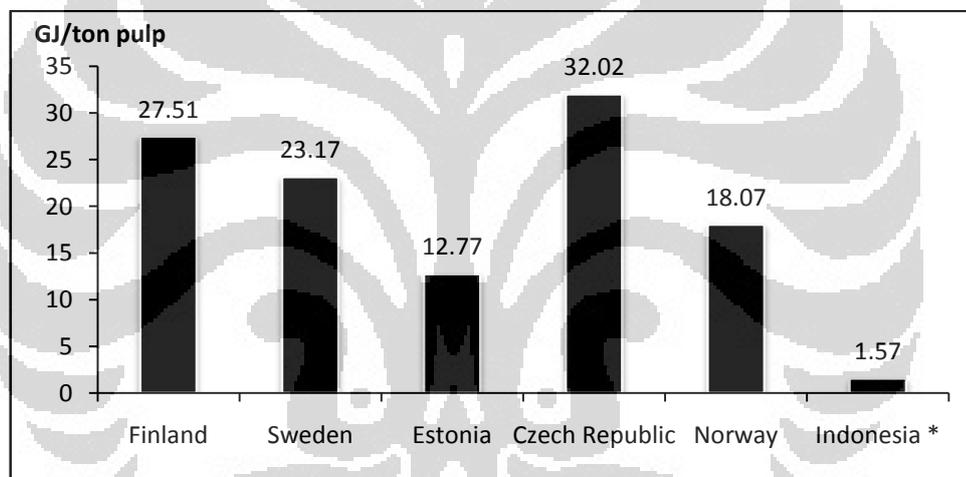
Gambar 4. 24 Intensitas Emisi CO<sub>2</sub> Industri Kertas Tahun 2001 – 2007

Intensitas emisi pada industri pulp dan kertas mengikuti tren konsumsi energinya. Berdasarkan data yang ada, intensitas emisi CO<sub>2</sub> industri pulp pada tahun 2001 – 2007 berkisar antara 0,117 ton CO<sub>2</sub>/ton pulp sampai dengan 0,527 ton CO<sub>2</sub>/ton pulp. Sedangkan untuk industri kertas berkisar antara 0,032 ton CO<sub>2</sub>/ton kertas sampai 0,183 ton CO<sub>2</sub>/ton kertas. Kenaikkan yang cukup besar

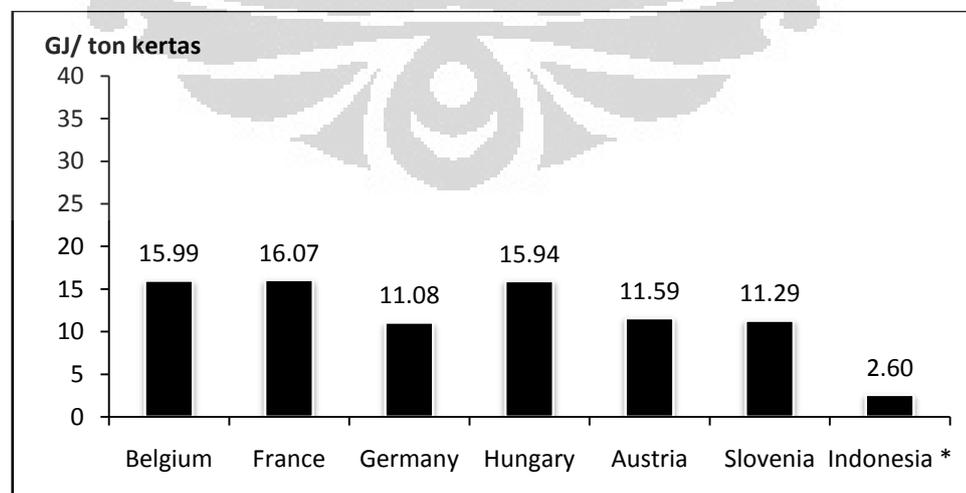
pada intensitas emisi CO<sub>2</sub> pada tahun 2007 lebih dikarenakan penggunaan batubara yang lebih besar dibandingkan dengan tahun-tahun sebelumnya yang mencapai 47% dari total konsumsi energinya.

#### 4.3.4 Benchmark Intensitas Energi Industri Pulp dan Kertas

Benchmark dilakukan untuk melihat perbandingan intensitas energi industri pulp dan kertas Indonesia dengan Negara lain dan memperkirakan peluang kenaikan intensitas energi industri pulp dan kertas Indonesia dengan patokan intensitas energi sebuah negara yang lebih efisien atau *best practice technology* yang ada di dunia saat ini. Gambar 4. 25 dan Gambar 4. 26 berikut ini menggambarkan intensitas energi beberapa Negara Eropa juga Indonesia untuk industri pulp dan kertas.



Gambar 4. 25 Intensitas Energi Industri Pulp di beberapa Negara Tahun 2008



Gambar 4. 26 Intensitas Energi Industri Kertas di beberapa Negara Tahun 2008

Seperti yang terlihat pada Gambar 4. 25 Indonesia merupakan Negara terefisien dalam penggunaan energi jika data yang diperoleh benar adanya. negara-negara eropa memiliki intensitas berkisar 32 GJ/ton sampai dengan 12 GJ/ton. Sedangkan Indonesia memiliki intensitas 1,57 GJ/ton pulp. Angka ini mendekati intensitas energi *world best practice* untuk pengolahan pulp menggunakan metode daur ulang kertas sebesar 1,5 GJ/ton pulp (Worrell, 2007). Kemudian selanjutnya apakah benar di Indonesia semua industri pulp menggunakan metode daur ulang kertas? Data tentang proses apa yang digunakan dan berapa jumlahnya pada industri pulp secara nasional blm ada yang dipublikasikan secara umum.

Sama halnya dengan industri kertas di Indonesia yang memiliki intensitas energi hanya 2,6 GJ/ton kertas. Sedangkan industri kertas di Negara eropa memiliki intensitas energi dua digit berkisar 11 – 16 GJ/ton kertas. Angka 2,6 GJ/ton lebih rendah dibandingkan dengan intensitas energi *world best practice* untuk produksi kertas koran yang merupakan intensitas terendah dalam pengolahan kertas yaitu sebesar 7,2 GJ/ton kertas (Worrell, 2007).

Oleh karena ini untuk industri pulp dan kertas tidak dibuat model proyeksi intensitas energi karena data yang kurang mendukung.

#### **4.3.5 Energy Footprint Industri Pulp dan Kertas Indonesia**

Energy Footprint merupakan gambaran tentang aliran/alur energi yang dikonsumsi dalam sebuah industri. Dalam aliran energi ini termuat jumlah energi yang dikonsumsi baik untuk proses produksi, non proses produksi dan energi yang dikonsumsi untuk perubahan bentuk energi. Energi losses yang terjadi akibat perubahan bentuk energi juga digambarkan pada aliran energi ini. Gambar 4. 27 dan Gambar 4. 28 menunjukkan aliran energi untuk industri pulp dan kertas di Indonesia pada tahun 2007 dalam satuan Giga Joule (GJ). Aliran energi pada didasarkan pada data konsumsi energi yang tersedia dari BPS.

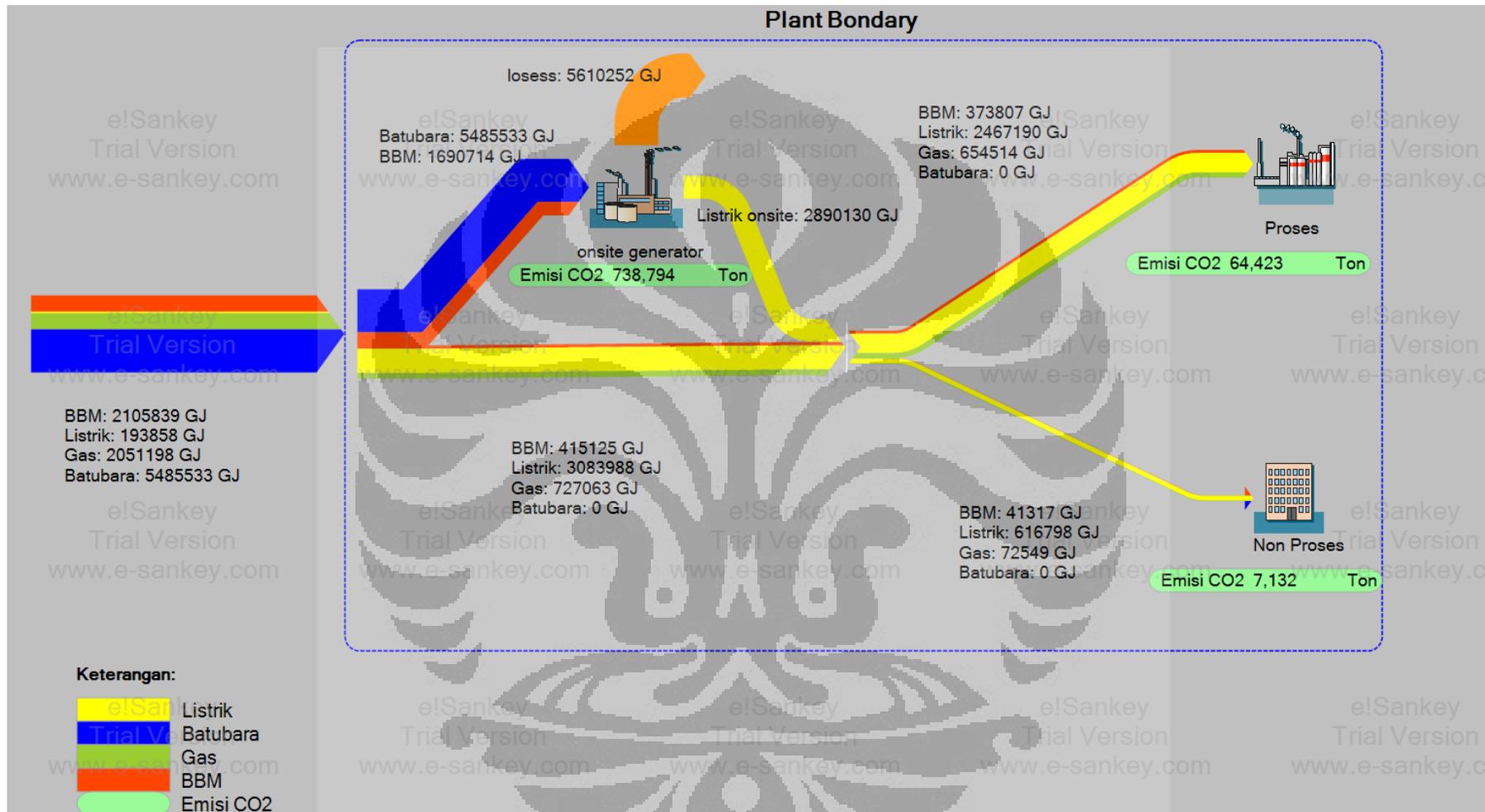
Terlihat pada Gambar 4. 27 losses terjadi pada perubahan bentuk energi dari energi termal menjadi energi listrik yang diubah pada generator. Kehilangan energi sekitar 5,6 juta GJ atau sebesar 66% dari energi masuk ke generator. Pada industri pulp tahun konsumsi energi terbesar berasal dari batubara yaitu sebesar

56% atau setara dengan 5,4 juta GJ. Berdasarkan data semua batubara pada tahun ini digunakan untuk membangkitkan listrik pada generator yang terpasang pada industri tersebut. Sedangkan untuk prosesnya industri ini hanya menggunakan energi listrik, gas dan BBM yang hanya 35% dari total energi yang masuk.

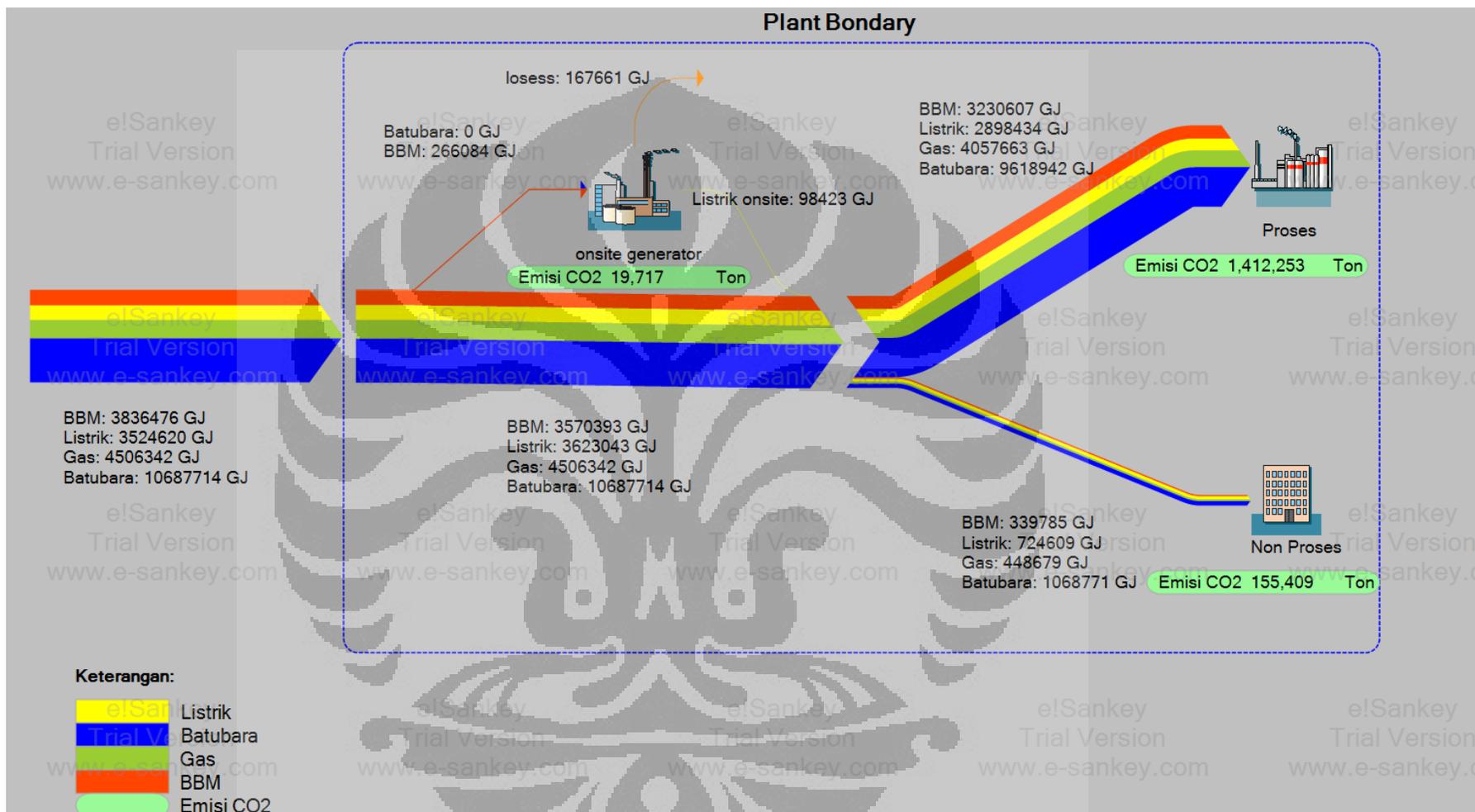
Energi lainnya yang dikonsumsi pada industri pulp adalah BBM sebesar 2,1 juta GJ (21%) gas sebesar 2,1 juta GJ (21%) dan listrik yang dibeli dari luar pabrik sebesar 5,4 juta GJ (5%). Emisi pada tahun 2007 yang terbesar dihasilkan oleh generator listrik sebesar 738.794 ton CO<sub>2</sub>. Sedangkan emisi dari proses dan nonproses berturut-turut sebesar 64.423 ton CO<sub>2</sub> dan 7.132 ton CO<sub>2</sub>.

Gambar 4. 28 menunjukkan aliran energi pada industri kertas. Berbeda dengan konsumsi energi pada industri pulp, industri kertas hampir menggunakan seluruh energinya untuk proses pembuatan kertas. Energi yang paling banyak digunakan adalah batubara sebesar 47% (10,6 juta GJ), kemudian diikuti Gas 20% (4,5 juta GJ) lalu BBM dan listrik sebesar 17% (3,8 juta GJ) dan 16% (3,5 juta GJ). Energi loss di tahun 2007 sebesar 0,16 Juta GJ yang berasal dari unit pembangkitan listrik pada industri kertas.

Emisi pada industri kertas yang dihasilkan di tahun 2007 adalah sebesar 1.587.379 ton CO<sub>2</sub> terdiri dari 19.717 ton CO<sub>2</sub> yang berasal dari generator pembangkit listrik, sebesar 1,412,253 ton CO<sub>2</sub> berasal dari proses dan 155,409 ton CO<sub>2</sub> yang berasal dari energi yang digunakan oleh nonproses.



Gambar 4. 27 Energi Footprint dan Emisi CO<sub>2</sub> Industri Pulp tahun 2007



Gambar 4. 28 Energi Footprint dan Emisi CO<sub>2</sub> Industri Kertas tahun 2007

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil pemodelan ini diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- Data untuk penelitian konservasi di Indonesia masih kurang mendukung untuk dilakukan kajian-kajian yang berhubungan dengan konservasi energi di sektor industri manufaktur. Mengakibatkan gambaran detail dari konsumsi energi, intensitas energi maupun intensitas emisi secara nasional tidak bisa didapatkan.
- Penurunan intensitas energi akan sangat mempengaruhi konsumsi energi pada sektor industri. Tergantung dari pertumbuhan produksi dan penurunan intensitas energi, konsumsi energi dapat turun dengan menurunkan intensitas energi.
- Dengan asumsi yang telah disebutkan pada Bab 3,
  - Industri semen akan mengalami penghematan konsumsi energi sebesar 150 juta GJ dengan skenario konservasi pada tahun 2020 dibandingkan dengan skenario dasar.
  - Industri baja akan mengalami penurunan konsumsi energi pada skenario konservasi dengan menurunkan intensitas energi dan dapat menghemat konsumsi energi sebesar 111 GJ.
  - Intensitas energi pada industri pulp dan kertas tidak dapat ditentukan karena keterbatasan data industri pulp dan kertas Indonesia.

#### **5.2 Saran**

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian sejenis berikutnya adalah sebagai berikut:

- Sebaiknya dilakukan survey secara langsung ke industri-industri yang bersangkutan untuk mengetahui jumlah konsumsi energi yang lebih valid.
- Sebaiknya memiliki benchmark/pembandingan konsumsi energi industri sejenis di Indonesia dengan proses produksi yang sama untuk validasi data yang didapat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *IPCC Emission Factor Tool*. (n.d.). April 3, 2012. <http://www.carbonmetrics.com/ipcc-emission-factors-tool>
- Industry Sectors Cement draft. (n.d.). April 4, 2012  
<http://www.energyefficiencyasia.org/docs/>
- U.S. Energy Information Administrations. *International Energy Statistic*. (n.d.). June 1, 2011.  
<http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/IEDIndex3.cfm?tid=92&pid=46&aid=2>
- Dirjen Pajak.(2003). *Klasifikasi lapangan Usaha Wajib Pajak 2003*. Jakarta: Author
- U.S. Department of Energy energy. *Manufacturing Energy and Carbon Footprints, efficiencies and Renewable Energy*. (n.d.). June 1, 2011  
[http://www1.eere.energy.gov/industry/program\\_areas/footprints.html](http://www1.eere.energy.gov/industry/program_areas/footprints.html).
- World Steel Statistic*, (n.d.). May 12, 2012. <http://www.worldsteel.org>.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2009). *Handbook of Energy & Economy Statistics of Indonesia 2009*. Jakarta: Author.
- Biro Pusat Statistik. (2010). *Sensus Penduduk Indonesia tahun 2010*. Jakarta: Author.
- Bhattacharyya Subhes C., Timilsina, Govinda R. (2009). Modelling Energy Demand Of Developing Countries: Are The Specific Features Adequately Captured?. *Paper Energy Policy*, 38.
- Bhattacharyyaa, Subhes C., Ussanarassameeb, Arjaree. (2005). Changes in energy intensities of Thai industry between 1981 and 2000: a decomposition analysis. *Energy Policy Journal*, 33, 995-1002.

- Dacombe, P.J., Banks, C.J., Krivtsov, V., Heaven, S. (2004). *Use of Energy Footprint Analysis To Determine The Best Options For Management of Glass From Household Waste*. United Kingdom: University of Southampton
- Dahl, C., A. Kurtubi. (1997). Estimating Oil Product Demand In Indonesia Using a Cointegration Error Correction Model. *OPEC Review*, March. 1-25.
- Dyer, C.H. (2008). Enabling Technologies For Industrial Energy Demand Management. *Energy Policy Journal*, 36, 4434 – 4443.
- Ferng, J.J. (2002). Toward A Scenario Analysis Framework For Energy Footprints. *Ecological Economics Journal*, 40, 53–69.
- Forrester, J. W. (1961). *“Industrial Dynamics”* Cwiibridge MA: Productivity Press.
- Ghanadan, R. and J. G. Koomey. (2005). Using energy scenarios to explore alternative energy pathways in California. *Energy Policy Journal*, 33, 1117-42.
- Griffin, James M. (1993). Methodological advances in energy modelling: 1970-90. *The Energy Journal*, 14, 111-24.
- Hartman, Raymond S. (1979). Frontiers in energy demand modelling, *Annual Review Energy*, 4, 433-66.
- International Atomic Energy Agency. (2006). *Model for analysis of energy demand, (MAED -2), Manual 18*, Vienna: Author.
- International Energy Agency. (2006). *Energy Technology Perspective: Scenario and Strategy to 2050*. Paris: Author
- Ishiguro, M., T. Akiyama. (1995). Energy Demand in Five Major Asian Developing Countries: Structure and Prospects, *World Discussion Paper 277*. Washington DC: World Bank.
- Jebaraj, S., Inayan, S. (2006). A Review of Energy Model, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 281-311.

- Koopmans, C. C. and D.W. te Velde. (2001). Bridging the energy efficiency gap: using bottom-up information in a top-down energy model. *Energy Economics*, 23, 57-75.
- Miketa, Asami. (2001). Analysis Of Energy Intensity Development In Manufacturing Sectors In Industrialized And Developing Countries. *Energy Policy Journal*, 29, 769-775.
- Mongia, P, Schumacer K., Sathaye. (2001). Policy reform and productivity growth in India's energy intensive industry. *Energy Policy Journal*, 29, 715-724.
- Mulyono, David K. ( 2010) *Analisis Tingkat Intensitas Energi Sektor Industri Pada Subsektor Industri Smen Dan Industri Tekstil*. Depok: Universitas Indonesia
- Ooi, J.B. (1986). The Dimension of The Rural Energy Problem in Indonesia. *Applied Geography*, 6, 123-147.
- Pindyck, R. S. (1979). *The structure of world energy demand*. Massachusetts: The MIT Press, Cambridge.
- Pitt, M.M. (1985). Equity, Externalities and Energy Subsidies The Case of Kerosene in Indonesia, *Journal of Development Economics*, 17, 201-217.
- Purwanto, Widodo.W. (2006). *Indonesia Energy Outlook & Statistics 2006*. Depok: PEUI
- Ricliarson, G. P. and A. L. Pugh. (1981). *Introduction to Sysytem Dynamics Modeling with Dynamo*. Portland OR: Productivity Press
- Sa'ad, Suleiman. (2009) An Empirical analysis of Petroleum Demand For Indonesia: An Application of The Cointegration Approach. *Energy Policy Journal*, 37, 4391-4396.
- Schipper, L., Meyers. S. (1991) Improving Appliance Efficiency in Indonesia, *Energy Policy Journal*, 19.

- Shrestha, R.M., Marpaung COP. (1999). Supply and Demand –Side Effect of Carbon Tax in Indonesia Power Sektor: An Integrated Resources Planning Analysis. *Energy Policy Journal*, 27, 185-194
- Silveria, F.S., Ralph A. Luken. (2008). Global Overview Of Industrial Energy Intensity. *Energy Policy Journal*, 31, 658-2664.
- Sriyadi, Wasis. (2011). *Prediksi Permintaan Energi Sub-Sektor Industri Tekstil, Industri Semen, Industri Baja, Dan Industri Pulp Dan Kertas Di Indonesia Menggunakan Pemodelan Dinamik*, Depok: Universitas Indonesia
- Sterman, John D. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modelling for a Complex World*. Boston: Irwin/ McGraw-Hill.
- Suehiro, shigeru. (2007). *Energy Intensity of GDP as an Index of Energy Conservation: Problems in international comparison of energy intensity of GDP and estimate using sector-based approach*, Japan: The Institute of Energy Economics Japan
- Sun, J.W. (2003). Three Types of Decline in Energy Intensity – An Explanation for The Decline of Energy Intensity in Some Developing Countries, *Energy Policy*, 31.
- Swisher, J. N., G. M. Jannuzzi, and R. Y. Redlinger. (1997). Tools and methods for integrated resource planning: Improving energy efficiency and protecting the environment, UCCEE, Riso
- Tan, R., Foo , D.C.Y, *Recent Trends In Pinch Analysis For Carbon Emissions And Energy Footprint 11 Problems*. Malaysia: De La Salle University-Manila., University of Nottingham Malaysia
- Tasrif, Muhammad, 2005, *Analisis Kebijakan Menggunakan Model System Dynamics, 1<sup>th</sup> Ed*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Wirl, F. and E. Szirucsek. (1990). Energy modelling – a survey of related topics, *OPEC Review*, Autumn, 361-78.

- Worell, E., Price, L., martin, Nathan. (2001). Energy Efficiency and Carbon Dioxide Emissions Reduction Opportunities In The Us Iron And Steel Sector. *Energy Journal*, 26, 513-526.
- Worrel, E., S. Ramesohl and G. Boyd. (2004). Advances in energy forecasting models based on engineering economics, *Ann Rev Environ Resources*, 29, 345-381
- Worrell, E., Neelis, M., Price, L., Galitsky, C., Nan, Z. (2007). *World Best Practice Energy Intensity Values for Selected Industrial Sectors*. Berkeley: Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Worrell, E., Price, L. (2001). Policy Scenarios for Energy Efficiency Improvement in Industry, *Energy Policy Journal*, 29, 1223-1241.

