



**Disertasi**

**MODEL PENGEMBANGAN  
KAWASAN INDUSTRI BERWAWASAN LINGKUNGAN  
DENGAN TINJAUAN PENGGUNAAN ENERGI  
DI KAWASAN INDUSTRI KRAKATAU CILEGON**

**ROHMAD HADIWIJOYO**

**NIM : L5K008022**

**PROGRAM DOKTOR ILMU LINGKUNGAN  
PROGRAM PASCA SARJANA UNIVERSITAS DIPONEGORO  
SEMARANG  
2014**



**LEMBAR PENGESAHAN**

**MODEL PENGEMBANGAN  
KAWASAN INDUSTRI BERWAWASAN LINGKUNGAN  
DENGAN TINJAUAN PENGGUNAAN ENERGI  
DI KAWASAN INDUSTRI KRAKATAU CILEGON**

**Rohmad Hadiwijoyo**

**NIM : L5K008022**

Telah diuji dan dinyatakan lulus ujian pada tanggal 28 Februari 2014, oleh tim penguji Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana Universitas Diponegoro.

Promotor :

Co- Promotor :

Prof. Dr. Sudharto P. Hadi, MES

Prof. Dr. Ir. Purwanto, DEA

Tanggal : .....

Tanggal .....

Mengetahui,

Direktur Program Pascasarjana  
Universitas Diponegoro

Ketua Program Doktor Ilmu Lingkungan  
Program Pascasarjana  
Universitas Diponegoro

Prof. Dr. dr. Anies, M.Kes,PKK  
NIP.195407221985011001

Prof. Dr. Ir. Purwanto, DEA  
NIP.196112281986031004



**MODEL PENGEMBANGAN  
KAWASAN INDUSTRI BERWAWASAN LINGKUNGAN  
DENGAN TINJAUAN PENGGUNAAN ENERGI  
DI KAWASAN INDUSTRI KRAKATAU CILEGON**

**Rohmad Hadiwijoyo**

**NIM : L5K008022**

**TIM PENGUJI :**

**Prof.Dr.dr. ANIES, M.kes,PKK**  
(Penanggungjawab/Ketua Sidang Ujian)

**Prof.Dr.Ir. PURWANTO, DEA**  
(Sekretaris Sidang Ujian/Co-Promotor)

**Prof.SUDHARTO P HADI, MES, Ph.D**  
(Promotor)

**Dr.MUHAMMAD NUR, DEA**  
(Penguji)

**Dr.TOTOK PRASETYO,B.ENG,MT**  
(Penguji Eksternal)

**Dr.Ir. HERMAWAN,DEA**  
(Penguji)

**Dr. HENNA RYA SUNOKO, APT,MES**  
(Penguji)



## **PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI**

Yang bertanda tangan di bawah ini, saya :

Nama : Rohmad Hadiwijoyo  
NIM : L5K008022  
Alamat : Jl. Adityawarman No.40, Jakarta 12160  
Alamat Kantor : PT.RMI  
Jl. Adityawarman No.40, Jakarta 12160

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Disertasi ini asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik, baik di Universitas Diponegoro maupun di Universitas lain.
2. Disertasi ini murni gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri.
3. Setiap ide atau kutipan dari karya orang lain berupa publikasi atau bentuk lainnya dalam disertasi ini telah ditulis sumbernya, sesuai dengan standar dan prosedur disiplin ilmu.
4. Disertasi ini disusun berkat bimbingan dari Promotor saya yakni : Prof. Sudharto P. Hadi, MES,Ph.D dan Co-Promotor Prof. Dr. Ir. Purwanto, DEA.

Demikian, pernyataan ini dibuat dengan sungguh-sungguh dan apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa disertasi ini hasil plagiasi, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Mengetahui,  
Promotor,

Prof. Dr. Sudharto P. Hadi, MES

Semarang, 28 Februari 2014  
Yang membuat pernyataan,

Rohmad Hadiwijoyo  
NIM L5K008022





## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT, yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang atas segala rahmat dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Disertasi yang berjudul “MODEL PENGEMBANGAN KAWASAN INDUSTRI BERWAWASAN LINGKUNGAN DENGAN TINJAUAN PENGGUNAAN ENERGI DI KAWASAN INDUSTRI KRAKATAU CILEGON”. sebagai salah satu syarat untuk memperoleh derajat gelar Doktor. Penyusunan naskah disertasi ini bertujuan untuk memenuhi salah satu persyaratan kelulusan dalam menempuh pendidikan pada Program Doktor Ilmu Lingkungan, Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

Prof. Sudharto P. Hadi, MES, Ph D selaku Rektor UNDIP sekaligus promotor yang telah memberikan kesempatan, bantuan, fasilitas dan dorongan dalam mengikuti pendidikan Program Doktor pada Program Doktor Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana UNDIP dan telah memberikan banyak saran, ilmu dan masukan yang sangat berharga bagi penyelesaian pendidikan di Program Doktor Ilmu Lingkungan UNDIP.

Prof. Dr. dr. Anies, M. Kes., PKK., Direktur Program Pascasarjana UNDIP yang telah menguji dan memberikan banyak masukan, ilmu dan saran-saran dalam menyelesaikan disertasi ini.

Prof. Dr. Ir. Purwanto, DEA selaku Ketua Program Doktor Ilmu Lingkungan UNDIP dan co-promotor yang telah memberikan saran, ilmu, fasilitas, motivasi dalam menyelesaikan disertasi ini.

Dr. H. Totok Prasetyo, B.Eng, MT, Politeknik Negeri Semarang, atas kesediaannya untuk menjadi penguji eksternal dan narasumber yang telah memberikan bimbingan, masukan, saran yang sangat berguna hingga terselesaikannya disertasi ini.

Dr. Muhammad Nur, DEA, Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro, atas kesediaannya untuk menjadi penguji internal dan narasumber yang telah memberikan bimbingan, masukan, saran yang sangat berguna hingga terselesaikannya disertasi ini.

Dr. Hermawan, DEA, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, atas kesediaannya untuk menjadi penguji internal dan narasumber yang telah memberikan bimbingan, masukan, saran yang sangat berguna hingga terselesaikannya disertasi ini.

Dr. Henna Rya Sunoko Apt, MES, selaku sekretaris Program Doktor Ilmu Lingkungan UNDIP dan penguji yang telah memberikan banyak saran, masukan, motivasi serta ilmu dalam menyelesaikan disertasi ini.

Segenap dosen pengampu Program Doktor Ilmu Lingkungan yang telah membekali ilmu yang sangat bermanfaat dalam menunjang penyusunan disertasi ini.

Istri dan anak tercinta, yang dengan sabar dan toleran membiarkan suami, dan ayah yang selalu duduk di depan *laptop* nya untuk menyelesaikan disertasinya.

Teman-teman mahasiswa Program Doktor Ilmu Lingkungan dan Magister Ilmu Lingkungan Program Pasca Sarjana UNDIP, yang selalu memberikan semangat dan dukungan dalam penyusunan disertasi ini.

Akhirnya bukan suatu kesengajaan apabila penulis tidak sempat menuliskan semua pihak terkait yang telah membantu selama penelitian dan penyusunan disertasi ini, hanya permintaan maaf dan ucapan terima kasih setulus-tulusnya yang dapat penulis sampaikan. Semoga berkah dan rahmat Allah senantiasa terlimpah.

Penulis menyadari bahwa disertasi ini masih jauh dari sempurna, sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran demi perbaikan disertasi ini. Semoga disertasi ini bermanfaat bagi seluruh pembaca.

Semarang, 28 Februari 2014

Rohmad Hadiwijoyo



## DAFTAR ISI

Halaman Judul .....	i
Halaman Pengesahan .....	iii
Tim Penguji .....	v
Pernyataan Keaslian Disertasi .....	vii
KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR LAMPIRAN .....	xxi
DAFTAR SINGKATAN .....	xxiii
Glosari .....	xxv
Abstrak.....	xxix
Abstract .....	xxx
Ringkasan .....	xxxiii
Summary.....	xlix
BAB I : PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	16
1.3. Pertanyaan Penelitian .....	18
1.4. Orisinalitas Penelitian.....	18
1.5. Tujuan Penelitian.....	21
1.5.1. Tujuan Umum.....	21
1.5.2. Tujuan Khusus.....	21
1.6. Manfaat Penelitian.....	22
1.6.1. Manfaat Teori .....	22
1.6.2. Manfaat Praktis .....	22
1.6.3. Manfaat Bagi Pengambil Keputusan .....	22

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA.....	23
2.1. Kawasan Industri.....	23
2.1.1. Gambaran Kondisi Kawasan Industri di Indonesia.....	25
2.1.2. Gambaran Kondisi Kawasan Industri Di Luar Negeri .....	37
2.1.3. Dampak Kawasan Industri Terhadap Ekonomi Masyarakat.....	43
2.1.4. Dampak Kawasan Industri Terhadap Sosial Masyarakat.....	44
2.1.5. Dampak Kawasan Industri Terhadap Lingkungan.....	44
2.1.6. Ekologi Industri.....	45
2.2. Penggunaan Energi di Kawasan Industri .....	47
2.2.1. Kebijakan Bauran Energi Nasional .....	50
2.2.2. Pasokan dan Kebutuhan Energi Nasional .....	51
2.2.3. Kendala dalam Pemenuhan Kebutuhan Energi bagi Industri.....	52
2.2.4. Penggunaan Energi Fosil.....	53
2.2.5. Penggunaan Energi Baru Terbarukan .....	55
2.2.6. Penggunaan Geothermal Sebagai Konsep <i>Green Energy</i> di Industri .....	57
2.3. Emisi gas buang CO <sub>2</sub> dan Pencemaran Lingkungan.....	59
2.3.1. Peningkatan Emisi Gas CO <sub>2</sub> .....	60
2.3.2. Kebijakan Pengendalian Emisi Gas buang CO <sub>2</sub> .....	61
2.3.3. Pemanasan Global dan Kerusakan Lingkungan Hidup.....	65
2.4. Permodelan Kawasan Industri menuju <i>Eco Industrial Park</i> (EIP).....	66
2.4.1. Model Kawasan Industri Hijau .....	66
2.4.2. Hubungan <i>Eco Industrial Park</i> dan Pembangunan Berkelanjutan.....	70
2.4.3. Strategi Pengembangan Kawasan Industri Berwawasan Lingkungan .....	80
2.4.4. Strategi Efisiensi Energi di Kawasan Industri.....	84
BAB III : KERANGKA TEORI DAN KERANGKA KONSEP.....	93
3.1. Kerangka Teoritis.....	93
3.2. Kerangka Konsep .....	98
BAB IV : METODE PENELITIAN .....	101
4.1. Tempat dan Waktu Penelitian .....	101

4.2. Desain Penelitian .....	101
4.3. Ruang Lingkup Penelitian .....	102
4.3.1. Ruang Lingkup Materi Penelitian .....	102
4.3.2. Ruang Lingkup Spasial.....	103
4.4. Populasi dan Sampel.....	106
4.4.1. Populasi .....	106
4.4.2. Sampel .....	106
4.5. Data Penelitian.....	107
4.6. Langkah-langkah Penelitian .....	108
4.7. Variabel Penelitian .....	110
4.8. Teknik Pengumpulan Data .....	111
4.9. Teknik Pengolahan dan Analisis Data.....	112
4.10. Alur Penelitian.....	114
BAB V : HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	115
5.1. Hasil Penelitian.....	115
5.1.1. Gambaran Umum Kota Cilegon.....	115
5.1.2. Gambaran Umum Kawasan Industri PT.KIEC .....	135
5.2. Pembahasan .....	157
5.2.1. Kondisi lingkungan di KIEC .....	157
5.2.2. Sumber-sumber energi yang digunakan di KIEC .....	160
5.2.3. Limbah dan Upaya Pengelolaannya di KIEC.....	169
5.2.4. Model Pengembangan Kawasan Industri Berwawasan Lingkungan .....	179
BAB VI : KESIMPULAN DAN SARAN.....	197
6.1. Kesimpulan.....	197
6.2. Saran.....	199
DAFTAR PUSTAKA .....	201
LAMPIRAN	





## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Orisinalitas Penelitian.....	19
Tabel 2.1. Perbedaan Manajemen Tradisional dan Manajemen Ekosentris.....	46
Tabel 2.2. Kriteria Kawasan Industri Berwawasan Lingkungan ( <i>Eco Industrial Park</i> ) .....	71
Tabel 3.1. Analisis SWOT terhadap Combine Cycle, penggunaan Geothermal dan Daur Ulang Emisi CO <sub>2</sub> di kawasan industri PT.KIEC .....	104
Tabel 4.1. Jenis Industri Sebagai Sampel.....	110
Tabel 4.2. Cara Memperoleh Variabel .....	115
Tabel 5.1. Luas wilayah dan Jumlah Penduduk Kota Cilegon, 2012.....	125
Tabel 5.2. Jumlah Angkatan Kerja dan Non Angkatan Kerja di Kota Cilegon, 2012 .....	125
Tabel 5.3. Distribusi Persentase PDRB Kota Cilegon Tahun 2009-2012 .....	128
Tabel 5.4. Daftar Industri Di Kawasan Industri PT.KIEC .....	141
Tabel 5.5. Daftar Anak Perusahaan PT.KIEC .....	149
Tabel 5.6. Peralatan Utama Pembangkit Listrik PT.KDL .....	152
Tabel 5.7. Penggunaan energi utama dan energi cadangan serta emisi dan limbah yang dikeluarkan.....	155
Tabel 5.8. Hasil Penilaian PROPER Perusahaan/Industri di KIEC .....	163
Tabel 5.9. Jumlah Energi Listrik Dan Emisi Yang Dihasilkan. ....	167
Tabel 5.10. Perbandingan Biaya Operasional Penyediaan Energi Listrik.....	170
Tabel 5.11. Kontribusi Gas Rumah Kaca Terhadap Pemanasan Global.....	173
Tabel 5.12. Jumlah Emisi CO <sub>2</sub> Yang Dihasilkan PT.Krakatau Steel .....	174
Tabel 5.13. Jumlah Emisi 40T/Jam Dari Pembakaran Bijih Besi .....	178
Tabel 5.14. Standar Kualitas CO <sub>2</sub> .....	180
Tabel 5.15. Analisis SWOT terhadap Efisiensi Energi dan Pengolahan Emisi CO <sub>2</sub> .....	190
Tabel 5.16. Strategi Pencapaian Efisiensi Energi Jangka Panjang.....	191
Tabel 5.17. Strategi Pencapaian Daur ulang CO <sub>2</sub> Jangka Panjang.....	192
Tabel 5.18. Penurunan emisi CO <sub>2</sub> .....	200
Tabel 5.19. Strategi Jangka Pendek Mewujudkan Sistem Combine Cycle.....	201
Tabel 5.20. Strategi Jangka Pendek Mewujudkan PLTP Batu Kuwung .....	202
Tabel 5.21. Strategi Jangka Pendek Daur Ulang CO <sub>2</sub> di PT.RMI.....	202



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1: Bauran Energi Primer di Indonesia 2025.....	52
Gambar 2.2 :Pasokan Energi di Indonesia (2000-2010).....	53
Gambar 2.3 : Sistem Geothermal.....	60
Gambar 2.4 : Proses Interaksi Antara Lingkungan Industri .....	81
Gambar 3.1 : Kerangka Teori Kawasan Industri berwawasan Lingkungan.....	101
Gambar 3.2 : Kerangka Konsep Penelitian. ....	103
Gambar 4.1 : Peta Sebaran Kawasan Perindustrian Kota Cilegon .....	109
Gambar 4.2 : Alur Penelitian.....	118
Gambar 5.1 : Peta Kota Cilegon .....	122
Gambar 5.2 : Tren jumlah penduduk Kota Cilegon .....	124
Gambar 5.3 : Pertambahan Penduduk Kota Cilegon.....	124
Gambar 5.4 : BWK Kota Cilegon .....	131
Gambar 5.5 : Peta Lokasi Kawasan Industri I PT.KIEC.....	146
Gambar 5.6 : Peta Lokasi Kawasan Industri II PT.KIEC .....	147
Gambar 5.7: Anak Perusahaan dan Perusahaan Patungan PT.Krakatau Steel.....	148
Gambar 5.8 : Lokasi PT.Krakatau Daya Listrik (Sumber : PT.KDL).....	151
Gambar 5.9 : Proses Produksi Bilet.....	153
Gambar 5.10 : Combine Cycle Power Plant PT. KDL.....	169
Gambar 5.11 : Proses Produksi dan distribusi pada PT.Krakatau Daya Listrik.....	172
Gambar 5.12 : Diagram Alir Teknologi Proses Pemurnian CO <sub>2</sub> .....	177
Gambar 5.13 : Teknologi Proses Pemurnian CO <sub>2</sub> .....	181
Gambar 5.14 : Compressor Pendorong CO <sub>2</sub> .....	181
Gambar 5.15 : Tangki 26 Ton Penampungan CO <sub>2</sub> Murni.....	182
Gambar 5.16 : CO <sub>2</sub> Control Panel Flow CO <sub>2</sub> .....	182
Gambar 5.17 : Kondisi Awal Kawasan Industri PT.KIEC .....	188
Gambar 5.18 : Simbiosis Industri Dalam Efisiensi Energi dan Pemanfaatan Daur Ulang CO <sub>2</sub> .....	189
Gambar 5.19 : Batu Kuwung, Serang, Banten.....	193



## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1. Lembar Kuisisioner



## DAFTAR SINGKATAN

AMDAL : Analisis Mengenai Dampak Lingkungan

BBG : Bahan Bakar Gas

BBM : Bahan Bakar Minyak

BOD : Biological Oxygen Demand

BPS : Badan Pusat Statistik

COD : Chemical Oxygen Demand

CO<sub>2</sub> : Karbon Dioksida

EBTKE : Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi

EIP : *Eco industrial park*

GRK : Gas Rumah Kaca

K3 : Kesehatan dan Keselamatan Kerja

KESDM : Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral

KIEC : Krakatau Industrial Estate Cilegon

MWh : Mega Watt Jam

MMBTU : Juta British Thermal Unit.

PAD : Pendapatan Asli Daerah

PDRB : Produk Domestik Regional Bruto

PEUI : Pusat Data Ekonomi Bisnis Universitas Indonesia

PLTU : Pembangkit Listrik Tenaga Uap

PLTP : Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi

PMA : Penanaman Modal Asing

PMDN : Penanaman Modal Dalam Negeri

PMTB : Pembentukan Modal Tetap Bruto

PT KS : PT. Krakatau Steel

USD : Dollar Amerika Serikat

SDM : Sumber Daya Manusia

WCED : World Commission on Environment and development



## GLOSARI

**Atmosfer** adalah lapisan udara yang menyelimuti planet bumi. Atmosfer terdiri dari nitrogen (79,1%), oksigen (20,9%), karbondioksida (+/- 0,03%) dan beberapa gas mulia (argon, helium, xenon dan lain-lain), ditambah dengan uap air, amonia, zat-zat organik, ozon, berbagai garam-garaman dan partikel padat tersuspensi. Atmosfer bumi terdiri dari berbagai lapisan, yaitu berturut-turut dari bawah ke atas adalah troposfer, stratosfer, mesosfer dan termosfer.

**Bahan Bakar Fossil** adalah bahan bakar yang terbentuk dari fosil-fosil tumbuhan dan hewan di masa lampau. Contoh bahan bakar fosil (BBF) atau *fossil fuel* adalah minyak bumi, gas alam dan batu bara. BBF tergolong bahan bakar yang tidak terbarukan.

**Biomassa** adalah total berat kering (*dry weight*) satu spesies atau semua spesies makhluk hidup dalam suatu daerah yang diukur pada waktu tertentu. Ada dua jenis biomassa, yaitu biomassa tanaman dan biomassa binatang.

**BOD** adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri untuk menguraikan (mengoksidasikan) hampir semua zat organik yang terlarut dan sebagian zat-zat organik yang tersuspensi dalam air.

**CO<sub>2</sub> Cair** adalah produk dari hasil daur ulang CO<sub>2</sub> yang bermanfaat bagi pemenuhan kebutuhan hidup manusia.

**COD** adalah jumlah oksigen yang diperlukan agar bahan buangan yang ada dalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia baik yang dapat didegradasi secara biologis maupun yang sukar didegradasi

**Daya listrik:** energi per satuan waktu.

**Data spasial** adalah sebuah data yang berorientasi geografis dan memiliki sistem koordinat tertentu sebagai dasar referensinya.

### **Efisiensi:**

1. Ratio usaha yang dilakukan sebuah mesin bahang terhadap bahang yang diserapnya;
2. Dalam hal pemindahan tenaga dari suatu tempat ke tempat lain atau pengalihan (konversi) tenaga dari satu bentuk ke bentuk lain, ratio keluaran tenaga atau daya yang berguna terhadap masukannya, biasanya dinyatakan dalam persentase.

**Eco industrial park** adalah kawasan industri yang berwawasan lingkungan

**Ekologi industri** adalah bidang ilmu yang difokuskan pada dua tujuan yaitu peningkatan ekonomi dan peningkatan kualitas lingkungan

**Energi Baru Terbarukan (EBT)** adalah sumber energi yang dapat dengan cepat dipulihkan kembali secara alami, dan prosesnya berkelanjutan. Dengan definisi ini, maka bahan bakar nuklir dan fosil tidak termasuk di dalamnya.

**Elimination** (pencegahan) adalah upaya untuk mencegah timbulan limbah langsung dari sumbernya, mulai dari bahan baku, proses produksi sampai produk.

**Emisi** adalah zat yang dilepaskan ke atmosfer yang bersifat sebagai pencemar udara.

**Emisi CO<sub>2</sub>** adalah gas-gas yang dikeluarkan dari hasil pembakaran senyawa yang mengandung karbon

**Energi:** kemampuan untuk melakukan usaha

**Gas Rumah Kaca:** Gas seperti CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O dan lain lain yang menyumbang terhadap pemanasan global

**Geothermal** adalah energi panas yang terdapat dan terbentuk di dalam kerak bumi. Temperatur di bawah kerak bumi bertambah seiring bertambahnya kedalaman. Suhu di pusat bumi diperkirakan mencapai 5400 °C. Menurut Pasal 1 UU No.27 tahun 2003 tentang Panas Bumi Panas Bumi adalah sumber energi panas yang terkandung di dalam air panas, uap air, dan batuan bersama mineral ikutan dan gas lainnya yang secara genetik semuanya tidak dapat dipisahkan dalam suatu sistem Panas Bumi dan untuk pemanfaatannya diperlukan proses penambangan.

**Kawasan industri** adalah suatu daerah yang dirancang untuk dikembangkan sebagai sarana mempercepat pertumbuhan industri lengkap dengan sarana dan prasarana yang dibutuhkan (Peraturan Pemerintah nomor 24 tahun 2009 tentang Kawasan Industri). Kawasan industri dikelola oleh badan yang bertanggung jawab secara terus menerus terhadap fasilitas kawasan industri dan lingkungan. Dengan demikian hubungan antara pengusaha/penanam modal dengan pengelola kawasan industri tidak terputus.

MW Megawatt = 1 juta watt

**Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU)** adalah pembangkit yang mengandalkan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan energi listrik.

**Re-think** (berpikir ulang), adalah suatu konsep pemikiran yang harus dimiliki pada saat awal kegiatan akan beroperasi, dengan implikasi : Perubahan dalam pola produksi dan konsumsi berlaku baik pada proses maupun produk yang dihasilkan, sehingga harus dipahami betul analisis daur hidup produk. Upaya produksi bersih tidak dapat berhasil dilaksanakan tanpa adanya perubahan dalam pola pikir, sikap dan tingkah laku dari semua pihak terkait pemerintah, masyarakat maupun kalangan usaha

**Reduce** (pengurangan) adalah upaya untuk menurunkan atau mengurangi timbulan limbah pada sumbernya.

**Reuse** (pakai ulang/penggunaan kembali) adalah upaya yang memungkinkan suatu limbah dapat digunakan kembali tanpa perlakuan fisika, kimia atau biologi.

**Recycle** (daur ulang) adalah upaya mendaur ulang limbah untuk memanfaatkan limbah dengan memrosesnya kembali ke proses semula melalui perlakuan fisika, kimia dan biologi.

**Recovery/ Reclaim** (pungut ulang, ambil ulang) adalah upaya mengambil bahan-bahan yang masih mempunyai nilai ekonomi tinggi dari suatu limbah, kemudian dikembalikan ke dalam proses produksi dengan atau tanpa perlakuan fisika, kimia dan biologi.

**Turbin** adalah sebuah mesin berputar yang mengambil energi dari aliran fluida.



## ABSTRAK

Pertumbuhan ekonomi di Indonesia ditunjang oleh kontribusi dari sektor industri yaitu memberikan kesempatan kerja kesempatan kegiatan berusaha kepada masyarakat dan peningkatan PDRB dan PDB. Tetapi kawasan industri juga menimbulkan beban terhadap lingkungan berupa penggunaan energi fosil, pembuangan limbah dan emisi CO<sub>2</sub> yang menjadi beban daya dukung dan daya tampung bagi lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk merumuskan strategi efisiensi penggunaan energi dan minimalisasi limbah khususnya emisi CO<sub>2</sub> dengan proses daur ulang limbah menjadi produk yang bermanfaat dengan mensinergikan industri di dalam kawasan industri yang berwawasan lingkungan.

Tipe penelitian adalah penelitian deskriptif analitik. Populasi penelitian adalah industri di kawasan industri PT.KIEC dengan sampel sebanyak 27 industri. Responden sebanyak 2 orang dari setiap industri dari sampel terdiri dari pimpinan dan staf bagian produksi. Teknik pengumpulan data menggunakan wawancara, observasi dan studi pustaka. Teknik analisis data dengan kuantitatif dan kualitatif dilengkapi dengan analisis SWOT dan disusun strategi pengembangan kawasan industri PT.KIEC.

Dari penelitian ini diperoleh gambaran kondisi lingkungan di kawasan industri PT.KIEC, secara umum belum sesuai dengan Sistem Manajemen Lingkungan, karena belum ada simbiosis antar industri dan belum ada pertukaran limbah sebagai bahan baku. Penggunaan energi masih menggunakan energi fosil oleh PLTU dengan kapasitas 400 MW menghabiskan biaya operasional sebesar USD. 30.220.773,60/MWh/tahun. Emisi CO<sub>2</sub> sebagai limbah dari proses produksi mencapai sekitar 3.083.520 Ton /tahun. Model kawasan industri yang diusulkan dalam penelitian ini adalah kawasan industri yang berwawasan lingkungan dengan simbiosis industri dan efisiensi energi serta pendaur ulangan emisi CO<sub>2</sub>.

Untuk tindakan penggunaan energi dari energi fosil ke energi baru terbarukan menggunakan sumber energi geothermal, yang berasal dari PLTP Batu Kuwung dengan kapasitas 220 MW, dan menggunakan sistem combine cycle dengan kapasitas 40 MW. Perubahan penggunaan energi fosil ke energi geothermal dan sistem combine cycle ini biaya operasional dapat dihemat sebesar USD. 2.043.503,4 per tahun atau sekitar 6,8 % per tahun.. Daur ulang emisi CO<sub>2</sub> oleh PT.RMI memberikan kontribusi penurunan CO<sub>2</sub> sebesar 140.160 Ton/tahun. Penurunan konsumsi energi fosil dan emisi CO<sub>2</sub> dilakukan dengan pendekatan simbiosis industri antara PT. KDL, PT.KS dan PT. RMI serta industri lainnya dalam pengelolaan material dan energi menuju kawasan industri PT.KIEC yang berwawasan lingkungan. Dari efisiensi energi dan daur ulang CO<sub>2</sub> ini, secara keseluruhan emisi CO<sub>2</sub> yang berasal dari kawasan industri PT.KIEC menurun sekitar 58,5%.

Untuk merealisasikan kawasan industri PT.KIEC menjadi kawasan industri yang berwawasan lingkungan perlu dukungan nyata dari perusahaan/industri yang beroperasi di kawasan industri PT.KIEC dengan merubah konsep pengelolaan industri dari manajemen lingkungan tradisional menjadi ekosentris

**Kata kunci : *efisiensi energi dan minimasi emisi CO<sub>2</sub>, geothermal, kawasan industri berwawasan lingkungan***



## ABSTRACT

The industrial sector contributes to Indonesia's economic growth by providing employment, business opportunities and increasing the Regional Gross Domestic Product and the national Gross Domestic Product. However, activities in the industrial area also create impacts to the environment through its use of fossil energy, waste dump and CO<sub>2</sub> emission that affect the limited support and capacity of the environment. This research aims to formulate efficiency strategy in energy use and waste management, especially the CO<sub>2</sub> emission, using waste recycling process into useful products by synergizing industries in an environmentally-friendly industrial area.

The type of research was analytical descriptive. The population was the industries in PT.KIEC industrial estate with 27 sample industries. Two respondents were taken from each of the samples; they were the production head and staff. Data collection technique employed interviews, observation and literature studies. Data analysis technique used SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats) analysis and followed by formulation of development strategy for PT. KIEC industrial estate.

This research showed that a general overview of the environment in PT.KIEC industrial estate was not yet in line with the Environmental Management System because there was no symbiosis among industries and no exchange of waste to be used as raw materials. The estate still used fossil fuels as energy source for its 400MW power plant that requires operational cost of USD 30.220.773,60 per MWh per annum. CO<sub>2</sub> emission as production process waste reaches 3,083,520 tons per annum. This research proposes a model for an environmentally-friendly industrial estate through a symbiosis among industries, energy efficiency and recycling of CO<sub>2</sub> emission.

For energy efficiency, the industrial estate is going to shift its energy source from fossil fuels to new and renewable energy by building geothermal-powered power plant (PLTP) Batu Kuwung with capacity of 220 MW and by using the Combine Cycle System with capacity of 40 MW. This change of energy source to geothermal and the combine cycle system is reducing operational cost by USD 2.043.503,4 per annum or 6,8 % per annum. Meanwhile, recycling of CO<sub>2</sub> emission by PT. RMI contributes to the reduction of CO<sub>2</sub> emission by 140,160 tons per annum. The decrease of fossil energy consumption and CO<sub>2</sub> emission is achieved through industrial symbiosis between PT. KDL, PT. KS and PT. RMI and also other industries in material processing and energy, to create environmentally-friendly PT.KIEC industrial estate. This energy efficiency and recycling of CO<sub>2</sub> emission reduces CO<sub>2</sub> emission from PT.KIEC industrial estate by 58.5%.

To make PT.KIEC industrial estate an environmentally-friendly estate, it needs real supports from companies/industries operating inside PT.KIEC industrial estate by changing the concept of industrial management from traditional environmental management into an eco-centric management system.

**Keywords:** *energy efficiency and CO<sub>2</sub> emission minimization, geothermal, environmentally-friendly industrial estate*





# RINGKASAN

## 1. PENDAHULUAN

Strategi pembangunan ekonomi jangka panjang pada awal tahun 1980, adalah pembangunan nasional yang ditunjang oleh pembangunan yang meliputi industri dan pertanian. Pembangunan ekonomi tersebut salah satunya adalah pembangunan kawasan industri. Dasar penetapan sebuah kawasan industri tidak memperhatikan faktor-faktor tersedianya sumberdaya energi dan sumberdaya alam berkesinambungan. Hal ini disebabkan karena pada waktu itu, harga energi masih disubsidi oleh Pemerintah, sehingga harga energi masih terjangkau oleh para pelaku industri.

Penetapan kawasan industri sepenuhnya menjadi kebijakan Pemerintah Pusat atau kebijakan secara sentralisasi. Sehingga pemerintah daerah tidak memiliki kewenangan dalam membangun kawasan industri. Pada awal tahun 1980, merupakan era perdagangan dan industri, yang mana ekonomi suatu negara akan ditentukan oleh besar kecilnya nilai perdagangan negara tersebut. Pertumbuhan ekonomi sangat penting untuk mengejar pencapaian Pendapatan Domestik Bruto (PDB). Pembangunan yang hanya mementingkan keuntungan semata tanpa memperhatikan ketersediaan sumberdaya alam dan energi, merupakan pandangan yang salah.

Paul Krugman (2009), membagi pertumbuhan ekonomi menjadi tiga era. Menurutnya, periode tahun 1980 sampai tahun 1990, disebut sebagai era perdagangan atau *trading era*. Di mana Negara yang memiliki perdagangan yang kuat akan mampu mempertahankan pertumbuhan ekonominya. Sedangkan tahun 1990 sampai tahun 2000, dinamakan era informasi teknologi. Pada era informasi teknologi, ditandai dengan munculnya perusahaan yang berbasis teknologi komunikasi dan informasi. Kemudian era tahun 2000 sampai dengan tahun era 2020, dinamakan era pemanasan global atau era *global warming*. Pada era *global warming* inilah kesadaran akan pentingnya menjaga lingkungan hidup dalam mengeksplorasi sumber daya alam dan energi.

Salah satu kawasan industri yang dibangun pada awal tahun 1980 adalah kawasan industri PT.KIEC, maksud dibangunnya kawasan industri PT.KIEC ini untuk menunjang industri strategis yaitu ketersediaan besi baja untuk mendukung industri nasional. Kawasan industri PT.KIEC merupakan kawasan industri yang terletak di Kota Cilegon, Provinsi

Banten. Di kawasan ini beroperasi sekitar 84 industri dengan berbagai jenis produk seperti fabrikasi, peralatan industri, kontraktor, manufaktur, baja, telekomunikasi, papan gypsum, kimia, dan mesin. Dibangunnya kawasan industri PT.KIEC ini untuk mendukung industri strategis besi dan baja PT.Kralatau Steel. PT Krakatau Industrial Estate Cilegon (KIEC) terletak di Kawasan Industri, di kelilingi daerah perbukitan dan laut. Kontur tanah yang datar mencakup 625 hektar, terdiri dari Kawasan Industri I dan Kawasan Industri II dan sudah terpakai 245 hektar oleh 84 perusahaan baik nasional maupun multinasional. Didesain dan dikembangkan dengan berdasarkan peraturan dari Master Plan Pengembangan Daerah Industri di Banten.

Untuk menggerakkan industri di kawasan industri PT.KIEC memerlukan sumber energi yang cukup besar. Sebagian besar energi yang digunakan di kawasan industri PT.KIEC masih berasal dari energi fosil, yakni batubara, minyak bumi dan gas alam. Salah satu dampak dari pembakaran energi fosil adalah mengemisikan gas rumah kaca (GRK). Kawasan industri yang mengemisikan GRK tidak memperhatikan kaidah lingkungan. Selain itu, pemakaian energi fosil yang tidak terkendali akan berdampak pada peningkatan GRK dan ini merupakan pengelolaan kawasan industri yang masih tradisional. Apalagi harga energi fosil saat ini dipengaruhi oleh pasar energi internasional sehingga harganya tidak bisa menjadi acuan pelaku industri. Hal inilah yang menyebabkan pengelolaan kawasan industri tidak ramah lingkungan dan ketergantungan pada energi fosil tinggi.

Kawasan industri PT.KIEC menggunakan energi yang dikelola oleh PT. Krakatau Daya Listrik (PT.KDL). PT KDL merupakan salah satu anak perusahaan dari PT. Krakatau Steel. Dalam memproduksi energi listrik, PT. KDL memiliki 5 buah turbin dengan kapasitas masing-masing 80MW dengan kapasitas total 400 MWh. Kelima turbin tersebut digerakkan dengan menggunakan sumber energi fosil yaitu : Bahan Bakar Minyak (BBM), Bahan Bakar Gas (BBG), dan Batubara.

Dalam sebuah proses industri selain menghasilkan produk industri, dampak penggunaan energi tersebut adalah menghasilkan limbah. Adapun jenis limbah bisa berupa limbah industri dan limbah gas buang CO<sub>2</sub>. Dari pembakaran energi fosil untuk menghasilkan energi listrik 400 MW menghasilkan limbah gas buang CO<sub>2</sub> sebesar 40 ton/jam. Sehingga dalam satu tahun penggunaan energi fosil ini menyumbangkan emisi CO<sub>2</sub> sebagai gas rumah kaca sebesar 3.083.520 Ton/tahun. Inilah yang menjadi permasalahan proses produksi di kawasan industri

PT.KIEC, yaitu selain menghasilkan barang produksi seperti besi baja, tingginya penggunaan energi fosil mengakibatkan dampak ikutan berupa gas buang CO<sub>2</sub>.

## 2. METODE PENELITIAN

Untuk menjawab permasalahan tersebut diatas, maka tipe penelitian adalah penelitian deskriptif analitik. Populasi penelitian adalah industri di kawasan industri PT.KIEC dengan sampel sebanyak 27 industri. Responden sebanyak 2 orang dari setiap industri dari sampel terdiri dari pimpinan dan staf bagian produksi. Teknik pengumpulan data menggunakan wawancara, observasi dan studi pustaka. Teknik analisis data dengan kuantitatif dan kualitatif dilengkapi dengan analisis SWOT dan disusun strategi pengembangan kawasan industri PT.KIEC

Ruang lingkup materi penelitian ini adalah jenis industri yang beroperasi di kawasan industri PT.KIEC , Kota Cilegon, Provinsi Banten; sumber energi fosil yaitu jenis BBM,BBG, dan Batubara yang digunakan untuk mengoperasikan turbin listrik dan didistribusikan ke seluruh industri di kawasan industri PT.KIEC; sumber energi EBT yaitu sumber energi baru terbarukan yang berasal dari energi panas bumi (geothermal) yang merupakan energi alternatif sebagai pengganti energi fosil guna menurunkan emisi CO<sub>2</sub> dan meminimalkan biaya operasional dari *power plant.*; emisi CO<sub>2</sub> adalah limbah dari proses produksi yang berpotensi sebagai gas rumah kaca (GRK) dan CO<sub>2</sub> cair sebagai hasil daur ulang emisi CO<sub>2</sub> yang dapat dimanfaatkan bagi kehidupan manusia sekaligus mereduksi emisi CO<sub>2</sub> sebagai GRK.

Industri yang dipilih sebagai sampel sebanyak 27 buah industri terdiri dari industri manufaktur, industri baja, industri telekomunikasi, kontraktor, industri papan gypsum, dan industri kimia

Data primer dari penelitian adalah kondisi lingkungan dari kawasan industri dalam penggunaan energi dan emisi gas buang CO<sub>2</sub> serta upaya pengurannya. Data sekunder dari berbagai jurnal, publikasi dan literatur yang berhubungan dengan aspek yang diteliti dan analisis tentang penggunaan energi dan pengelolaan limbah emisi CO<sub>2</sub> suatu kawasan industri.

Analisis data juga dilengkapi dengan perhitungan-perhitungan yang berkaitan dengan bagaimana jika energi geothermal dipilih sebagai sumber energi yang akan menggerakkan

turbin listrik atau generator listrik di Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP), kemudian dapat dihitung pula berapa emisi CO<sub>2</sub> dihasilkan ketika proses pengeboran sumur geothermal dilaksanakan dan memakan waktu berapa tahun PLTP siap untuk dioperasikan dengan memperhatikan umur teknis dan lokasi PLTP tersebut.

### **3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Cilegon merupakan wilayah bekas Kewedanaan (Wilayah kerja pembantu Bupati KDH Serang Wilayah Cilegon), yang meliputi 3 (tiga) Kecamatan yaitu Cilegon, Bojonegara dan Pulomerak. Berdasarkan Pasal 27 Ayat (4) UU No 5 tahun 1974 tentang Pokok Pokok Pemerintahan di Daerah, Cilegon kiranya sudah memenuhi persyaratan untuk dibentuk menjadi Kota Administratif. Melalui surat Bupati KDH Serang No. 86/Sek/Bapp/VII/84 tentang usulan pembentukan administratif Cilegon dan atas pertimbangan yang obyektif maka dikeluarkan Peraturan Pemerintah No. 40 tahun 1986, tentang pembentukan Kota Administratif Cilegon dengan luas wilayah 17.550 Ha yang meliputi 3 (tiga) wilayah Kecamatan meliputi Pulomerak, Ciwandan, Cilegon dan 1 Perwakilan kecamatan Cilegon di Cibeber, sedangkan kecamatan Bojonegara masuk Wilayah kerja pembantu Bupati KDH Serang Wilayah Kramatwatu. Berdasarkan PP No. 3 Tahun 1992 tertanggal 7 Februari 1992 tentang Penetapan Perwakilan Kecamatan Cibeber, Kota Administratif Cilegon bertambah menjadi 4 (empat) Kecamatan yaitu Pulomerak, Ciwandan, Cilegon, dan Cibeber.

Jumlah penduduk Kota Cilegon Tahun 2012 (BPS Kota Cilegon, 2013) tercatat 392 341 jiwa mengalami kenaikan rata-rata sebesar 14,1%. Jumlah penduduk mengalami kenaikan cukup tajam disebabkan migrasi penduduk yang berasal dari luar Kota Cilegon. Dibandingkan tahun 2011, maka penduduk Tahun 2012 mengalami peningkatan sebesar 54.271 jiwa.

Pertambahan penduduk Kota Cilegon ini dipengaruhi oleh lokasi Kota Cilegon yang berbatasan langsung dengan DKI Jakarta dan juga berbatasan dengan kawasan industri. Hal ini berdampak pada pemilihan lokasi tempat tinggal dari pekerja di DKI Jakarta yang berusaha untuk mencari lingkungan tempat tinggal yang nyaman ataupun tempat tinggal yang terjangkau secara ekonomis. Oleh karena itu, kecenderungan penduduk dari berbagai daerah untuk bermigrasi ke Kota Cilegon cukup besar.

Situasi ketenagakerjaan di Kota Cilegon pada tahun 2012 menunjukkan terjadinya penurunan angkatan kerja dibandingkan dengan tahun sebelumnya. Berdasarkan hasil Survei

Angkatan Kerja Nasional (Sakernas) 2012, persentase angkatan kerja tercatat sebesar 65,74 persen. Sektor yang menyerap tenaga kerja terbanyak adalah sektor perdagangan, hotel, dan restoran yaitu sebesar 30,24 persen. Diikuti sektor jasa-jasa 22,07 persen dan sektor industri sebesar 18,9 persen.

Menurut BPS Kota Cilegon (2013), kondisi perekonomian Kota Cilegon sepanjang tahun 2012 mengalami peningkatan produktifitas, hal itu tercermin dengan terjadinya percepatan ekonomi sebesar 0,27 persen dari angka pertumbuhan ekonomi sebesar 6,55 persen pada tahun 2011 menjadi 6,82 persen pada tahun 2012. Hal tersebut menunjukkan keberhasilan pembangunan sekaligus juga tantangan bagi Pemerintah Kota Cilegon serta pihak non pemerintah yang bertujuan untuk membangun Kota Cilegon dalam berbagai aspek kehidupan, yang salah satunya adalah aspek ekonomi. Sektor industri pengolahan tetap merupakan tulang punggung perekonomian Kota Cilegon, terutama industri kimia dan industri baja. Sektor industri pengolahan memberikan andil sebesar 71,58 persen dari total pertumbuhan Kota Cilegon. Sedangkan 17,52 persen angka pertumbuhan bersumber dari sektor perdagangan, hotel dan restoran, sisanya bersumber sektor lainnya.

Untuk mengukur sejauh mana keberhasilan kinerja perekonomian Kota Cilegon, maka dibuat indikator makro perekonomian yang biasa digunakan sebagai penilaian kinerja perekonomian. Indikator makro tersebut diantaranya adalah Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) seperti Tabel 1. berikut :

**Tabel 1.** Distribusi Persentase PDRB Kota Cilegon Tahun 2009-2012

Sektor	Tahun			
	2009	2010	2011	2012
Pertanian	1,59	1,68	1,62	1,55
Pertambangan dan Penggalian	0,05	0,05	0,05	0,05
<b>Industri Pengolahan</b>	<b>70,05</b>	<b>70,13</b>	<b>69,87</b>	<b>69,60</b>
Listrik, Gas dan Air Bersih	5,73	5,40	5,26	5,10
Bangunan	0,41	0,43	0,45	0,47
Perdagangan, Hotel dan Restoran	12,91	13,17	13,53	13,96
Pengangkutan dan Komunikasi	5,28	5,13	5,07	4,95
Kuangan, Persewaan dan Jasa Perusahaan	2,80	2,81	2,88	2,94
Jasa-jasa	1,19	1,20	1,27	1,38
<b>Total</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

Sumber : BPS Kota Cilegon, 2013

Persentase PDRB Kota Cilegon ini dapat menggambarkan pertumbuhan ekonomi dalam kurun waktu tertentu dan juga dapat menggambarkan struktur ekonominya serta dapat pula menggambarkan analisisnya terhadap kinerja sektor perekonomian.

Sektor industri pengolahan mencakup subsektor industri tanpa minyak dan gas saja, karena industri migas tidak dimiliki oleh Kota Cilegon. Subsektor ini mencakup industri besar dan sedang, industri kecil dan industri rumah tangga. Industri besar dan sedang mencakup perusahaan industri yang mempunyai tenaga kerja 20 orang atau lebih. Sedangkan industri kecil jumlah tenaga kerja 5 sampai 19 orang, dan industri mikro dengan jumlah 1 sampai 4 orang tenaga kerja. Sektor industri pengolahan dan sektor perdagangan hotel dan restoran masih mendominasi perekonomian Kota Cilegon di tahun 2012. Kedua sektor ini memberikan kontribusi jauh di atas sektor-sektor lainnya dalam membentuk Produk Domestik Regional Bruto Kota Cilegon.

Menurut BPS Kota Cilegon (2013), pada tahun 2012 sektor industri pengolahan mampu menciptakan nilai tambah sebesar Rp.26,601triliun. Mengalami kenaikan sebesar Rp.2,50 triliun dibandingkan tahun 2011 yang menciptakan nilai tambah sebesar Rp.24,098 triliun. Kenaikan nilai tambah sektor industri pengolahan dalam 4 tahun terakhir rata-rata sebesar Rp.2,32 triliun. Walaupun terus mengalami kenaikan nilai tambah tiap tahunnya kontribusi sektor industri pengolahan selalu mengalami penurunan. Sejak tahun 2009 kontribusi sektor industri pengolahan rata-rata mengalami penurunan sebesar 0,15 persen. Pada tahun 2012 sebesar 69,60 persen. Bahkan pada tahun 2009 kontribusi sektor industri pengolahan mencapai 70,05 persen. Kondisi lingkungan di kawasan industri PT.KIEC secara umum belum sesuai dengan Sistem Manajemen Lingkungan standar 14001 yang antara lain menganjurkan agar setiap industri atau kawasan industri melakukan pencegahan pencemaran. PT KIEC hanya menganjurkan kepada setiap industri yang beroperasi di kawasan industri tersebut untuk mengelola timbulan limbah yang dihasilkan oleh masing-masing industri dan PT KIEC belum melakukan monitoring secara terstruktur dan menginventarisir tentang jumlah dan jenis timbulan limbah yang dibuang oleh industri.

Di Kota Cilegon, menurut Badan Lingkungan Hidup Kota Cilegon (2013) terdapat industri sebanyak 2.220 buah dengan bidang industri yang mendapat binaan dari pemerintah dikelompokkan ke dalam industri ANEKA, IKAHH dan ILME. Industri ANEKA meliputi industri di bidang pakaian jadi, sepatu kulit, pakaian olahraga, rajutan, penyempurnaan kain,

tekstil, ballpoint dan lain-lain sebanyak 45,46 %. IKAHH adalah kelompok industri yang bergerak di bidang kimia, agro, dan hasil hutan sebanyak 19,68 %, dan Industri ILME adalah industri-industri yang bergerak di bidang logam, mesin, dan elektronika sebanyak 30,86 %. Jumlah industri yang termasuk dalam skala industri kecil sebanyak 1253 buah, skala industri menengah sebanyak 313 buah dan skala industri besar sebanyak 654 buah.

Selain memberikan dampak positif dengan adanya penyerapan tenaga kerja dan peningkatan devisa negara, keberadaan industri berpotensi menimbulkan dampak negatif berupa timbulan limbah padat, cair maupun gas. Menurut Badan Lingkungan Hidup Kota Cilegon (2013), perkiraan beban pencemaran limbah cair industri skala menengah dan besar yang berhasil terdata untuk BOD berjumlah 30.547 ton/tahun, COD sebanyak 86.656 ton/tahun dan TSS sebanyak 29.792 ton/tahun. Emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh sektor transportasi sebanyak 4.193.985,682 ton/tahun, sedangkan dari sektor industri belum dilakukan kalkulasi data. Perkiraan timbulan sampah di Kota Cilegon mencapai 332.880 m<sup>3</sup> per tahun.

Kualitas udara di Kota Cilegon, akibat dari emisi CO<sub>2</sub> yang disumbangkan dari kawasan industri PT.KIEC sekarang ini dari penggunaan energi fosil yang belum terbangkitkan mencapai sekitar 3.083.520 ton per tahun.. Peraturan Daerah Kota Cilegon No. 3 Tahun 2011 yang membahas tentang tata ruang, merencanakan 30% dari luasan lahan di Kota Cilegon menjadi Ruang Terbuka Hijau (RTH). Sebab, dengan adanya pepohonan yang rindang membuat CO<sub>2</sub> terserap untuk pembakaran tumbuhan. Dengan kurangnya pepohonan, maka karbondioksida akan kembali lagi ke atmosfer karena tidak adanya penyerapan.

Pemakaian energi di PT.KIEC yang berasal dari sumber energi fosil saat ini sebesar 70% dari seluruh sumber energi, dimana energi fosil memberikan kontribusi GRK terbesar berupa emisi gas buang CO<sub>2</sub>. Pengguna energi terbesar di kawasan industri PT.KIEC adalah PT. Krakatau steel yang merupakan industri peleburan besi baja dengan pemakaian energi listrik sebesar 300 MW/Jam.

Upaya yang dilakukan PT.KDL untuk mengurangi pengeluaran biaya operasional supply energi tersebut adalah mencari sumber energi baru terbarukan berupa energi geothermal dari Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) yang dikembangkan oleh PT Sintesa Banten Geothermal berlokasi di wilayah Batu Kuwung, Kabupaten Serang sekitar 35 km dari kawasan industri PT.KIEC memiliki kapasitas 220 MW yang bersumber dari sekitar

29 buah sumur geothermal dengan kapasitas masing-masing sumur dapat menghasilkan uap panas bumi yang dapat menggerakkan generator listrik sebesar 8 MW. Biaya investasi sekitar 2.000.000 USD/MW, ditambah biaya untuk pengeboran sumur membutuhkan energi listrik dari bahan bakar fosil sebesar 3 MW, sehingga seluruh fasilitas PLTP membutuhkan energi listrik dari bahan bakar fosil sebesar 87 MW. Secara umum, PLTP Batu Kuwung membutuhkan biaya investasi sebagai berikut :

### 1. Asumsi

Diasumsikan PLTP beroperasi selama 30 tahun

- PLTP Batu Kuwung : 220 MW
- Investasi PLTP (geothermal): USD. 2.000.000 /MW

### 2. Perhitungan

- Biaya Investasi:  $220 \text{ MW} \times \text{USD. } 2.000.000 /\text{MW} = \text{USD. } 440.000.000$
- Biaya Investasi per tahun :  $440.000.000 \text{ USD} : 30 = \text{USD. } 14.666.666,7$

Sumber energi sistem pembangkit PLTU PT.Krakatau Daya Listrik berkapasitas 400 MW yang dihasilkan dari 5 Turbin menggunakan tenaga gas/uap didominasi oleh bahan bakar fosil. Dengan pertimbangan bahwa energi fosil semakin lama persediaannya semakin menipis dan selalu menciptakan emisi gas rumah kaca, maka perlu dilakukan siklus kombinasi (*Combine Cycle*) di PLTU tersebut agar energi listrik yang diproduksi menjadi optimum. Siklus kombinasi dapat menghasilkan energi tambahan sebesar 40 MW atau 10% dari total energi yang dihasilkan.

Secara umum, Sistem Combine Cycle di PLTU PT.KDL membutuhkan biaya investasi sebagai berikut :

### 1. Asumsi

Diasumsikan PLTP beroperasi selama 15 tahun

- Sistem Combine Cycle : 40 MW
- Investasi Sistem Combine Cycle : USD. 1.100.000 /MW

### 2. Perhitungan

- Biaya Investasi:  $40 \text{ MW} \times \text{USD. } 1.100.000 /\text{MW} = \text{USD. } 44.000.000$
- Biaya Investasi per tahun :  $44.000.000 \text{ USD} : 15 = \text{USD. } 2.933.333,3$



Nilai ekonomi penggunaan energi di kawasan industri PT,KIEC sebelum dan sesudah menggunakan energi geothermal Batu Kuwung dan Efisiensi energi dari Combine Cycle pada Tabel 2. sebagai berikut :

**Tabel 2.** Perbandingan Biaya Operasional Penyediaan Energi Listrik

Sumber Energi	Sebelum		Sesudah		Total Penghematan (USD)
	MWh	USD	MWh	USD	
<b>Energi Fosil</b>	400	30.220.773,6	140	10.577.270,2	
<b>Geothermal</b>	-	-	220	14.666.666,7	
<b>Combine Cycle</b>	-	-	40	2.933.333,3	
<b>Total</b>	<b>400</b>	<b>30.220.773,6</b>	<b>400</b>	<b>28.177.270,2</b>	<b>2.043.503,4</b>

Sumber : PT.KIEC (2013)

Tahapan kegiatan dalam mewujudkan kawasan industri PT.KIEC menjadi model kawasan industri yang berwawasan lingkungan dengan mengefisienkan Penggunaan energi dan minimalisasi pembuangan limbah emisi CO<sub>2</sub> seperti yang direkomendasikan oleh Purwanto (2005) dan Fleig (2000) diterapkan sebagai berikut :

### 1. Lingkaran Tertutup Melalui Pakai Ulang Dan Daur Ulang

Strategi dalam upaya mewujudkan lingkaran tertutup yaitu melalui simbiosis antara PT.Krakatau Steel yang menghasilkan limbah emisi CO<sub>2</sub> sebesar 350.400 Ton/tahun memiliki peluang untuk dilakukan daur ulang 40% nya yaitu lebih kurang 140.160 Ton/tahun. Peluang bisnis ini ditindak lanjuti oleh PT. RMI yang mengolah emisi CO<sub>2</sub> dengan kapasitas 26.280 Ton/tahun, dan dalam perhitungan bisnis untuk investasi mesin teknologi pemurnian CO<sub>2</sub> akan kembali dalam waktu 4,1 tahun. Produk CO<sub>2</sub> cair dari PT.RMI juga dibutuhkan oleh industri lain seperti industri makanan dan minuman, industri konstruksi dan manufaktur. Industri pengolah emisi CO<sub>2</sub> masih memiliki peluang untuk dikembangkan dengan potensi sebesar 113.880 Ton/tahun. Dari aspek lingkungan upaya daur ulang emisi CO<sub>2</sub> memberikan kontribusi penurunan emisi CO<sub>2</sub> sekitar 26.280 Ton/tahuns/d 140.160 Ton/tahundari Total emisi CO<sub>2</sub> yang bersumber dari PT.Krakatau Steel, sehingga emisi CO<sub>2</sub> yang tidak terolah minimal sekitar 210.240 Ton/tahuns/d 324.120 Ton/tahun.

## 2. Memaksimalkan Efisiensi Penggunaan Bahan Dan Energi

Strategi dalam upaya memaksimalkan efisiensi Penggunaan bahan dan energi yaitu melalui pembangunan PLTP Batu Kuwung yang merupakan pembangkit tenaga listrik dengan sumber energi geothermal atau panas bumi, kapasitas PLTP ini lebih kurang 220 MW dan Sistem Combine Cycle dengan kapasitas 40 MW untuk memenuhi kebutuhan listrik sebesar 400MW, dilakukan kombinasi dengan PLTU yang diturunkan kapasitasnya menjadi 140 MW. PLTP Batu Kuwung dibangun di Desa Batu Kuwung, Kabupaten Serang, Provinsi Banten yang berjarak sekitar 35 km dari kawasan industri PT.KIEC, dipersiapkan pembangunannya melalui pengeboran 29 sumur geothermal. dengan perincian investasi untuk PLTP akan kembali dalam waktu lebih kurang 5 tahun sebagai berikut :

### 1. Asumsi

Diasumsikan bahwa pembangunan konstruksi PLTP Batu Kuwung sampai beroperasi efisiensi 100%, maka jika produk energi listrik dikombinasikan dengan PLTU PT KDL dapat dikalkulasi sebagai berikut :

- Kapasitas PLTP Batu Kuwung : 220 MW
- Sistem Combine Cycle : 40 MW
- Kapasitas PLTU kombinasi PLTP dan Combine Cycle di PT. KDL : 140 MW
- PLTU tanpa kombinasi PLTP di PT.KDL : 400 MW
- Waktu operasi PLTP Batu Kuwung (*Capacity Factor* 100 %) = 8760 jam/tahun
- Waktu operasi Combine Cycle (*Capacity Factor* 100 %) = 8760 jam/tahun
- Waktu operasi PLTU PT.KDL (*Capacity Factor* 100 %) = 8760 jam/tahun
- Jumlah emisi CO<sub>2</sub> per 1 MWh dari PLTU adalah 0,78 Ton/jam = 6.832,8 Ton/tahun
- Harga Listrik Rata-Rata: 110 USD/MWh
- Investasi PLTP (geothermal): USD. 2.000.000 /MW
- Investasi Combine Cycle : USD. 1.100.000/MW
- Biaya bagi penyediaan Bahan Bakar Fosil : **USD. 75.551,93/MWh/tahun**

### 2. Perhitungan PLTP :

- Energi Listrik PLTP Terbangkitkan: 220 MW x 8760jam = 1.927.200 MWh/tahun
- Penghasilan Dari Energi Listrik PLTP:

$$= 1.927.200 \text{ MWh} \times 110 \text{ USD/MWh} = \text{USD. 211.992.000 /tahun}$$

### 3. Perhitungan Combine Cycle :

- Energi Listrik Combine Cycle Terbangkitkan:  $40 \text{ MW} \times 8760 \text{ jam}$   
 $= 350.400 \text{ MWh/tahun}$
- Penghasilan Dari Energi Listrik Combine Cycle:  
 $= 350.400 \text{ MWh} \times 110 \text{ USD/MWh} = \text{USD. 38.544.000 /tahun}$

### 4. Perhitungan PLTU :

- Energi Listrik PLTU kombinasi Terbangkitkan:  
 $= 140 \text{ MW} \times 8.760 \text{ jam} = 1.226.400 \text{ MWh/tahun}$
- Energi Listrik PLTU tanpa kombinasi Terbangkitkan:  
 $= 400 \text{ MW} \times 8.760 \text{ jam} = 3.504.000 \text{ MWh/tahun}$
- Biaya Bahan Bakar Fosil PLTU kombinasi:  
 $= 140 \text{ MWh} \times \text{USD. 75.551,93/MWh/tahun} = \text{USD. 10.577.270,2 /tahun}$
- Biaya Bahan Bakar Fosil PLTU tanpa kombinasi:  
 $= 400 \text{ MWh} \times \text{USD. 75.551,93/MWh/tahun} = \text{USD. 30.220.773,60 /tahun}$
- Hasil penjualan listrik dari PLTU kombinasi :  
 $= \text{USD} (1.226.400 \times 110) = \text{USD.134.904.000}$
- Hasil penjualan listrik dari PLTU tanpa kombinasi :  
 $= \text{USD} (3.504.000 \times 110) = \text{USD.385.440.000}$
- **Penghasilan netto dari PLTU kombinasi:**  
 $= (211.992.000 + 38.544.000 + 134.904.000) - (10.577.270,2)$   
 $= \text{USD.374.862.729,8 /tahun}$
- **Penghasilan netto dari PLTU tanpa kombinasi:**  
 $= 385.440.000 - 30.220.773,60$   
 $= \text{USD. 355.219.226,4 /tahun}$

### 5. Penghematan yang dicapai :

Hasil penjualan listrik dari PLTU kombinasi per tahun sebesar USD.374.862.729,8 /tahun, sedangkan hasil penjualan listrik dari PLTU tanpa kombinasi

sebesar USD. 355.219.226,4 /tahun, sehingga terdapat kelebihan penghasilan sebesar **USD.19.643.503,4 /tahun**. Nilai laba sebesar USD.19.643.503,4 ini dapat diinvestasikan ke dalam pengadaan PLTP Batu Kuwung dan Sistem Combine Cycle dalam waktu minimal 22 tahun

#### 4. Memanfaatkan semua limbah sebagai produk potensial

Jenis limbah yang diproduksi di kawasan industri PT.KIEC terdiri dari limbah padat berupa sampah, limbah cair dan air limbah serta limbah emisi CO<sub>2</sub>. Jumlah limbah emisi CO<sub>2</sub> yang besar, hanya limbah emisi CO<sub>2</sub> dari hasil proses peleburan baja di PT. Krakatau Steel yang dapat diolah menjadi CO<sub>2</sub> cair. Strategi dalam upaya memanfaatkan limbah telah dilakukan oleh PT.RMI dengan mengolah limbah emisi CO<sub>2</sub> dari proses peleburan baja menjadi produk CO<sub>2</sub> cair yang dimanfaatkan oleh industri lain. Penurunan emisi CO<sub>2</sub> dari kegiatan efisiensi energi dan daur ulang limbah seperti pada Tabel 3 berikut :

**Tabel 3.** Penurunan emisi CO<sub>2</sub>

Sumber Energi	Sebelum		Sesudah		Total Penurunan (CO <sub>2</sub> /ton/tahun)
	MWh	CO <sub>2</sub> /ton/tahun	MWh	CO <sub>2</sub> /ton/tahun	
Energi Fosil	400	2.733.120	140	956.592	1.776.528
Geothermal	-	-	220	-	-
Combine Cycle	-	-	40	-	-
PT.KS		350.400		350.400	0
PT.RMI		-		-26.280	+26.280
<b>Total</b>	<b>400</b>	<b>3.083.520</b>	<b>400</b>	<b>1.280.712</b>	<b>1.802.808</b>

Sumber : PT.KIEC (2013)

Dari Tabel 3, menunjukkan bahwa dengan kegiatan efisiensi energi, dan daur ulang limbah CO<sub>2</sub>, maka emisi CO<sub>2</sub> di kawasan industri dapat diturunkan sebesar 1.802.808 ton/tahun menjadi 1.280.712 ton/tahun atau sekitar 58,5% dari kondisi awal. Dengan demikian pengembangan model dari penelitian ini yang diterapkan dari di kawasan industri PT.KIEC sangat signifikan dan “workable” dapat menurunkan lebih dari 6,5% total emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan pada kawasan industri PT.KIEC seperti yang dipersyaratkan daripada kebijakan Rencana Aksi Nasional penurunan GRK.

Dari *Raw Model*. tentang simbiosis industri dalam efisiensi energi dan pemanfaatan daur ulang CO<sub>2</sub> merupakan pengembangan dari kondisi awal di kawasan industri PT.KIEC, Kota

Cilegon selain memberikan keuntungan secara ekonomi, juga memberikan manfaat bagi pelestarian lingkungan antara lain :

- a. Mengurangi GRK yang berpotensi menimbulkan pemanasan global di kawasan industri PT.KIEC dari 3.083.520 CO<sub>2</sub>/ton/tahun menjadi 1.280.712 ton/tahun atau sekitar 58,5%.
- b. Memberikan peluang bagi PT.RMI dan PT. Krakatau Daya Listrik untuk memperoleh kredit karbon dengan harga pasaran dunia sebesar 15USD – 20USD per ton, karena proyek tersebut menggunakan teknologi pemurnian CO<sub>2</sub> dan teknologi geothermal sebagai teknologi ramah lingkungan.

#### **4. KESIMPULAN DAN SARAN**

##### **Kesimpulan**

Dari hasil pembahasan tersebut di atas, maka dapat disimpulkan bahwa untuk menuju kawasan industri yang berwawasan lingkungan, telah diidentifikasi beberapa hal sebagai berikut:

1. Kondisi lingkungan kawasan industri KIEC masih dikelola secara tradisional, walaupun demikian terdapat 8 (delapan) buah industri yang telah memperoleh peringkat dalam kinerja perusahaan terhadap lingkungan hijau dan biru. Hal ini memberikan motivasi bagi manajemen kawasan industri PT.KIEC untuk berkomitmen terhadap lingkungan.
2. Sumber energi yang digunakan oleh PT.KDL sebagai industri PLTU yang berperan sebagai penyuplay energi listrik dengan kapasitas 400 MW, masih menggunakan energi fosil yaitu BBM, BBG dan Batubara. Pembakaran energi fosil ini menimbulkan emisi CO<sub>2</sub> yang merupakan Gas Rumah Kaca (GRK) sebesar 2.733.120 ton/tahun. Untuk itu, diperlukan energi alternatif yang ramah terhadap lingkungan yaitu energi panas bumi atau geothermal yang dipasang di PLTP Batu Kuwung yang berkapasitas 220 MW dan Sistem Combine Cycle. Dengan PLTP dan Sistem Combine Cycle ini, emisi CO<sub>2</sub> dapat diturunkan menjadi 956.592 ton/tahun atau sekitar 65%.
3. Limbah yang ditimbulkan dari proses produksi pada industri di kawasan industri PT.KIEC terdiri dari limbah cair, limbah padat, limbah panas, dan emisi CO<sub>2</sub>. Dari hasil survey, belum ada limbah yang diolah secara komunal, yang terjadi adalah limbah diolah secara sendiri-sendiri oleh industri tersebut. Hanya saja di PT.Krakatau Steel,

timbulan limbah emisi CO<sub>2</sub> yang merupakan dampak dari proses peleburan baja berpotensi menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> paling tinggi yaitu sekitar 350.400 Ton/tahun. Dilihat dari sisi bisnis, 40% dari timbulan limbah emisi CO<sub>2</sub> dapat dilakukan daur ulang menjadi produk CO<sub>2</sub> cair dengan nilai ekonomi sebesar USD 18.501.120 /tahun. Teknologi yang digunakan untuk daur ulang CO<sub>2</sub> adalah teknologi pemurnian CO<sub>2</sub> dengan investasi peralatan ini akan kembali dalam waktu minimal 4 tahun. Dari kegiatan daur ulang CO<sub>2</sub> ini, secara keseluruhan emisi CO<sub>2</sub> yang berasal dari kawasan industri PT.KIEC menurun sekitar 58,5%.

4. Model pengembangan kawasan industri PT.KIEC menjadi kawasan industri yang berwawasan lingkungan dilakukan dengan strategi sebagai berikut :
  - a. Melakukan lingkaran tertutup dan daur ulang melalui simbiosis industri antara PT Krakatau Steel dengan PT.RMI dalam hal mengolah emisi CO<sub>2</sub> menjadi produk CO<sub>2</sub> cair.
  - b. Memaksimalkan efisiensi Penggunaan bahan dan energi melalui pembangunan PLTP Batu Kuwung yang berkapasitas 220 MW dan Sistem Combine Cycle berkapasitas 40 MW yang dapat meningkatkan pendapatan dari hasil penjualan energi listrik sampai dengan 106% dari pendapatan semula.
  - c. Memanfaatkan limbah sebagai produk dilakukan oleh PT.RMI dengan mendaur ulang emisi CO<sub>2</sub> hasil peleburan baja di PT. Krakatau Steel menjadi produk CO<sub>2</sub> cair yang dibutuhkan oleh industri makanan dan minuman dan industri lainnya dengan potensi emisi CO<sub>2</sub> yang belum didaur ulang sebesar 113.880 ton.tahun .

## **Saran**

Saran – saran dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk merealisasikan kawasan industri PT.KIEC menjadi kawasan industri yang berwawasan lingkungan perlu dukungan nyata dari perusahaan/industri yang beroperasi di kawasan industri PT.KIEC merubah konsep pengelolaan industri dari manajemen lingkungan tradisional menjadi ekosentris.
2. Penggunaan energi fosil di industri perlu diminimalisir dan menggantinya dengan energi baru dan terbarukan (EBT) dan Sistem Combine Cycle yang memanfaatkan panas yang

terbuang dari proses pembakaran. EBT di Provinsi Banten yang potensial antara lain adalah geothermal yang berasal dari wilayah Batu Kuwung.

3. Pemanasan global dipicu oleh gas rumah kaca (GRK) antara lain adalah emisi CO<sub>2</sub>. Oleh karena itu. Diharapkan kapasitas daur ulang emisi CO<sub>2</sub> di kawasan industri PT.KIEC dapat ditingkatkan dan dioptimalkan.
4. Langkah awal untuk merubah kawasan industri PT.KIEC menjadi kawasan industri berwawasan lingkungan dilakukan dengan minimasi penggunaan energi fosil, kemudian mengoptimalkan penggunaan energi baru dan terbarukan dan efisiensi energi serta mendaur ulang emisi CO<sub>2</sub> menjadi produk CO<sub>2</sub> cair yang dapat dimanfaatkan oleh industri lain sebagai bahan baku industri. Model ini secara riil dapat diterapkan di kawasan industri PT.KIEC.





# SUMMARY

## 1. INTRODUCTION

The long-term economic development strategy in the beginning of 1980 was the national development supported by the development of industry and agriculture. One area in the economic development was the development of industrial estates. The base to determine the location of an industrial estate did not take into account such factors as the availability of energy sources and sustainability of natural resources. This was due to the fact that energy prices were subsidized by the Government and therefore affordable for industries.

The stipulation of an industrial area entirely depended on the policy of the Central Government or centralized policy. The regional government did not have any authority in developing an industrial estate. The beginning of 1980 was the era of trade and industry. Thus, the economy of a country was much determined by the size of its trade value. Economic growth was strategic in achieving higher Gross Domestic Products. The development emphasized only on pursuing profits without taking into account the availability of natural and energy resources, and this was a false policy.

Paul Krugman (2009) divides economic growth into three eras. According to him, the period of 1980 to 1990 was the era of trade, in which a country with strong trade would be able to maintain its economic growth. The 1990-2000 period was the technological information era. This era was characterized by the emergence of information and communication technology-based companies. Later, the 2000-2020 period is the era of global warming. This era is marked by rising awareness in the society about the importance of environmental conservation in exploring natural and energy resources.

One of the industrial estates established in the beginning of 1980 is PT.KIEC industrial estate, with aims to support the strategic industry, i.e. the availability of steel to support the national industry. PT.KIEC industrial estate is located in Cilegon, Province of Banten. There are 84 industries operating in this estate with a variety of products such as fabrication, industrial equipment, contractor, manufacturing, steel, telecommunications, gypsum boards, chemicals and machinery. PT.KIEC industrial estate is intended to support the strategic industry of iron and steel of PT. Krakatau Steel. PT. Krakatau Industrial Estate Cilegon (KIEC) is located in the Industrial Estate, surrounded by hills and sea. The flat land contour covers 625 Ha, comprising Industrial Estate I and Industrial Estate II, and there have already

245 Ha of land used by 84 companies, either national or multinational ones. It was designed and developed based on the regulation of the Master Plan of Industrial Area Development in Banten.

To operate the industries at PT. KIEC industrial estate, it needs a great amount of energy. Most of energy used in PT. KIEC industrial estate is fossil energy, such as coals, fuel oil and fuel gas. One of the impacts of fossil energy is the greenhouse gas emission. The industrial estate emitting the greenhouse gas is not concerned with the environment. Besides, uncontrolled use of fossil energy will result in the increase of greenhouse gasses. Moreover, the current fossil energy prices are influenced by international energy market so that industries cannot use the prices as reference. It results in non-environmentally-friendly industrial areas and high dependence on fossil energy.

PT.KIEC industrial estate uses the energy produced by PT. Krakatau Daya Listrik (PT.KDL). PT.KDL is one of the subsidiaries of PT. Krakatau Steel. To produce electricity, PT. KDL has five turbines with a capacity of 80 MW each and a total capacity of 400 MW. Those five turbines are powered by the fossil energy sources, namely fuel oil, fuel gas, and coals.

In an industrial process, beside industrial products, energy use creates waste. It can be industrial waste and exhaust gas CO<sub>2</sub>. From the fossil combustion to produce electrical energy of 400 MW it emits 40 tons of CO<sub>2</sub> per hour, so in one year use of fossil energy, it contributes 3,083,520 tons of CO<sub>2</sub> emission as greenhouse gas. This situation becomes a problem in the production process at PT.KIEC industrial estate: in addition to producing useful products such as steel, the high consumption of fossil energy brings out waste of CO<sub>2</sub> emission.

## **2. RESEARCH METHOD**

To answer the aforementioned problems, the type of research is analytical descriptive. The population was the industries in PT.KIEC industrial estate with 27 sample industries. Two respondents were taken from each of the samples; they were the production head and staff. Data collection technique employed interviews, observation and literature studies. Data analysis technique used SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats) analysis and followed by formulation of development strategy for PT. KIEC industrial estate.

The scope of this research was the type of industries operating in PT.KIEC industrial estate in Cilegon, Province of Banten; fossil energy sources include fuel oil, fuel gas and coals used to power generators to produce electricity that is distributed to all industries in PT.KIEC industrial estate; new and renewable energy sources come from geothermal, an alternative energy source to fossil energy, to reduce CO<sub>2</sub> emission and power plant operational cost; CO<sub>2</sub> emission as a greenhouse gas is waste resulted from production process, and liquefied CO<sub>2</sub> is the result of CO<sub>2</sub> recycling process, beneficial for human being as well as for CO<sub>2</sub> emission reduction.

Sample industries were 27 industries, comprising of manufacturing, steel industry, telecommunications, contractors, gypsum boards and chemical industries.

The primary data of this research was the environmental condition in the industrial estate, with relation to energy use and CO<sub>2</sub> emission and efforts to reduce it. The secondary data was derived from varied journals, publication and literature related to the aspects in study and analysis on the energy consumption and waste management of CO<sub>2</sub> emission of an industrial area.

Data analysis was completed with calculations related to the assumption of when geothermal energy was chosen as source of energy to power generators at Geothermal Powered Power Plant (PLTP), and then calculations related to CO<sub>2</sub> emission resulted from the drilling of geothermal wells and calculations related to the time needed to build the geothermal-powered power plant and how many years the power plant was going to be ready for operation, considering its technical age and locations.

### **3. RESULTS AND DISCUSSION**

Cilegon was part of a district (under the authority of Deputy Regent of Serang in Cilegon), covering three subdistricts of Cilegon, Bojonegara and Pulomerak. Based on Article 27 Paragraph (4) Law Number 5 1974 on Regional Government, Cilegon had met the requirements to be an Administrative City. Based on the Serang Regent Letter Number 86/Sek/Bapp/VII/84 on proposal for the formation of the Administrative City of Cilegon and based on the objective consideration, the government issued Governmental Regulation Number 40 of 1986 on the Establishment of Administrative City of Cilegon, with an area of 17,550 Ha, covering three subdistricts areas of Pulomerak, Ciwandan, Cilegon and one

subdistrict representative of Cilegon in Cibeber, while the Bojonegara Subdistrict belonged to the authority of Serang Deputy Regent in Kramatwatu. Based on Governmental Regulation Number 3 of 1992 dated 7 February 1992 on the Appointment of Subdistrict Representative of Cibeber, the Administrative City of Cilegon consists of four Subdistricts. They are Pulomerak, Ciwandan, Cilegon and Cibeber.

The number of population of Cilegon in 2012 (BPS Kota Cilegon, 2013) was 392,341 people with an average population growth of 14.1%. The number of population rose sharply due to the migration from other cities. Compared to the population in 2011, the population in 2012 rose by 54,271 people.

This population increase was influenced by the location of Cilegon, which borders Jakarta as well as other industrial areas. This strategic location of Cilegon has attracted workers in Jakarta who chose comfortable and economically affordable areas. This explains why there is a growing tendency of newcomers to migrate to Cilegon.

Despite the increase in overall population, the number of workforce in Cilegon decreased in 2012 from the previous year. Based on the Survey of National Workforce (Sakernas) in 2012, the percentage of the workforce was 65.74 percent. The sectors that recruit the most workforce (of 30.24 percent) were trade, hotel, and restaurant. It was followed by the services sector of 22.07 percent and industry 18.9 percent.

Based on the Cilegon Central Bureau of Statistics (2013), Cilegon's economy in 2012 booked an increase in productivity, with economic growth rising by 0.27 percentage points from 6.55 percent in 2011 to 6.82 percent in 2012. It points out the success of development but at the same time imposes challenges to the Cilegon Administration and non-governmental parties to develop Cilegon in various aspects of living, especially economic aspect. The manufacturing industrial sector is still the main pillar of Cilegon economy, especially chemicals and steel industries. The manufacturing sector contributes 71.58 percent to the total growth of Cilegon, while the trade, hotel and restaurant sector contributes 17.52 percent, and the remaining coming from other sectors.

Macroeconomic indicators of Cilegon can be used to evaluate the city's economic performance. One of the macro indicators is the Regional Gross Domestic Product (PDRB) as seen in Table 1.

**Tabel 1.** Sectors contributing to Cilegon PDRB, years 2009-2012

<b>Sectors</b>	<b>Year</b>			
	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>
Agriculture	1.59	1.68	1.62	1.55
Mining	0.05	0.05	0.05	0.05
<b>Manufacturing industry</b>	<b>70.05</b>	<b>70.13</b>	<b>69.87</b>	<b>69.60</b>
Electricity, Gas and Clean Water	5.73	5.40	5.26	5.10
Construction	0.41	0.43	0.45	0.47
Trade, Hotel and Restaurant	12.91	13.17	13.53	13.96
Transportation and Communications	5.28	5.13	5.07	4.95
Finance, Leasing and Corporate Services	2.80	2.81	2.88	2.94
Services	1.19	1.20	1.27	1.38
<b>Total</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>

Source: BPS Kota Cilegon, 2013

The above table shows sectors contributing to Cilegon Regional Gross Domestic Products, economic growth during certain period, its economic structure as well as the performance of each sector of the economy.

The manufacturing sector in Cilegon includes all industrial subsectors except the non-oil and gas subsector because Cilegon does not have any oil and gas industry. This subsector includes the large and medium industries, as well as small and home industries. The large and medium industries include industrial companies with workforce of 20 or more. The small industry has workforce of 5 to 19, and micro industry of 1 to 4. The manufacturing sector and the trade, hotel and restaurant sector were still dominant in 2012. Both sectors contributed much more than other sectors to Regional Gross Domestic Product of Cilegon.

According to the Cilegon Central Bureau of Statistics (2013), in 2012 the manufacturing sector was able to create an added value of Rp. 26.601 trillion. It rose by Rp. 2.5 trillion compared to that of 2011 with the added value of Rp. 24.098 trillion. The increase in the added value of the manufacturing sector in the last four years was Rp. 2.32 trillion in average. Despite the annual increase in the added value, the contribution of the manufacturing sector had been decreasing. Since 2009 the contribution of the manufacturing sector decreased by 0.15 percent in average. In 2012 it was 69.60 percent. In 2009 the contribution of the manufacturing sector reached 70.05 percent.

The city of Cilegon, according to the Environment Agency of Cilegon (2013), has 2,220 industries, which are under the advisory of the government and classified into industries of ANEKA, IKAHH and ILME. ANEKA industries include garment, leather shoes, sportswears, knitting, cloth finishing, textile, ballpoints and so on and comprises 45.46% of the industries. IKAHH industries include chemicals, agro, and forest crops and comprise 19.68% of the industries, and ILME industries include metal, machinery and electronics and comprise 30.86% of the industries. There are 1253 small industries, 313 medium industries, and 654 large industries.

Beside the positive impact with the employment of workforce and increase of foreign exchange, the presence of the industries also imposes negative potential impacts in the form of solid, liquid or gas waste. Based on the Environment Agency of Cilegon (2013), the estimate of the medium and large-scale burden of industrial liquid waste recorded for BOD was 30,547 tons/year, COD 86,656 tons/year and TSS 29,792 tons/year. The CO<sub>2</sub> emission from the transportation sector was 4,193,985,682 tons/year, while there has not been any record from the industrial sector. The estimate of the waste in Cilegon reaches 332,880 m<sup>3</sup> per year.

CO<sub>2</sub> emission affects air quality in Cilegon. CO<sub>2</sub> emission from the use of fossil energy by industries in PT.KIEC industrial estate totals 3,083,520 tons per annum. Cilegon Municipality Bylaw Number 3 of 2011 on Spatial Planning plans 30% of the land in Cilegon to be Green Open Space. The shady trees will absorb CO<sub>2</sub> for the plants oxidation. With the lack of trees, carbondioxide will return to atmosphere because there is not any absorption.

Energy consumption from fossil energy sources at PT.KIEC is presently 70% of all energy sources, where the fossil energy contributes the most greenhouse gas in the form of CO<sub>2</sub> exhaust gas. The biggest energy user in PT.KIEC industrial estate is PT. Krakatau Steel, a steel smelting industry with electricity consumption of 300 MW/hour.

To reduce operational cost in energy supply, PT.KDL is looking for new and renewable energy sources by building a geothermal-powered power plant (PLTP). The power plant, to be constructed by PT Sintesa Banten Geothermal, is located in Batu Kuwung, Serang regency, about 35 km from PT.KIEC industrial estate. The power plant, with capacity of 220 MW, has geothermal sources from 29 geothermal wells, with each well powering generators to produce 8 MW of electricity. The total cost of the power plant include the investment to build the

power plant of USD 2,000,000 per MW of capacity, plus the cost to drill the wells that requires electricity from fossil fuels of around 3 MW, and therefore, the PLTP Batu Kuwung requires 87 MW of electricity using fossil fuel as energy sources. Overall, PLTP Batu Kuwung requires total investment as follows:

### **1. Assumption**

It is assumed that PLTP Batu Kuwung operates for 30 years

- PLTP Batu Kuwung: 220 MW
- Investment for PLTP (geothermal): USD 2,000,000 /MW

### **2. Calculation**

- Investment cost:  $220 \text{ MW} \times \text{USD } 2,000,000 /\text{MW} = \text{USD } 440,000,000$
- Investment cost per year:  $\text{USD } 440,000,000 : 30 = \text{USD } 14,666,666.7$

Energy sources for PT.Krakatau Daya Listrik's 400 MW PLTU power plant with five generators are mainly from fossil fuels. Considering that sources of fossil energy are depleting and the combustion of fossil energy emits greenhouse gasses, the PLTU needs the Combine Cycle System to produce maximum level of electricity. This Combine Cycle System could produce an additional energy of 40 MW or 10% of total energy produced by the power plant.

To implement the combine cycle at the PLTU power plant, PT.KDL requires an additional investment as follows:

### **1. Assumption**

It is assumed that the power plant operates for 15 years

- Combine Cycle System: 40 MW
- Investment for Combine Cycle System: USD 1,100,000 /MW

### **2. Calculation**

- Investment cost:  $40 \text{ MW} \times \text{USD } 1,100,000 /\text{MW} = \text{USD } 44,000,000$
- Investment cost per year:  $\text{USD } 44,000,000 : 15 = \text{USD } 2,933,333.3$

The economic value from the use of energy in PT.KIEC industrial estate, before and after the operation of Batu Kuwung geothermal power plant and energy efficiency from Combine Cycle is presented in Table 2, as follows:

**Tabel 2.** Comparison of Operational Cost in Providing Electricity

Source of energy	Before		After		Total Saving (USD)
	MWh	USD	MWh	USD	
Fossil Energy	400	30.220.773,6	140	10.577.270,2	
Geothermal	-	-	220	14.666.666,7	
Combine Cycle	-	-	40	2.933.333,3	
<b>Total</b>	<b>400</b>	<b>30.220.773,6</b>	<b>400</b>	<b>28.177.270,2</b>	<b>2.043.503,4</b>

Source: PT.KIEC (2013)

The stages of activity to make PT.KIEC industrial estate an environmentally-friendly industrial estate model through efficiency of energy usage and minimization of CO<sub>2</sub> emission, as recommended by Purwanto (2005) and Fleig (2000), are as follows:

#### 5. Closed Circle Through Reuse and Recycle

The strategy to achieve the desired closed circle, i.e. through symbiosis between PT.Krakatau Steel and PT.RMI. PT. Krakatau Steel contributes 350,400 tons per year of CO<sub>2</sub> emission. Of that amount, 40% or 140,160 tons per year could be recycled. This business opportunity was grabbed by PT.RMI that processed the CO<sub>2</sub> from PT.Krakatau Steel into liquefied CO<sub>2</sub>. The liquefied CO<sub>2</sub> produced by PT.RMI is then consumed by other industries such as the food and beverages industry, construction and manufacturing industries. Investment for CO<sub>2</sub> purification technology has a payback period of 4.1 years. Thus, the CO<sub>2</sub> recycling industry still has room to grow, with potentials of 113,880 tons per year. From the environmental perspective, this CO<sub>2</sub> recycling contributes to the reduction of CO<sub>2</sub> emission by 26,280 tons to 140,160 tons per year from PT.Krakatau Steel,'s CO<sub>2</sub> emission, and therefore unprocessed CO<sub>2</sub> emission could be reduced to between 210,240 tons to 324,120 tons per year.

#### 6. Maximizing Efficiency in the Use of Raw Materials and Energy

The strategy to maximize efficiency in the use of raw materials and energy is through the construction of geothermal-powered power plant (PLTP) in Batu Kuwung with capacity of 220 MW and the implementation of the Combine Cycle System with capacity of 40 MW to meet total electricity needs of 400 MW, and at the same time, reducing the capacity of



the fossil fuels-powered PLTU power plant to 140 MW. Batu Kuwung power plant is located in Batu Kuwung village in Serang regency, the Province of Banten, around 60 km from PT.KIEC industrial estate. The power plant will be powered by geothermal from 29 wells. Investment for this power plant will be paid back in 5 years, with the following calculations:

### **1. Assumption**

It is assumed that the construction of the geothermal-powered power plant (PLTP), combined with the existing fossil fuel-powered plant, will be able to achieve efficiency level of 80 percent, with the following calculations.

- Capacity of PLTP Batu Kuwung : 220 MW
- Combine Cycle System: 40 MW
- Capacity of PLTU combined with PLTP and the Combine CycleSystem at PT.KDL: 140 MW
- PLTU without any combination with PLTP at PT.KDL: 400 MW
- Operational hours of PLTP Batu Kuwung(Capacity Factor 100 %) = 8,760 hours/year
- Operational hours of the Combine Cycle System (Capacity Factor 100 %) = 8,760 hours/year
- Operational hours of PLTU at PT.KDL (Capacity factor 100%) = 8,760 hours/year
- CO2 emission per 1 MWh from PLTU is 0.78 tons/hour = 6,832.8 tons/year
- Average electricity price: USD 110 /MWh
- PLTP (geothermal) investment: USD 2,000,000 USD/MW
- Combine Cycle System investment: USD 1,100,000 /MW
- Cost to provide fossil fuels: USD 75.551,93/MWh/year

### **2. PLTP Calculation:**

- Generated electricity from PLTP: 220 MW x 8760 hours = 1.927.200 MWh/year
- Revenue from PLTP electricity sales:  
= 1.927.200 MWh x USD 110 /MWh = **USD 211.992.000 /year**

### **3. Combine Cycle Calculation:**

- Generated electricity from the Combine Cycle System: 40 MW x 8,760 hours  
= 350,400 MWh /year

- Revenue from Combine Cycle electricity sales:  
= 350,400 MWh x USD 110 /MWh = **USD 38,544,000 /year**

#### **4. PLTU Calculations:**

- Generated electricity from PLTU combination:  
= 140 MW x 8,760 hours = 1,226,400 MWh/year
- Generated electricity from PLTU without combination:  
= 400 MW x 8,760 hours = 3,504,000 MWh/year
- Fossil fuel cost for PLTU combination:  
= 140 MWh x USD 75.551,93/MWh = USD 10.577.270,2 /year
- Fossil fuel cost for PLTU without combination:  
= 400 MWh x USD 75.551,93/MWh = USD 30.220.773,60 /year
- Revenue from electricity sales from PLTU combination:  
= USD (1,226,400x 110) = USD134,904,000
- Revenue from electricity sales from PLTU without combination:  
= USD (3,504,000 x110) = USD 385,440,000
- Net income from PLTU combination:  
= (211.992.000 +38.544.000 +134.904.000)-( 10.577.270,2)  
= **USD 374.862.729,8 /year**
- Net income from PLTU without combination:  
= 385.440.000- 30.220.773,60  
= **USD 355.219.226,4 /year**

#### **5. Expected saving:**

Revenue from electricity sales from PLTU combination per year totals USD 374.862.729,8 /year, while revenue from electricity sales from PLTU without combination reaches USD 355.219.226,4 /year, and therefore, there is a difference in sales of USD.19.643.503,4. This net income of USD.19.643.503,4 could be invested in the construction of PLTP Batu Kuwung and the Combine Cycle System for the period minimum of 22 years.

## 7. Utilizing all wastes as potential products

The wastes from the industrial production process in PT.KIEC industrial estate consist of garbage, liquid wastes, and wastewater as well as CO<sub>2</sub> emission. For CO<sub>2</sub> emission, PT Krakatau Steel produces the highest amount of CO<sub>2</sub> from its steel smelting process, which could be processed into liquefied CO<sub>2</sub>. The strategy to utilize waste has already been carried out by PT.RMI by processing CO<sub>2</sub> waste from steel smelting into liquefied CO<sub>2</sub> that could be consumed by other industries. The level of CO<sub>2</sub> emission reduction from energy efficiency and recycling of waste is presented in Table 3 as follows:

**Table 3. CO<sub>2</sub> Emission Reduction**

Source of Energy	Before		After		Total reduction (CO <sub>2</sub> /ton/year)
	MWh	CO <sub>2</sub> /ton/year	MWh	CO <sub>2</sub> /ton/year	
Fossil Energy	400	2,733,120	140	956,592	1,776,528
Geothermal	-	-	220	-	-
Combine Cycle	-	-	40	-	-
PT.KS		350,400		350,400	0
PT.RMI		-		-26,280	+26,280
<b>Total</b>	<b>400</b>	<b>3,083,520</b>	<b>400</b>	<b>1,280,712</b>	<b>1,802,808</b>

Source: PT.KIEC (2013)

Table 3 above shows that activities involving energy efficiency and recycling of CO<sub>2</sub> in PT.KIEC industrial estate could reduce CO<sub>2</sub> emission by 58.5% from 1,802,808 tons per annum to 1,280,712 tons per annum. Therefore, the development of a model from this research implemented in PT.KIEC industrial estate is workable and could reduce more than 6.5% of total CO<sub>2</sub> emission emitted from PT.KIEC industrial estate, as required by the National Action Plan to reduce greenhouse gasses.

The Raw Model on Figure 5.17 on symbiosis of industries in energy efficiency and recycling of CO<sub>2</sub> was developed from the earlier condition in PT.KIEC industrial estate in Cilegon, as presented in Figure 5.16. In addition to giving economic benefits, it also benefits environmental preservation, as follows:

- c. Reducing CO<sub>2</sub> emission, as one of greenhouse gasses that could potentially create global warming, by 58.5% from 3,083,520 tons per annum to 1,280,712 tons per annum.

- d. Creating opportunity to PT.RMI and PT. Krakatau Daya Listrik to benefit from the carbon credit at the international market price of between USD 15– USD 20 per ton because the project employs CO<sub>2</sub> purification technology and geothermal energy, both are environmentally-friendly.

#### **4. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS**

##### **Conclusions**

From the discussion presented above, a number of conclusions could be drawn to achieve an environmentally-friendly industrial estate. The conclusions are as follows:

1. The environmental condition in PT. KIEC industrial estate is managed conventionally using traditional management system, and yet, eight industries in this estate secured green and blue ranking in their environmental performance from the government. This motivates the management of PT. KIEC industrial estate to be committed to the environment.
2. PT. KDL still utilizes fossil energy, namely fuel oil, fuel gas and coals as source of energy for its 400 MW PLTU power plant to supply electricity to the estate. The combustion of this fossil energy sources causes CO<sub>2</sub> emission, one of greenhouse gasses, totaling 2,733,120 tons per year. Therefore, it requires an environmentally-friendly alternative energy like geothermal-powered power plant (PLTP) in Batu Kuwung with the capacity of 220 MW and the Combine Cycle System. With this PLTP and the Combine Cycle System, CO<sub>2</sub> emission is reduced by 65% to 956,592 tons per year.
3. The wastes from the industrial production process in PT. KIEC industrial estate consist of liquid, solid, hot wastes as well as CO<sub>2</sub> emission. Results of the survey show that no wastes have been treated in an integrated way. What happened is that these wastes were treated individually by each company/industry. For CO<sub>2</sub> emission, PT. Krakatau Steel produces the highest amount of CO<sub>2</sub> from its steel smelting process, around 350,400 tons/year. From the business side, 40% of PT Krakatau Steel CO<sub>2</sub> waste could be recycled to produce liquefied CO<sub>2</sub> with economic value of USD 18,501,120/year. The technology used in this process is the CO<sub>2</sub> purification technology, and the investment for this technology is paid back in at least 4 years. This recycling of CO<sub>2</sub> reduces CO<sub>2</sub> emission in PT. KIEC industrial estate by 58.5%.

4. The model to develop PT.KIEC industrial estate to become an environmentally-friendly estate is pursued by using the following strategy:
  - a. Pursuing closed-circle and waste recycling through mutual symbiosis between PT Krakatau Steel and PT.RMI in processing CO<sub>2</sub> emission to produce liquefied CO<sub>2</sub>.
  - b. Maximizing efficiency in raw material and energy consumption by building 220MW geothermal-powered power plant in Batu Kuwung as well as the Combine Cycle System with capacity of 40 MW that could increase revenue from electricity sales by 106% the initial revenue.
  - c. Utilizing waste as a useful product by PT.RMI by processing CO<sub>2</sub> from PT. Krakatau Steel to produce liquefied CO<sub>2</sub> that is then consumed by the food and beverage industry. The potential of CO<sub>2</sub> emission that could be recycled through this process is 113,880 tons per annum.

### **Recommendations**

Recommendations from this research are as follows:

1. To make PT.KIEC industrial estate an environmentally-friendly estate, it needs real supports from companies/industries operating inside PT.KIEC industrial estate by changing the concept of industrial management from traditional environmental management into an eco-centric management system/
2. The use of fossil energy in an industry needs to be minimized and it should be replaced with new and renewable energy sources as well as the Combine Cycle System that utilizes discarded heat in the process of combustion. A potential source for new and renewable energy in the Province of Banten is geothermal energy from Batu Kuwung area.
3. CO<sub>2</sub> emission, as one of greenhouse gasses, causes global warming. Therefore, it is expected that the recycling capacity of CO<sub>2</sub> emission at PT.KIEC industrial estate could be increased and enhanced.
4. The early steps to make PT.KIEC industrial estate an environmentally-friendly estate include minimizing fossil energy consumption, optimizing new and renewable energy consumption, enhancing energy efficiency as well as recycling of CO<sub>2</sub> emission into liquefied CO<sub>2</sub> that could be consumed by other industries as raw materials. This model could be implemented in PT.KIEC industrial estate.