

***ECONOMIC DISPATCH DENGAN MEMPERHITUNGGAN
KEKANGAN EMISI LINGKUNGAN MENGGUNAKAN
ALGORITME KUNANG-KUNANG***

SKRIPSI

untuk memenuhi salah satu persyaratan
mencapai derajat Sarjana S1



Disusun oleh:

ERI YUNIATI

14524086

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

ECONOMIC DISPATCH DENGAN MEMPERHITUNGKAN KEKANGAN EMISI LINGKUNGAN MENGGUNAKAN FIREFLY ALGORITHM

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

Disusun oleh:

ERI YUNIATI
14524086



Yogyakarta,

Menyetujui,

Pembimbing 1

Firmansyah Nur Budiman, S.T., M.Sc
145240501

Pembimbing 2

Elvira Sukma Wahyuni, S.Pd, M.Eng
155231301

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

ECONOMIC DISPATCH DENGAN MEMPERHITUNGKAN KEKANGAN EMISI LINGKUNGAN MENGGUNAKAN ALGORITME KUNANG-KUNANG

Dipersiapkan dan disusun oleh:

Eri Yuniati
14524086

Telah dipertahankan di depan dewan penguji

Pada tanggal: 20 Desember 2018

Susunan dewan penguji

Ketua Penguji : Firmansyah Nur Budiman, S.T., M.Sc.,

Anggota Penguji 1: Wahyudi Budi Pramono, S.T., M.Eng.,

Anggota Penguji 2: Ida Nurchayani, S.T., M.Eng.,

Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana

Tanggal: 21 Desember 2018



Ketua Program Studi Teknik Elektro

Muhammad Amrullah, S.T., M.Eng., PhD

045240101

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul ***“Economic Dispatch dengan Memperhitungkan Kekangan Emisi Lingkungan Menggunakan Algoritme Kunang-kunang”*** adalah benar-benar karya mandiri yang diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan tanpa perizinan dan bukan merupakan karya cipta pihak lain yang saya akui sebagai karya saya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk yang digunakan untuk mendukung penulisan penelitian ini telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila pernyataan diatas tersebut tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Yogyakarta, November 2018



Eri Yuniati

14524086

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah *Subhanahu Wa Ta'ala*, yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga Laporan Skripsi ini dapat terselesaikan oleh penulis. Sholawat serta salam senantiasa tetap tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Besar Muhammad *Shalallahu'Alaihi Wassalam*, yang telah membimbing umatnya dari zaman kegelapan menuju zaman terangnya pengetahuan.

Laporan Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat guna mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.

Selama proses pengerjaan hingga terselesainya Laporan Skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan serta dukungan dari berbagai pihak, untuk itu ijinilah dengan kerendahan hati, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah *Subhanahu Wa Ta'ala*, karena dengan rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini.
2. Kedua orang tua penulis, Bapak Sunarto (Alm) dan Ibu Istiqomah, yang selalu memberikan doa, semangat dan dukungan.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T. selaku dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Yusuf Aziz Amrullah, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
5. Bapak Firmansyah Nur Budiman, ST., M.Sc. dan Ibu Elvira Sukma Wahyuni, S.Pd., M.eng. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan pengarahan dan selalu membimbing penulis dalam penyusunan skripsi.
6. Keluarga besar penulis yang selalu memberikan motivasi.
7. Eka Rusnita, Ammrita Rakhmi F, Yogi Agus P, Novita D yang selalu memberikan dukungan serta semangat saat penulis sedang *down* saat pengerjaan skripsi.
8. Teman-teman kos lama (Kos Bu Tiswo, Kos Ds Ralda) yang namanya tidak bisa disebutkan satu per satu. Penulis sangat mengucapkan banyak terima kasih untuk pertemanan yang sangat memotivasi selama ini.
9. Teman-teman Teknik Elektro UII angkatan 2014.

10. Serta semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu yang telah berkontribusi secara langsung maupun tidak langsung sehingga Skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam Laporan Skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik, saran serta masukan dari semua pihak sangat diperlukan oleh penulis guna memperbaiki Laporan Skripsi ini. Semoga Laporan Skripsi yang sudah diusahakan dengan baik oleh penulis ini dapat bermanfaat bagi semua pihak. Amin.

Wabillahitaufik Walhidayah

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Yogyakarta, November 2018

Penulis

Eri Yuniati

ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Arti Lambang dan Singkatan berisi daftar lambang dan singkatan yang digunakan di dalam laporan Tugas Akhir yang dilengkapi oleh arti dan besaran/satuan.

B	= Variabel nilai keatraktifan
CO_2	= <i>Carbon Dioksida</i>
Exp	= Variabel bilangan eksponensial
$IEEE$	= <i>Institute of Electrical and Electronics Engineering</i>
MWh	= <i>Mega Watt Hour</i>
$Rand$	= Nilai random dengan kisaran 0-1
\$	= Simbol mata uang negara Amerika Serikat
γ	= Nilai untuk tingkat penyerapan udara pada lingkungan sekitar kunang-kunang

ABSTRAK

Seiring dengan berkembangnya zaman yang diikuti dengan perkembangan penduduk yang meningkat dari tahun ke tahun, mengakibatkan kebutuhan energi listrik semakin tinggi. Maka dari itu PLN sebagai salah satu pemasok energi listrik di Indonesia dituntut untuk menyediakan pasokan energi listrik yang mencukupi untuk masyarakat. Skripsi ini bertujuan untuk melakukan perhitungan *economic dispatch* unit pembangkit termal menggunakan algoritme kunang-kunang. Parameter algoritme kunang-kunang yang digunakan dalam perhitungan ini adalah konstanta intensitas cahaya setiap kunang-kunang, dan konstanta untuk *update* pergerakan kunang-kunang. Batasan yang digunakan dalam perhitungan biaya total yaitu emisi lingkungan total, beban total, dan daya pembangkit maksimal/minimal, dibantu dengan *software* MATLAB 2013. Energi yang harus dibangkitkan adalah sama dengan beban sebesar 54910 MW. Perhitungan biaya total pembangkit menggunakan dua pembandingan dengan memperhitungkan emisi lingkungan dan tanpa memperhitungkan emisi lingkungan. Hasil biaya total pembangkitan dengan memperhitungkan emisi lingkungan CO_2 sebesar \$2.055.805.000.000 dengan emisi lingkungan CO_2 sebesar 5131,6 ton selama 24 jam dengan beban yang berbeda-beda pada setiap jamnya. Dari hasil perhitungan, algoritme yang digunakan dapat mengoptimalkan biaya total pembangkitan dibandingkan dengan algoritme lainnya.

Keyword : *economic dispatch*, algoritme kunang-kunang, kekangan emisi CO_2 , MATLAB

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR	v
ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN	vii
ABSTRAK.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 <i>Economic Dispatch</i>	3
2.2 Algoritme Kunang-kunang.....	4
2.2.1 Kebiasaan Kunang-Kunang.....	5
2.2.2 Konsep Algoritme Kunang-kunang.....	5
2.2.3 Jarak Antar Kunang-kunang.....	6
2.2.4 Pergerakan Kunang-kunang	6
2.3 <i>Software</i> MATLAB 2013.....	7
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	8
3.1 Pemodelan Sistem	9

3.2 Aplikasi Algoritme	12
3.3 Implementasi di MATLAB	14
3.4 Analisa Hasil	14
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	15
4.1 Simulasi <i>Economic Dispatch</i> menggunakan Algoritme Kunang-kunang.....	15
4.1.1 Parameter Kelistrikan	16
4.2 Perhitungan <i>Economic Dispatch</i> dengan Beban Tiap Jam.....	16
4.3 Simulasi <i>Economic Dispatch</i> dengan Beban Tiap Jam	18
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	22
5.1 Kesimpulan.....	22
5.2 Saran.....	22
DAFTAR PUSTAKA.....	23
LAMPIRAN.....	24

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Logo <i>software</i> MATLAB 2013.....	7
Gambar 3.1 Alur penelitian.....	8
Gambar 3.2 Prosedur penerapan algoritme kunang-kunang pada <i>economic dispatch</i>	18
Gambar 4.1 Grafik hubungan total biaya pada tiap jam.....	19
Gambar 4.2 Grafik hubungan emisi pada beban tiap jam.....	20

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Parameter algoritme kunang-kunang.....	16
Tabel 4.2 Biaya total pembangkitan	18

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Kebutuhan energi listrik merupakan kebutuhan utama setiap masyarakat. Kebutuhan ini dari tahun ketahun semakin meningkat dikarenakan populasi penduduk yang meningkat pada setiap tahunnya. Energi listrik tidak hanya digunakan untuk kebutuhan listrik rumah tangga, namun juga untuk memenuhi kebutuhan industri, transportasi dan komersil lainnya. Ditambah dengan kemajuan teknologi yang semakin pesat menjadikan energi listrik sebagai kebutuhan primer bagi masyarakat.

Dari permasalahan kebutuhan energi yang tinggi tersebut, maka PLN selalu dituntut untuk menyediakan energi listrik yang dapat mengakomodasi di berbagai segmen kehidupan masyarakat. Namun, saat ini pasokan bahan bakar energi listrik semakin menipis, dan menjadikannya permasalahan baru bagi PLN sebagai badan penyedia energi listrik. Dan juga ditambah dengan permasalahan yang terjadi pada masalah pembangkitan seperti emisi yang terlalu tinggi.

Terdapat dua permasalahan utama bagi PLN sebagai badan penyedia energi listrik. Pertama, PLN harus dapat menyediakan pasokan energi listrik yang dibutuhkan masyarakat dengan biaya yang minimum serta daya yang dibangkitkan mencukupi. Dari permasalahan tersebut, maka diperlukan perhitungan *economic dispatch* untuk memecahkan masalah pada PLN dengan cara optimasi biaya bahan bakar dengan pembagian pembebanan pada tiap unit pembangkit. Kedua, emisi yang ditimbulkan dari pembangkitan juga menjadi masalah bagi PLN. Karena masih banyak unit pembangkit energi listrik yang ada di Indonesia menggunakan bahan bakar batu bara yang menimbulkan emisi lingkungan berupa gas CO_2 salah satunya yang cukup tinggi kuantitasnya. Dari permasalahan tersebut maka diperlukan kekangan perhitungan *economic dispatch* berupa kekangan emisi lingkungan.

Economic Dispatch merupakan salah satu perhitungan yang berfungsi untuk mendapatkan biaya yang sangat minimum namun tetap menyediakan energi listrik yang dapat memenuhi permintaan beban. *Economic dispatch* adalah anggota dominan dari kumpulan operasi sistem tenaga untuk menentukan unit komitmen, aliran beban, dan kemampuan transfer yang tersedia [1]. Metode optimasi yang digunakan dalam

perhitungan *economic dispatch* ini adalah algoritme kunang-kunang. Algoritme kunang-kunang memanfaatkan perilaku kunang-kunang. Digunakannya algoritme kunang-kunang karena metode ini dianggap cukup efektif dalam memecahkan masalah optimasi dibandingkan dengan metode lain. Pada penelitian ini algoritme kunang-kunang digunakan sebagai metode utama untuk penyelesaian *economic dispatch*.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana memperhitungkan biaya unit pembangkit termal dengan optimal menggunakan algoritme kunang-kunang ?
2. Bagaimana perbandingan biaya total pembangkit memperhitungkan emisi lingkungan dengan tanpa memperhitungkan emisi lingkungan ?

1.3 Batasan Masalah

1. Perhitungan *economic dispatch* ini hanya dilakukan untuk sistem IEEE 24 bus.
2. Tidak menyertakan untuk perhitungan *Unit Commitment* sehingga semua unit pembangkit dianggap dalam kondisi *on* atau beroperasi.
3. Pada saat dilakukan simulasi hanya menggunakan *software* MATLAB.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mendapatkan biaya yang paling optimal pada pembangkitan dengan menggunakan metode algoritme kunang-kunang tanpa memperhitungkan emisi CO_2 .
2. Mendapatkan biaya yang paling optimal pada pembangkitan dengan menggunakan metode algoritme kunang-kunang dengan mamperhitungkan emisi CO_2 .

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian inidapat berkontribusi dalam pemodelan/perancangan sistem pembangkitan dengan biaya yang minimum dan pembagian daya yang merata sesuai dengan daya yang mampu dibangkitkan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Economic Dispatch*

Menurut S. Komsiyah [2], permasalahan tentang harga listrik yang dipengaruhi oleh tingginya harga bahan baku untuk pembangkitan tenaga listrik dapat diteliti pada permasalahan *economic dispatch* yang akan memanfaatkan pembagian pembebanan pada suatu system interkoneksi yang bermanfaat untuk mengoptimalkan biaya pembangkitan dengan menggunakan metode algoritme kunang-kunang. Setelah dilakukan penelitian dengan menggunakan metode tersebut maka hasil yang didapatkan bahwa metode algoritme kunang-kunang mampu menekan biaya yang cukup optimal dibandingkan dengan data aslinya tanpa menggunakan pembagian beban dengan metode algoritme kunang-kunang. Penggunaan metode tersebut juga mampu melayani beban yang lebih besar dibandingkan dengan data aslinya yang hanya mampu melayani beban yang paling optimum.

Menurut R. S Ibrahim, R. S. Wibowo dan A. Mushofa [3], meningkatnya biaya bahan bakar pada sistem operasi pembangkitan tenaga listrik memungkinkan untuk dilakukannya perbaikan dengan pengoptimalan biaya bahan bakar. Salah satu hal yang dapat dilakukan adalah dengan *economic dispatch* yang memanfaatkan metode algoritme kunang-kunang untuk pembagian beban secara merata dengan memperhatikan kesetaraannya untuk memecahkan pemograman *non linear*. Dari penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa metode yang digunakan mampu menemukan beban yang lebih ekonomis. Kelebihan algoritme yang digunakan dibandingkan algoritme lainnya bahwa algoritme ini mampu mempertahankan kualitas keandalan serta kemampuan dan ketahanan untuk memecahkan masalah masalah optimasinya. Namun juga terdapat beberapa batasan dalam dilakukannya perhitungan yaitu zona terlarang dalam pengoperasian generator, batas tingkat jalan, serta kerugian transmisi yang ditimbulkan.

Menurut T. Dewantoro, R. S. Wibowo dan A. Suprijanto [4], pemanasan global menjadi salah satu keterbatasan sumber daya alam dalam membangun pembangkit listrik energi terbarukan. Metode optimasi algoritme kunang-kunang yang diterapkan menggunakan perbandingan dengan dua sistem uji yaitu tanpa dan dengan penambahan tenaga angin. Hasil simulasi yang didapatkan menunjukkan bahwa dengan penambahan

tenaga angin dalam pembangkit tenaga listrik menghasilkan total biaya yang tidak selalu lebih murah. Simulasi dengan metode optimisasi algoritme kunang-kunang dalam menyelesaikan *economic dispatch* lebih baik dibandingkan dengan metode lain seperti *Particle Swarm Optimization (PSO)*, *Bat Algorithm (BA)* dan *Plant Growth Simulation Algorithm (PGSA)*. Hasil yang digunakan dalam perhitungan optimasi algoritme kunang-kunang menggunakan hasil data yang paling minimum dalam beberapa kali *running*. Kepemilikan dari sistem pembangkit berpengaruh dalam perencanaan pembangkitan daya.

Sistem tenaga listrik merupakan sebuah usaha yang dilakukan untuk menyalurkan daya melalui saluran interkoneksi. Sistem tenaga listrik terbagi menjadi 3 bagian utama yaitu pembangkitan, transmisi dan distribusi. Salah satu masalah utama yaitu dalam sistem pembangkitan yang sangat diperlukan untuk memenuhi kebutuhan beban. Namun, pada masa sekarang ini sistem pembangkitan dengan bahan bakar fosil memerlukan biaya yang cukup besar. Maka dari itu, diperlukan perhitungan *economic dispatch* menggunakan metode algoritme kunang-kunang.

Salah satu perhitungan optimasi pada pembagian pembebanan sistem pembangkit adalah dengan *economic dispatch*. Untuk mendapatkan biaya yang optimum digunakan kombinasi-kombinasi unit pembangkit untuk pemenuhan pembebanan. Jadi, dalam perhitungan *economic dispatch* pembagian beban pada setiap pembangkit diukur dari kapasitas yang mampu dibangkitkan oleh sistem pembangkit. Sehingga dari hal tersebut biaya dapat ditekan seminimal mungkin karena biaya bahan bakar merupakan biaya yang paling utama pada sistem pembangkitan.

2.2 Algoritme Kunang-kunang

Salah satu metode yang ada dalam perhitungan *economic dispatch* adalah metode algoritme kunang-kunang. Algoritme kunang-kunang adalah metode baru yang dikembangkan oleh Xin Dia Yang pada tahun 2007 [5]. Metode ini memanfaatkan metode *stokastik* dan metode *meta-heuristik* algoritme yang banyak digunakan untuk memecahkan masalah dalam hal optimasi. Metode *stokastik* ini digunakan karena proses acak dalam perhitungan set solusi yang terinspirasi dari sikap berkedip kunang-kunang. *Heuristic* berarti untuk menemukan solusi dengan percobaan dan ketidakpastian. *Heuristic* merupakan tingkat yang lebih rendah dan untuk tingkat yang lebih tinggi adalah *meta-*

heuristik. Tingkat rendah yang berkonsentrasi pada generasi baru dan demikian pula dengan tingkat yang lebih tinggi merupakan pencarian solusi untuk bertahan hidup. Begitupun algoritme kunang-kunang yang merupakan salah satu metode untuk mempertahankan penduduk berdasarkan populasi berdasarkan algoritme yang memiliki kelebihan dibandingkan dengan algoritme lainnya.

2.2.1 Kebiasaan Kunang-Kunang

Kunang-kunang merupakan salah satu hewan yang dapat berkedip secara berirama [5]. Pola berkedip, jumlah kedipan, dan tingkat waktu untuk berkedip seakan sudah di set semacam prototype yang menarik minat lawan jenisnya. Intensitas cahaya pada jarak tertentu r dari sumber cahaya sesuai dengan hukum kuadrat terbalik. Intensitas cahaya I akan terus menurun apabila jarak r lebih meningkat sebagaimana $I = 1/r^2$. Selain hal itu, udara yang menyerap cahaya juga menjadikan jarak r semakin berjauhan. Kedua factor tersebut apabila dikombinasikan akan menjadikan jarak r antar kunang-kunang terbatas.

2.2.2 Konsep Algoritme Kunang-kunang

Dari hal diatas tersebut, kita dapat mengkarateristikkan kedipan kunang-kunang sehingga dapat mengembangkan teori kunang-kunang yang terinspirasi dari algoritme. Algoritme kunang-kunang bekerja pada 3 aturan dasar dan 3 faktor utama yaitu intensitas cahaya, daya tarik dan jarak atau gerakan kunang-kunang. Aturannya adalah sebagai berikut [5]:

1. Semua kunang-kunang adalah *unisex*, sehingga semua kunang-kunang tertarik antar satu kunang-kunang dan kunang-kunang lainnya.
2. Daya tarik dari kunang-kunang tergantung pada tingkat kecerahan kunang-kunang. Kunang-kunang yang lebih redup akan tertarik pada kunang-kunang dengan tingkat kecerahan yang lebih tinggi. Namun hal tersebut juga dipengaruhi jarak antar kunang-kunang yang mengurangi intensitas cahaya kunang-kunang dan penyerapan cahaya akibat dari factor udara. Apabila kedua hal tersebut terjadi maka kunang-kunang akan bergerak secara *random*.

3. Kecerahan atau intensitas cahaya pada kunang-kunang dipengaruhi oleh nilai tujuan dari masalah yang ada. Untuk masalah maksimasi, intensitas cahaya sebanding dengan nilai fungsi tujuan.

2.2.3 Jarak Antar Kunang-kunang

Jarak antar kunang-kunang di interpretasikan sebagai i dan j serta lokasi kunang-kunang adalah x , x_i dan x_j yang dilakukan dengan peletakan titik persebaran secara random dalam sebuah diagram kartesius dengan sebuah rumus, dimana selisih antar kunang-kunang i dan j merupakan jarak antar kedua kunang-kunang tersebut [5]:

$$r_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (2.1)$$

Dimana :

- x_i = posisi awal kunang-kunang pada lokasi x ,
- x_j = posisi ke-dua kunang-kunang pada lokasi x ,
- y_i = posisi awal kunang-kunang pada lokasi y ,
- y_j = posisi ke-dua kunang-kunang pada lokasi y ,
- r_{ij} = jarak antar kedua kunang-kunang.

2.2.4 Pergerakan Kunang-kunang

Pergerakan pada kunang-kunang untuk menuju intensitas cahaya yang lebih tinggi dapat dilihat dengan persamaan [5]:

$$x_i = x_a + \beta_0 \times e(-\gamma r_{ij}^2) \times (x_j - x_i) + a \times \left(rand - \frac{1}{2} \right) \quad (2.2)$$

Dimana :

- x_a = posisi awal kunang-kunang pada lokasi x ,
 x_j = posisi selanjutnya kunang-kunang pada lokasi x ,
 β_0 = variabel nilai keatraktifan awal pada kunang-kunang dengan nilai 1.0,
 e = variabel bilangan eksponensial,
 γ = nilai untuk tingkat penyerapan pada lingkungan *sekitar* kunang-kunang yaitu udara dengan nilai 0,5,
 r_{ij} = variabel selisih jarak awal antara kunang-kunang I dan J,
 $rand$ = nilai random dengan kisaran [0-1].
 α = konstanta intensitas cahaya tiap kunang-kunang

Semua variabel pada persamaan diatas diberikan fungsi keatraktifan kunang-kunang untuk menentukan tingkat kecerahan serta menjamin cara kerja algoritme agar lebih mudah dan cepat menemukan solusi yang optimal.

2.3 Software MATLAB 2013

Matlab merupakan salah satu *software* yang mempunyai dua pemograman yaitu dengan diagram blok dan bahasa pemograman. Matlab merupakan salah satu bahasa pemograman yang baik dalam hal membantu untuk memecahkan masalah matematis. Hal itu merupakan salah satu alasan mengapa digunakannya Matlab 2013 untuk membantu memecahkan masalah optimisasi dengan *economic dispatch* menggunakan algoritme kunang-kunang.

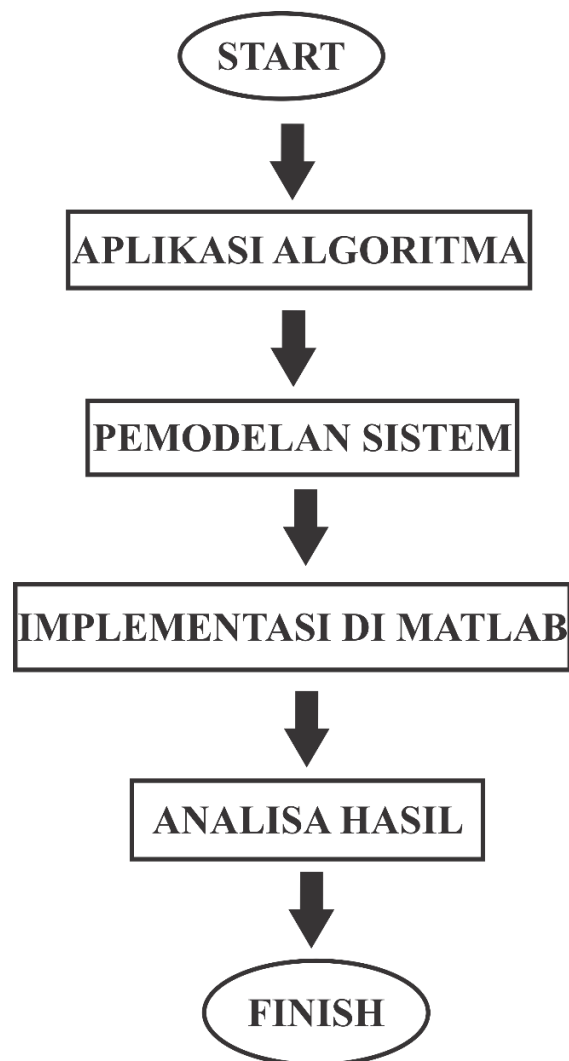


Gambar 2.1 logo *software* MATLAB 2013

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Alur penelitian yang dilakukan oleh penulis ditunjukkan pada gambar 3.1. Alur penelitian tersebut berisi tentang pemodelan sistem yang akan digunakan untuk penelitian seperti data sistem yang digunakan dari data sistem IEEE 24 bus dan juga *constraint* yang digunakan untuk menjalankan sistem. Kedua ada aplikasi algoritme yang akan diterapkan untuk perhitungan *economic dispatch*. Yang ketiga terdapat penerapan algoritme kunang-kunang untuk perhitungan *economic dispatch* dengan *software* MATLAB dan yang terakhir adalah analisa dari hasil yang didapatkan dari simulasi.



Gambar 3.1 Alur Penelitian

3.1 Pemodelan Sistem

Pengoperasian pembangkit listrik untuk menghasilkan energi yang dapat melayani konsumen dengan beban tertentu dan mengutamakan keandalannya, dituntut untuk menggunakan biaya yang sangat minimum. Untuk mendapatkan biaya yang minimum maka dilakukan dengan perhitungan teknik optimisasi menggunakan algoritme kunang-kunang. Adapun data-data yang dipakai dalam perhitungan *economic dispatch* menggunakan akgoritma kunang-kunang ini adalah data sistem IEEE 24 Bus. Pemodelan dalam perhitungan sistem yang digunakan adalah dengan menambahkan batasan-batasan pada setiap unit pembangkit.

3.1.1 Fungsi Objektif

Economic dispatch dapat didefinisikan sebagai proses meminimalisasi biaya dengan fungsi obyektif serta memperhitungkan kekangan emisi sistem dan unit pembangkit. kekangan sistem meliputi keseimbangan antara daya yang dibangkitkan dengan total beban yang harus terpenuhi, serta kekangan tambahan berupa emisi CO_2 yang diijinkan. Kekangan unit meliputi batasan daya minimum dan maksimum pada tiap unit pembangkit [6].

Tujuan utama dalam perhitungan *economic dispatch* adalah untuk mendapatkan biaya pembangkitan yang dapat ditekan seminimal mungkin dengan rumus fungsi biaya sebagai berikut [7]:

$$\sum_{i=1}^N F(P_i) = a_i + b_i(P_i) + c_i P_i^2 \quad (3.1)$$

dimana :

F	= total biaya pembangkitan	(\$/h)
a	= koefisien biaya pembangkitan	(\$/h)
b	= koefisien biaya pembangkitan	(\$/MWh)
c	= koefisien biaya pembangkitan	(\$/MW ² h)
P_i	= daya yang dibangkitkan	(MW)
N	= jumlah unit pembangkitan	

3.1.2 Kekangan

Pembangkit listrik memiliki batas-batas yang diciptakan agar tetap dalam kondisi aman dan tanpa kendala. Terdapat batasan untuk beban dan batasan pada emisi sebagai berikut :

i. Daya yang dibangkitkan

Persamaan daya yang dibangkitkan oleh semua unit pembangkit dituliskan seperti berikut [7]:

$$\sum_{i=1}^N P_i = P_{beban} \quad (3.2)$$

dimana :

P_i = daya yang dibangkitkan (MW)

P_{beban} = daya beban konsumen (MW)

N = jumlah unit pembangkit

Adapun juga pertidaksamaan beban yang digunakan untuk keamanan pembangkit dari kendala seperti ketimpangan tegangan bus atas batas digenerasi pada beban bus, batas tegangan bus yang lebih rendah dari generasi pada beban bus, tegangan bus yang lebih rendah dari batas maksimum, batas atas pembangkit yang lebih kecil dari tegangan beban, dan batas bawah pembangkit yang lebih besar dari tegangan beban. Jadi tujuan dari pertidaksamaan beban ini adalah untuk mempertahankan jaringan komponen dalam batas aman dengan pertidaksamaan berikut [7]:

$$P_{min} \leq P \leq P_{max} \quad (3.3)$$

dimana :

P = daya yang dibangkitkan (MW)

ii. Emisi

Hasil dari pembangkitan listrik dengan bahan bakar yang berbeda-beda tentunya menghasilkan gas-gas sisa yang diemisikan untuk lingkungan sekitarnya. Salah satu bahan bakar yang banyak digunakan dan menghasilkan emisi yang kurang baik untuk kesehatan lingkungan sekitarnya adalah bahan bakar fosil dengan emisinya karbondioksida (CO_2). Emisi ini selain kurang baik untuk kesehatan lingkungan juga merupakan faktor utama penyebab pemanasan global (*global warming*). Sehingga diperlukan batasan maksimum untuk emisi CO_2 yang ditentukan sebesar [6]:

$$Emisi = me \times P_{beban} \quad (3.4)$$

dimana :

$Emisi$ = batas maksimum emisi (MW)

me = koefisien batas aman emisi

P_{beban} = daya beban konsumen (MW)

Fungsi emisi CO_2 yang digunakan untuk menghitung emisi pada setiap unit pembangkit yang berhubungan dengan daya yang dapat dibangkitkan pada setiap unit adalah [6]:

$$E_i(P_i) = x_i + y_i P_i + z_i P_i^2 \quad (3.5)$$

dimana :

x = konstanta fungsi kuadratik emisi CO_2

y = konstanta fungsi kuadratik emisi CO_2

z = konstanta fungsi kuadratik emisi CO_2

P = daya yang dibangkitkan (MW)

3.1.3 Data Sistem IEEE 24 Bus

Adapun data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sistem IEEE 24 bus. Data tersebut didapatkan dari *study literature*. Data sistem IEEE 24 bus menyajikan data berupa data dari 26 unit pembangkit yang berisikan data golongan bahan bakar pembangkit, data daya minimum dan maksimum yang dapat dibangkitkan pada setiap unit pembangkit, data fungsi koefisien biaya tiap unit pembangkit dan juga data fungsi koefisien emisi tiap unit pembangkit. Ada juga data lain yaitu data beban sistem IEEE 24 bus selama 24 jam. Data tersebut ditunjukkan pada **Lampiran**.

3.2 Aplikasi Algoritme

Pada gambar 3.2 menjelaskan prosedur penerapan algoritme kunang-kunang dalam perhitungan *economic dispatch* yang dipakai dalam penelitian ini. Penjabarannya adalah sebagai berikut :

1. *Start*

2. Inisiasi parameter

Langkah ini berisi parameter apa saja yang digunakan untuk perhitungan *economic dispatch* menggunakan algoritme kunang-kunang. Parameter tersebut berisi parameter kelistrikan dan juga parameter algoritme kunang-kunang.

3. Inisiasi posisi awal

Posisi awal dari pergerakan kunang-kunang dengan parameter kelistrikan yang ada.

4. Evaluasi kemampuan fungsi tingkat intensitas awal

Evaluasi ini berisikan fungsi fitness pada tiap kunang-kunang.

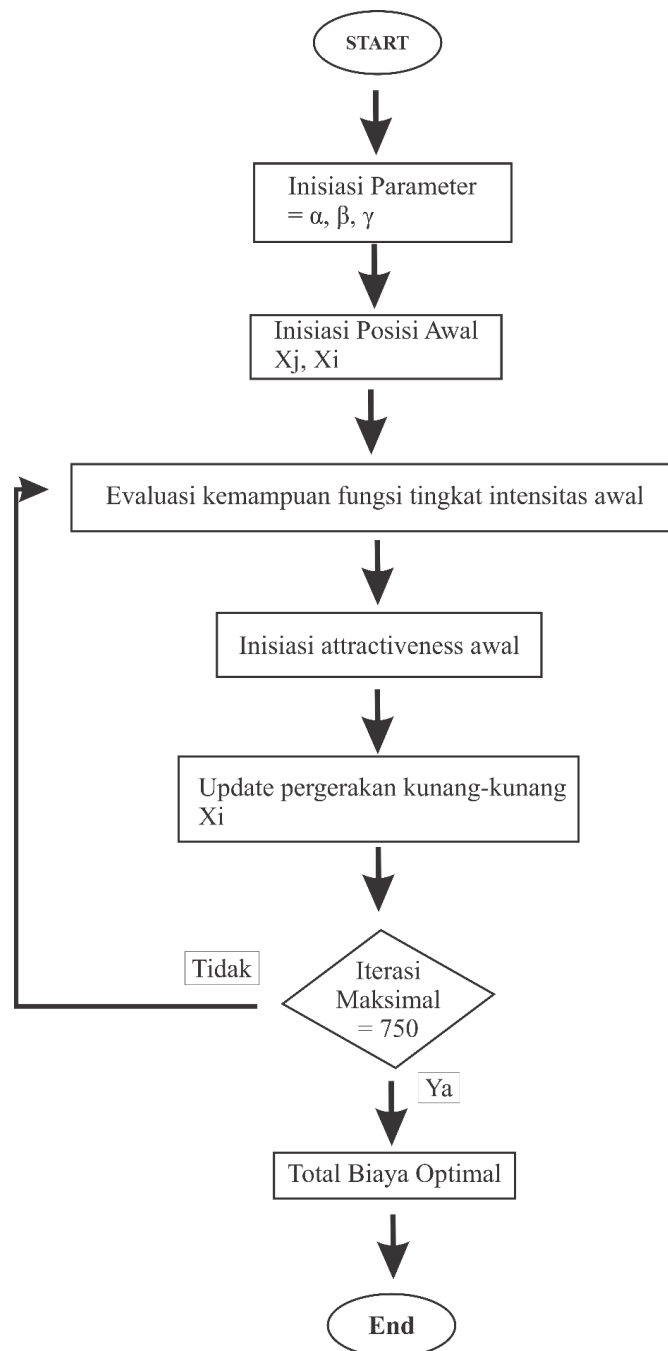
5. Inisiasi *attractiveness* kunang-kunang

Menentukan tingkat cahaya awal dari kunang-kunang dari posisi awal sebelumnya.

6. *Update* pergerakan kunang-kunang

Dengan menggunakan persamaan pergerakan yang ada pada BAB 2, maka dilakukan update pergerakan karena konsep dari algoritme kunang-kunang adalah dengan pergerakan acak.

7. Membandingkan nilai *fitness* yang didapatkan pada tiap kunang-kunang agar mendapatkan nilai yang terbaik. Apabila nilai terbaik sudah didapatkan maka biaya optimal dan program selesai. Namun, jika nilai *fitness* masih dianggap buruk maka pengulangan program akan kembali mengevaluasi tingkat intensitas awal dan dilakukan sampai batas iterasi maksimal dan mendapatkan nilai *fitness* terbaik.
8. Selesai.



Gambar 3.2 Prosedur penerapan algoritme kunang-kunang pada *economic dispatch*

3.3 Implementasi di MATLAB

Software MATLAB dipilih sebagai salah satu sarana untuk membantu perhitungan *economic dispatch* menggunakan algoritme kunang-kunang karena *software* ini dapat menghitung data yang kompleks dan juga berisikan *tools* simulasi yang dapat dimodifikasi dengan mudah. *Software* ini digunakan untuk simulasi perhitungan data dan juga mensimulasikan algoritme kunang-kunang agar mendapatkan nilai biaya pembangkitan yang optimal.

Software MATLAB merupakan sebuah program computer yang dapat membantu memecahkan masalah matematis maupun simulasi yang sering dijumpai dalam bidang teknik. *Software* ini dapat dimanfaatkan untuk mencari solusi dari permasalahan yang biasa sampai ke permasalahan yang kompleks dengan cepat dan mudah. *Software* MATLAB ini dapat menghitung data seperti perhitungan dengan matriks, pencarian akar polynomial, interpolasi dari sejumlah data, pengolahan data dan juga metode numerik.

Salah satu keunggulan dari penggunaan *Software* MATLAB ini adalah dapat menyajikan gambar berupa grafik sehingga dalam penyajian datanya akan lebih kompleks untuk dijabarkan.

3.4 Analisa Hasil

Dalam analisa hasil ini akan membahas apa yang sudah didapatkan dari simulasi penerapan algoritme kunang-kunang untuk perhitungan *economic dispatch* pada MATLAB. Pembahasan tersebut akan meliputi hasil biaya yang paling optimum pada semua unit pembangkit dan juga biaya, daya, serta emisi pada tiap-tiap unit pembangkit.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk memperhitungan biaya yang paling optimal dari data sistem IEEE 24 bus. Metode utama yang digunakan untuk optimisasi adalah algoritme kunang-kunang. Pembahasan ini akan menjelaskan hasil yang didapatkan meliputi biaya total yang paling optimal untuk sistem IEEE 24 bus dan juga biaya pembangkitan serta emisi pada tiap-tiap unit.

4.1 Simulasi *Economic Dispatch* menggunakan Algoritme Kunang-kunang

Data yang sudah didapatkan dari *study literature* pada data sistem IEEE 24 bus akan diolah dengan menggunakan bantuan *software* Matlab untuk mendapatkan perhitungan dengan biaya pembangkitan yang paling optimal.

Langkah pertama yang dilakukan untuk memulai simulasi ini adalah dengan menentukan parameter algoritme kunang-kunang dan juga iterasi yang digunakan. Parameter yang dipakai ditunjukkan pada Tabel 4.1 :

Tabel 4.1. Parameter algoritme kunang-kunang

FF	50
Iterasi	750
α	0.6
β	1.0
γ	0.5

Parameter tersebut digunakan pada semua simulasi Matlab dengan metode algoritme kunang-kunang. Jumlah kunang-kunang yang digunakan tersebut sebesar 50 yang menyatakan jumlah penyimpanan pada perhitungan *economic dispatch*. α merupakan konstanta yang digunakan untuk menghitung kemampuan intensitas cahaya pada setiap kunang-kunang, yang dinyatakan sebesar 0,6. Dimana β dan γ merupakan konstanta yang menyatakan pada *update* pergerakan tiap kunang-kunang dan juga *update* intensitas cahaya tiap masing-masing kunang-kunang.

Penerapan algoritme kunang-kunang pada *economic dispatch* adalah setiap unit pembangkit merupakan sebuah kunang-kunang. Dengan intensitas cahaya pada kunang-kunang yang diinterpretasikan dengan daya pada setiap unit pembangkit maka dapat saling tertarik yang dipengaruhi oleh dekat atau jauhnya jarak. sehingga dari ketertarikan tersebut dapat mempengaruhi seberapa besar daya yang dibangkitkan oleh unit pembangkit. Namun tidak sampai disitu saja, dalam update pergerakan kunang-kunang dalam hal ini unit pembangkit dapat saja berubah-ubah daya yang dihasilkan sesuai dengan iterasi yang digunakan.

4.1.1 Parameter Kelistrikan

Parameter kelistrikan yang digunakan pada penelitian ini ada :

- a. Beban yang harus dipenuhi pada simulasi ini sebesar 54910 MW. Data tersebut didapatkan dari sistem IEEE 24 *bus*. Namun, dalam perhitungan dengan *software* Matlab beban yang digunakan pada setiap jamnya.
- b. Iterasi maksimal yang digunakan sebesar 750. Dipilihnya iterasi sebesar 750 yang bertujuan untuk mendapatkan nilai yang konvergen. Bahwa semakin banyak iterasi yang dilakukan maka kemungkinan mendapatkan nilai *fitness* yang terbaik itu semakin besar.
- c. Unit pembangkit pada sistem IEEE 24 *bus* ada 26 unit pembangkit. Data yang dimiliki ada data koefisien fungsi biaya, batas maksimum dan batas minimum data yang dapat dibangkitkan dan juga koefisien fungsi emisi.

4.2 Perhitungan *Economic Dispatch* dengan Beban Tiap Jam

Data Tabel 4.2 menyajikan biaya total pembangkitan yang didapatkan dari perhitungan kompleks dengan bantuan MATLAB pada data sistem IEEE 24 *bus*. Data biaya total pembangkitan yang disajikan tanpa memperhitungkan kekangan emisi lingkungan dan dengan memperhitungkan kekangan emisi lingkungan. Biaya tersebut hanya biaya bahan bakar pembangkitan yang digunakan pada tiap unit pembangkit.

Pada *economic dispatch* dengan memperhitungkan kekangan emisi CO_2 hal pertama yang harus diperhatikan adalah menentukan batas maksimum emisi CO_2 . Batasan tersebut digunakan agar emisi yang dihasilkan pada pembangkitan tidak melewati batas aman emisi yang diizinkan oleh lingkungan.

Batas maksimum emisi CO_2 dapat ditentukan dengan perhitungan : $me \times total\ beban$ yang diminta pada setiap jamnya. Dari percobaan menggunakan Matlab dapat diketahui nilai koefisien me yang digunakan sebesar 0,683 ton/MW. Artinya emisi yang dihasilkan pada pembangkitan tidak boleh lebih atau harus kurang dari perkalian nilai me dan total beban pada pembangkitan tersebut.

Tabel 4.2 Biaya Total Pembangkitan

Tanpa Kekangan Emisi CO_2				Dengan Kekangan Emisi CO_2			
Jam ke-	Total biaya (\$ x juta)	Daya dibangkitkan (MW)	Emisi (Ton)	Jam ke-	Total biaya (\$ x juta)	Daya dibangkitkan (MW)	Emisi (Ton)
1	40.801	1700	202,34	1	42.075	1700	200,19
2	45.541	1730	205,56	2	46.963	1730	201,79
3	41.211	1690	200,78	3	45.200	1690	196,19
4	39.820	1700	197,35	4	45.255	1700	201,91
5	45.513	1750	204,18	5	48.585	1750	206,39
6	49.123	1850	203,72	6	55.142	1850	200,19
7	54.617	2000	204,14	7	57.830	2000	204,21
8	83.316	2430	217,37	8	90.259	2430	216,68
9	110.632	2540	220,48	9	112.923	2540	219,46
10	95.591	2600	211,47	10	101.672	2600	209,53
11	109.152	2670	212,45	11	111.684	2670	210,67
12	104.583	2590	220,47	12	115.226	2590	218,81
13	94.239	2590	220,89	13	100.183	2590	216,71
14	98.836	2550	226,78	14	102.045	2550	224,99
15	104.173	2620	230,98	15	107.783	2620	227,21
16	111.296	2650	224,19	16	120.127	2650	224,48
17	102.153	2550	223,91	17	109.652	2550	219,28
18	104.514	2530	218,67	18	107.305	2530	216,00
19	88.719	2500	224,78	19	93.049	2500	222,77
20	103.733	2550	216,91	20	105.631	2550	214,94
21	102.003	2600	244,16	21	107.043	2600	243,39
22	89.622	2480	224,94	22	95.633	2480	223,98

Jam ke-	Total biaya (\$ x juta)	Daya dibangkitkan (MW)	Emisi (Ton)	Jam ke-	Total biaya (\$ x juta)	Daya dibangkitkan (MW)	Emisi (Ton)
23	63.438	2200	213,47	23	77.882	2200	211,64
24	51.517	1840	200,99	24	56,658	1840	200,19
Total	1.934.143	54910	5170.98	Total	2.055.805	54910	5131,6

Dari hasil *running* yang didapatkan dengan beban yang digunakan pada setiap jamnya sama, total biaya yang diperoleh dengan memperhitungkan kekangan emisi CO_2 lebih mahal dibandingkan dengan tanpa memperhitungkan kekangan emisi CO_2 . Namun, emisi yang dihasilkan tanpa memperhitungkan kekangan emisi CO_2 juga lebih besar kuantitasnya. Hal tersebut terjadi karena tanpa memperhitungkan kekangan emisi CO_2 , unit-unit pembangkit dengan kuantitas emisi yang lebih besar seperti unit pembangkit berbahan bakar batu bara mensuplay beban terlebih dahulu sehingga emisi yang dihasilkan lebih besar, kemudian disusul dengan unit pembangkit berbahan bakar minyak dengan emisi yang tidak terlalu besar dan terakhir unit pembangkit berbahan bakar nuklir yang menghasilkan emisi CO_2 yang sangat rendah.

Dengan memperhitungkan kekangan emisi lingkungan, skenario yang digunakan dengan batasan emisi yang digunakan maka unit-unit pembangkit dengan kuantitas emisi rendah dinyalakan terlebih dahulu untuk mensuplay beban. Unit pembangkit tersebut seperti yang berbahan bakar nuklir. Unit pembangkit berbahan nuklir menghasilkan kuantitas emisi yang sangat rendah, kemudian unit pembangkit berbahan bakar minyak untuk mensuplay beban selanjutnya karena unit pembangkit ini menghasilkan kuantitas emisi yang cukup besar, dan yang terakhir unit pembangkit berbahan bakar batu bara yang menghasilkan kuantitas emisi yang sangat tinggi maka digunakan untuk mensuplay beban puncak.

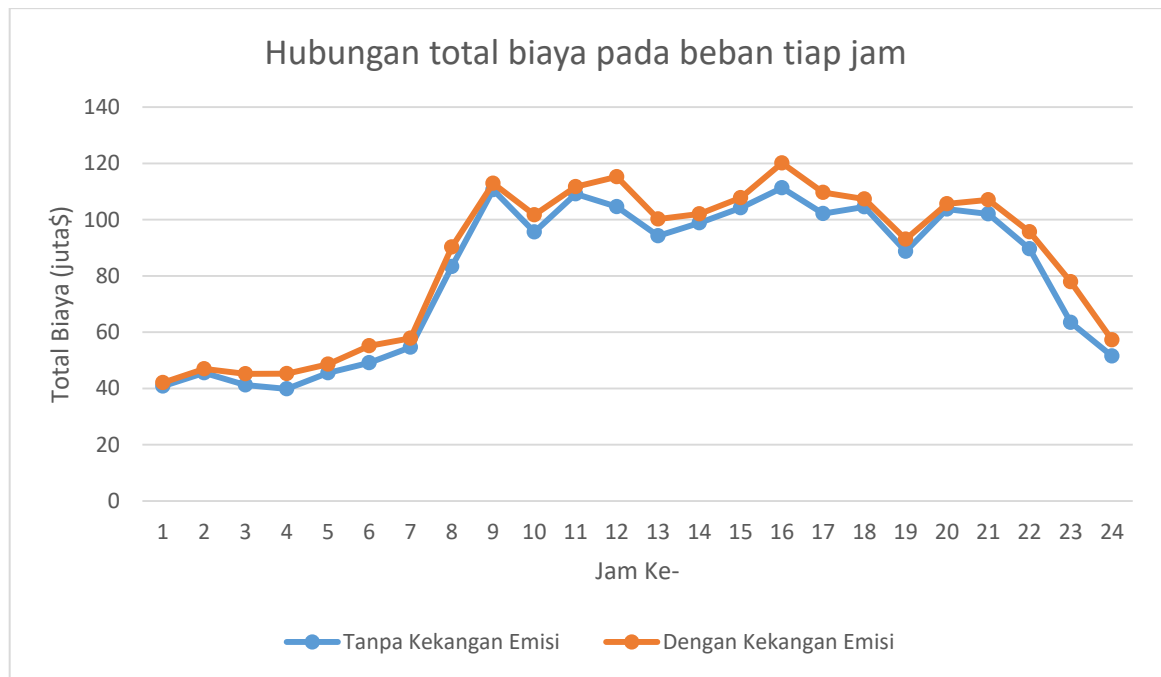
4.3 Simulasi *Economic Dispatch* dengan Beban Tiap Jam

Gambar 4.1 menyajikan data perbandingan perhitungan *economic dispatch* pada beban tiap jam selama 24-jam dengan memperhitungkan kekangan emisi CO_2 dan tanpa memperhitungkan kekangan emisi CO_2 . Data total biaya yang digunakan berdasarkan

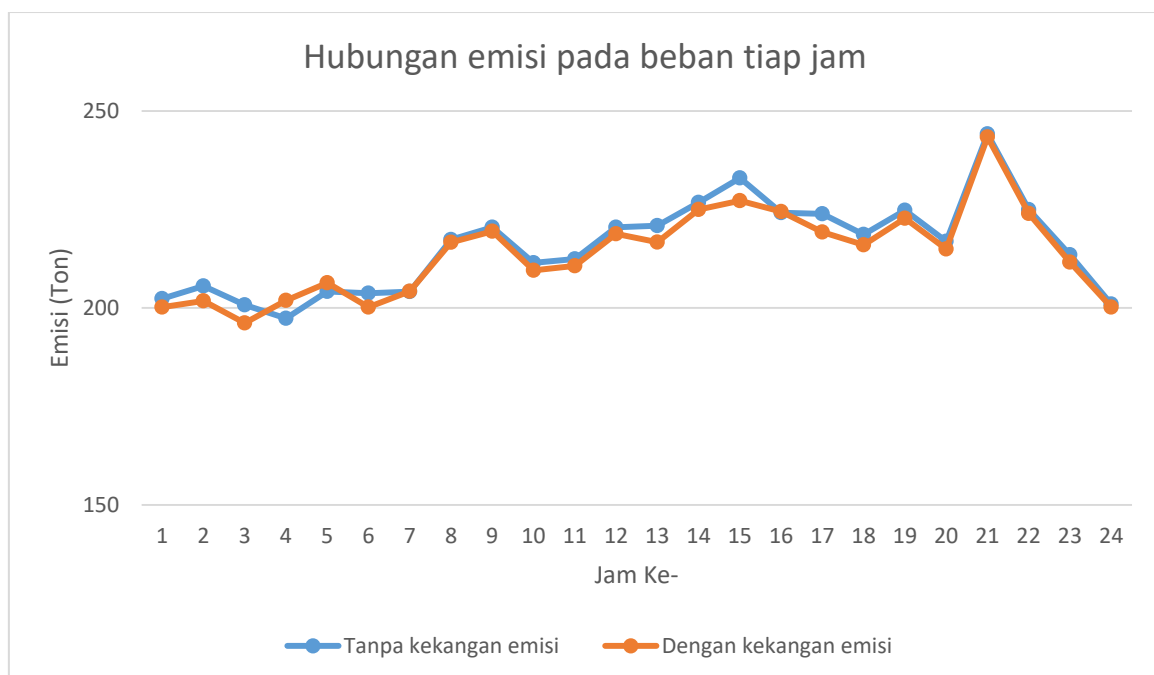
perhitungan yang ditampilkan pada tabel 4.2. data tersebut ditampilkan dalam sebuah simulasi berbentuk grafik.

Gambar 4.1 menjelaskan tentang perbedaan biaya total pembangkitan pada saat perhitungan dengan kekangan emisi CO_2 dan tanpa kekangan emisi CO_2 pada beban tiap jam. Perbedaan total biaya tidak terjadi secara signifikan, hanya terdapat perbedaan sekitar $\pm 0,1\%$ pada setiap total biayanya. Energi yang dibangkitkan dengan beban yang masih dibawah 2000 MW maka total biayanya juga masih sangat minimum dengan nilai biaya total masih dibawah \$50.000.000.000. Namun, apabila beban sudah lebih dari 2000 MW maka biayanya juga langsung naik. Hal tersebut terjadi karena energi dasar yang harus dibangkitkan sudah tidak bisa lagi terpenuhi oleh bahan bakar dengan harga yang murah seperti bahan bakar nuklir dan bahan bakar batubara. Jika menggunakan bahan bakar lainnya seperti bahan bakar minyak maka biayanya langsung naik, karena bahan bakar minyak memiliki biaya operasi yang sangat mahal walaupun respon startnya yang paling cepat.

Oleh karena itu, beberapa hal yang mempengaruhi biaya dalam perhitungan *Economic Dispatch* dengan menggunakan metode optimasi Algoritme kunang-kunang adalah seperti permintaan beban yang berbeda-beda dan juga karakteristik masing-masing unit pembangkit yang meliputi biaya bahan bakar serta biaya pengoperasiannya, waktu start yang digunakan pada tiap unit, dan juga emisi yang dihasilkan oleh masing-masing unit yang berbeda-beda.



Gambar 4.1 Grafik hubungan total biaya pada beban tiap jam



Gambar 4.2 Grafik hubungan emisi pada beban tiap jam

Hasil yang didapatkan dari simulasi MATLAB, maka didapatkan hasil perbandingan emisi menggunakan kekangan dengan tanpa menggunakan kekangan. Emisi tanpa menggunakan kekangan kuantitasnya lebih besar dibandingkan dengan menggunakan kekangan. Hal tersebut terjadi karena unit pembangkit yang dinyalakan untuk

mensuplay beban dasar menggunakan unit pembangkit yang berbahan bakar dengan emisi yang besar. Namun, pada jam ke-4 dan ke-5 emisi yang dihasilkan lebih rendah apabila dibandingkan dengan memperhitungkan kekangan. Hal tersebut terjadi karena nilai koefisien c lebih besar dibandingkan dengan koefisien pada unit pembangkit lainnya.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil simulasi perhitungan *economic dispatch* menggunakan algoritme kunang-kunang dengan menggunakan *software* MATLAB maka dapat ditarik kesimpulan :

1. Perhitungan *economic dispatch* dengan menggunakan algoritme kunang-kunang dipengaruhi oleh konstanta intensitas cahaya setiap kunang-kunang dan juga konstanta untuk *update* pergerakan kunang-kunang. Dari hasil perhitungan dengan bantuan *software* Matlab maka didapatkan hasil tanpa memperhitungkan kekangan emisi CO_2 , biaya total pembangkitan selama 24 jam sebesar \$1.934.143 juta, dengan kuantitas emisi sebesar 5170,98 ton dan beban yang di *suplay* sebesar 54910 MW.
2. Pada *economic dispatch* dengan memperhitungkan emisi CO_2 biaya yang diperlukan sebesar \$2.055.805 juta. Emisi CO_2 yang dihasilkan sebanyak 5131,6 ton. Dari hasil pembangkitan selama 24 jam tersebut maka dapat dilihat bahwa dengan memperhitungkan kekangan emisi CO_2 , biaya total pembangkitan lebih mahal dibandingkan dengan tanpa memperhitungkan kekangan emisi CO_2 . Namun emisi yang dihasilkan lebih rendah yang dengan menggunakan kekangan emisi CO_2 . Dari simulasi yang dilakukan dapat diketahui bahwa emisi terbesar yang dihasilkan dari pembangkitan adalah dari bahan bakar batu bara, disusul dengan bahan bakar minyak, kemudian bahan bakar nuklir, dan yang terakhir yang paling ramah lingkungan dengan emisi CO_2 yang paling minimal adalah bahan bakar nuklir.

5.2 Saran

1. Untuk mengembangkan pengetahuan pada penelitian kedepannya, sebaiknya dapat mempertimbangkan ketidakpastian sistem.
2. Dengan menggunakan *software* yang sama, sebaiknya program untuk data yang digunakan dan program utamanya dapat dipisahkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Jebaraj, C. Venkatesan, I. Soubache, and C. Christober, “Application of Differential Evolution Algorithm in Static and Dynamic Economic or Emission Dispatch Problem : A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 77, no. October 2015, pp. 1206–1220, 2017.
- [2] S. Komsiyah, “Optimisasi Economic Dispatch dengan Transmission Loss Menggunakan Metode Extended Lagrange Multiplier dan Gaussian Particle Swarm Optimization (GPSO),” *ComTech.*, vol.1, no. 2pp. 259–271,2015.
- [3] R. S. Ibrahim, R. S. Wibowo, and A. Musthofa, “Economic Load Dispatch Unit Pembangkit Termal Mempertimbangkan Penambahan Pembangkit Tenaga Angin dengan Menggunakan Firefly Algorithm,” *jurnal Teknik ITS*, vol. 6, no. 1, 2017.
- [4] T. Dewantoro, R. S. Wibowo, and A. Suprijanto, “Security Constrained Unit Commitment Menggunakan Metode Firefly Algorithm”, *Proseding SENTIA 2016*, vol. 8, pp. 1–6, 2016.
- [5] X. Yang, S. Soheil, S. Hosseini, and A. Hossein, “Firefly Algorithm for Solving Non-convex Economic Dispatch Problems with Valve Loading Effect,” *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 12, no. 3, pp. 1180–1186, 2012.
- [6] F. N. Budiman, Sarjiya, dan M. Isnaeni, “Penjadwalan Unit Pembangkit Termal dengan Memperhitungkan Kekangan Emisi Lingkungan dan Ketidakpastian Sistem” , Skripsi Universitas Gadjah Mada, 2009.
- [7] J. H. Van Sickel, K. Y. Lee, and J. S. Heo, “Differential Evolotion and Its Appliacations to Power Plant Control,” *International Conference on Intellegent Systems Aplications to Power Systems* , no. 2, pp. 560–565, 2007.

LAMPIRAN 1

Data Sistem IEEE 24 bus

Sistem yang digunakan adalah *IEEE Reliability Test System 1979*, yang terdiri dari 24 bus dan 26 unit pembangkit termal. Data sistem didapatkan dari *IEEE Transaction on Power System*, Vol. 10, No. 3, August 1995, *Short-Term Generation Scheduling with Trnasmision and Environmental Constrains Using an Augmented Lagrangian Relaxation*, dengan tambahan data berupa tipe dan bahan bakar masing-masing unit, serta harga bahan bakar dari *Reliability Assesment of Electrical Power System using Monte Carlo Methods* (Roy Billinton, Wenyan Li, 1994, New York : Plenum Press). Data *CO₂ emission factor* didapatkan dari http://www.ee.washington.edu/research/pstca/rts/pg_tcarts.html

Tabel A.1 Data Pembangkit dan parameter operasi 26 unit termal sistem IEEE 24 bus

Unit	Tipe	Bahan Bakar	Pmin (MW)	Pmax (MW)	Koefisien fungsi biaya		
					c (\$/MW ² h)	b (\$/MWh)	a (\$/h)
1	Fossil Steam	#6 oil	2,4	12	0,02533	25,5472	24,3891
2			2,4	12	0,02649	25,6753	24,4110
3			2,4	12	0,02801	25,8027	24,6382
4			2,4	12	0,02841	25,9318	24,7605
5			2,4	12	0,12855	26,0611	24,8882
6	Combustion Steam	#2 oil	4	20	0,01199	37,5510	117,7551
7			4	20	0,01261	37,6637	118,1083
8			4	20	0,01359	37,7770	118,456
9			4	20	0,01433	37,8896	118,8206
10	Fossil Steam	Coal	15,2	76	0,00876	13,3272	81,1364
11			15,2	76	0,00895	13,3538	81,2980
12			15,2	76	0,00910	13,3805	81,4641
13			15,2	76	0,00932	13,4073	81,6259
14	Fossil Steam	#6 oil	25	100	0,00623	18,0000	217,8952
15			25	100	0,00612	18,1000	218,3350
16			25	100	0,00598	18,2000	218,7752
17	Fossil Steam	Coal	54,25	155	0,00463	10,6940	142,7348
18			54,25	155	0,00473	10,7154	143,0288
19			54,25	155	0,00481	10,7367	143,3179
20			54,25	155	0,00487	10,7583	143,5972
21	Fossil Steam	# 6 oil	68,95	197	0,00259	23,0000	259,6490
22			68,95	197	0,00260	23,1000	259,6490
23			68,95	197	0,00263	23,2000	260,1760
24	Fossil Steam	Coal	140	350	0,00153	10,8616	177,0575
25	Nuclear Steam	LWR	100	400	0,00194	7,4921	310,0021
26			100	400	0,00195	7,5031	311,9102

Tabel A.1 (lanjutan)

Unit	Harga Bahan Bakar (\$/Mbtu)	Factor Emisi CO_2 (lb/Mbtu)	Koefisien fungsi Emisi CO_2		
			Z (ton/ MW^2h)	Y (ton/MWh)	X (ton/h)
1	2,3	170	0,0008	0,8565	0,8177
2	2,3	170	0,0009	0,8608	0,8184
3	2,3	170	0,0009	0,8651	0,8260
4	2,3	170	0,0010	0,8694	0,8301
5	2,3	170	0,0010	0,8737	0,8344
6	3	160	0,0003	0,9084	2,8487
7	3	160	0,0003	0,9111	2,8572
8	3	160	0,0003	0,9239	2,8657
9	3	160	0,0003	0,9166	2,8745
10	1,2	210	0,0007	1,0579	6,4405
11	1,2	210	0,0007	1,0600	6,4533
12	1,2	210	0,0007	1,0621	6,4665
13	1,2	210	0,0007	1,0643	6,4794
14	2,3	170	0,0002	0,6035	7,3052
15	2,3	170	0,0002	0,6068	7,3200
16	2,3	170	0,0002	0,6102	7,3347
17	1,2	210	0,0004	0,8489	11,3301
18	1,2	210	0,0004	0,8506	11,3534
19	1,2	210	0,0004	0,8523	11,3764
20	1,2	210	0,0004	0,8540	11,3986
21	2,3	170	0,0001	0,7711	8,6877
22	2,3	170	0,0001	0,7745	8,7051
23	2,3	170	0,0001	0,7778	8,7228
24	3	210	0,0001	0,8622	14,0546
25	0,6	-	0,000005	0,04311	0,70273
26	0,6	-	0,000005	0,04311	0,70273

Data beban selama 24 jam yang didapatkan dari *IEEETransaction on Power Sistem, Vol. 21, No. 4, November 2006, Reliability Constrained Unit Commitment Using Simulated Annealing* dan tertampil pada Tabel A.2.

Tabel A.2 Data beban selama 24-jam untuk sistem IEEE 24 bus

Jam ke	Beban (MW)	Jam ke	Beban (MW)
1	1700	13	2590
2	1730	14	2550
3	1690	15	2620
4	1700	16	2650
5	1750	17	2550
6	1850	18	2530
7	2000	19	2500
8	2430	20	2550
9	2540	21	2600
10	2600	22	2480
11	2670	23	2200
12	2590	24	1840

LAMPIRAN 2

Pada Lampiran 2 akan ditampilkan hasil perhitungan *economic dispatch* dengan memperhitungkan kekangan emisi lingkungan CO_2 dengan data yang ditampilkan berupa total biaya, daya yang dibangkitkan, serta kuantitas emisi yang dihasilkan pada setiap unit pembangkit dengan beban selama 24 jam yang berbeda-beda.

1. Beban 1700 MW

Tanpa Kekangan emisi CO_2				Dengan Kekangan emisi CO_2			
Unit ke-	Biaya (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)	Unit ke-	Total (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)
1	2.0181	2,4	2,9443	1	2.0181	2,4	2,8879
2	2.0225	2,4	2,9563	2	2.0225	2,4	2,8895
3	2.0387	2,4	2,9745	3	2.0387	2,4	2,9074
4	2.0488	2,4	2,9899	4	2.0488	2,4	2,9224
5	2.0593	2,4	3.0048	5	2.3419	2,5882	2,9370
6	2.2873	4,2507	5,1008	6	2.1965	4,1624	5,0306
7	2.2215	4,1804	5,1160	7	2.0404	4	5,0456
8	2.0326	4	5,1314	8	2.0464	4	5,0608
9	2.0527	4	5,1469	9	2.0527	4	5,0761
10	1.8948	15,2	9,0654	10	1.8948	15,2	8,9835
11	1.8986	15,2	9,0834	11	1.8986	15,2	9,0013
12	2.2715	16,6164	9,1018	12	1.9025	15,2	9,0196
13	1.9063	14,2	9,1202	13	1.9063	15,2	9,0378
14	1.3663	25	8,8014	14	1.3663	25	8,7548
15	1.3691	25	8,8244	15	1.3691	25	8,7775
16	1.3719	25	8,8475	16	1.3719	25	8,8003
17	4.2066	54,25	13,4354	17	4.2066	54,25	13,3698
18	4.2152	54,25	13,4629	18	4.2152	54,25	13,3971
19	4.2238	54,25	13,4902	19	4.2238	54,25	13,4242
20	4.2320	54,25	13,5166	20	4.2320	54,25	14,4505
21	1.2335	68,95	10,5985	21	1.2335	68,95	10,5389
22	1.2360	68,95	10,6243	22	1.2360	68,95	10,5645
23	1.2385	68,95	10,6502	23	1.2385	68,95	10,5901
24	3.4718	140	16,1910	24	3.4718	140	16,1245
25	3.1008	100	0,8096	25	5.3966	131,92	0,8062
26	3.1199	100	0,8096	26	3.1199	100	0,8062

Total	40.801	1700	202,34	Total	42.075	1700	200,19
-------	--------	------	--------	-------	--------	------	--------

2. Beban 1730 MW

Tanpa Kekangan emisi CO ₂				Dengan Kekangan emisi CO ₂			
Unit ke-	Biaya (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)	Unit ke-	Total (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)
1	2.0181	2,4	2,8779	1	2.1297	2,4772	2,9443
2	2.0225	2,4	2,8895	2	2.0225	2,4	2,9563
3	2.0380	2,4	2,9074	3	2.0387	2,4	2,9745
4	2.0488	2,4	2,9224	4	2.0488	2,4	2,9899
5	2.0593	2,4	2,9370	5	2.0593	2,4	3.0048
6	2.0343	4	5,0306	6	2.0343	4	5,1008
7	2.0404	4	5,0456	7	2.0404	4	5,1160
8	2.0464	4	5,0608	8	2.0464	4	5,1314
9	2.0527	4	5,0761	9	2.0527	4	5,1469
10	2.3940	17,7957	9,9835	10	1.8948	15,2	9,0654
11	2.2593	16,5883	9,0013	11	1.8986	15,2	9,0834
12	2.6037	17,7957	9,0196	12	1.9025	15,2	9,1018
13	1.9063	15,2	9,0378	13	1.9739	15,4687	9,1202
14	1.3663	25	8,7548	14	1.3663	25	8,8014
15	1.4295	25,5465	8,7775	15	1.3686	25	8,8244
16	1.3719	25	8,8003	16	1.3719	25	8,8475
17	4.2066	54,25	13,3698	17	4.2066	54,25	13,4354
18	4.2152	54,25	13,3971	18	4.2152	54,25	13,4629
19	4.2238	54,25	13,4242	19	4.2238	54,25	13,4902
20	4.2320	54,25	13,4505	20	4.2320	54,25	13,5166
21	1.2335	68,95	10,5389	21	1.2335	68,95	10,5985
22	1.2360	68,95	10,5645	22	1.2360	68,95	10,6243
23	1.2385	68,95	10,5901	23	1.2315	68,95	10,6502
24	3.4718	140	16,1245	24	3.4718	140	16,1910
25	3.1008	100	0,8062	25	3.1008	100	0,8096
26	3.1067	100	0,8062	26	3.4547	105,53	0,8096
Total	45.541	1730	205,56	Total	46.963	1730	201,79

3. Beban 1690 MW

Tanpa Kekangan emisi CO ₂	Dengan Kekangan emisi CO ₂
--------------------------------------	---------------------------------------

Unit ke-	Biaya (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)	Unit ke-	Total (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)
1	2.0181	2,4	2,8779	1	2.0181	2,4	2,8779
2	2.0225	2,4	2,8895	2	2.0225	2,4	2,8895
3	2.0387	2,4	2,9074	3	2.0387	2,4	2,9074
4	2.0488	2,4	2,9224	4	2.0488	2,4	2,9224
5	2.0593	2,4	2,9370	5	2.0593	2,4	2,9370
6	2.0343	4	5,0306	6	2.0343	4	5,0306
7	2.0404	4	5,0456	7	2.0404	4	5,0456
8	2.0464	4	5,0608	8	2.0464	4	5,0608
9	2.2491	4,1941	5,0761	9	2.0527	4	5,0761
10	1.8948	15,2	8,9835	10	1.8948	15,2	9,9835
11	1.9140	15,2618	9,0013	11	1.8986	15,2	9,0013
12	1.8933	15,2	9,0196	12	1.9025	15,2	9,0196
13	2.5541	17,6072	9,0378	13	1.9063	15,2	9,0378
14	1.3663	25	8,7548	14	1.3663	25	8,7548
15	1.3691	25	8,7775	15	1.3691	25	8,7775
16	1.3719	25	8,8003	16	1.3469	25	8,8003
17	4.2066	54,25	13,3698	17	4.2066	54,25	13,3698
18	4.2152	54,25	13,3971	18	4.2152	54,25	13,3971
19	4.2238	54,25	13,4242	19	4.2238	54,25	13,4242
20	4.2320	54,25	14,4505	20	4.2320	54,25	13,4505
21	1.2335	68,95	10,5389	21	1.2335	68,95	10,5389
22	1.2360	68,95	10,5645	22	1.2360	68,95	10,5645
23	1.2385	68,95	10,5901	23	1.2385	68,95	10,5901
24	3.4718	140	16,1245	24	3.4718	140	16,1245
25	3.1008	100	0,8062	25	3.1008	100	0,8062
26	3.7847	110,14	0,8062	26	3.1199	100	0,8062
Total	41.211	1690	200,78	Total	45.200	1690	196.19

4. Beban 1700 MW

Tanpa Kekangan emisi CO ₂				Dengan Kekangan emisi CO ₂			
Unit ke-	Biaya (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)	Unit ke-	Total (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)
1	2.0181	2,4	3,1349	1	2.0181	2,4	2,8779
2	2.0225	2,4	3,1479	2	1.9731	2,4	2,8895
3	2.0387	2,4	3,1671	3	2.0387	2,4	2,9074
4	2.0488	2,4	3,1836	4	2.0488	2,4	2,9224

5	2.0593	2,4	3,1995	5	2.0593	2,4	2,9370
6	2.0343	4	5,3023	6	2.0343	4	5,0306
7	2.0404	4	5,3181	7	2.0404	4	5,0456
8	2.3419	4,2898	5,3342	8	2.0464	4	5,0608
9	2.0527	4	5,3502	9	2.0527	4	5,0761
10	1.8948	15,2	9,3005	10	1.8948	15,2	8,9835
11	1.9142	15,2627	9,3189	11	1.8986	15,2	9,0013
12	1.9025	15,2	9,3378	12	1.9025	15,2	9,0196
13	1.9063	15,2	9,3566	13	1.9063	15,2	9,0378
14	1.3663	25	8,9353	14	1.3663	25	8,7548
15	1.3691	25	8,9590	15	1.4862	26,0484	8,7775
16	1.3719	25	8,9829	16	1.3719	25	8,8003
17	4.2066	54,25	13,6239	17	4.1461	54,25	13,3698
18	4.2136	54,25	13,6518	18	4.2152	54,25	13,3971
19	4.2238	54,25	13,6794	19	4.2238	54,25	13,4242
20	4.2320	54,25	14,7061	20	4.2320	54,25	14,4505
21	1.2335	68,95	10,7693	21	1.2335	68,95	10,5389
22	1.2360	68,95	10,7959	22	1.2360	68,95	10,5645
23	1.2385	68,95	10,8225	23	1.2385	68,95	10,5901
24	3.4718	140	16,3821	24	3.4718	140	16,1245
25	3.1008	100	0,8191	25	3.1008	100	0,8062
26	3.1199	100	0,8191	26	3.1199	100	0,8062
Total	39.820	1700	197.35	Total	45.255	1700	201.91

5. Beban 1750 MW

Tanpa Kekangan emisi CO ₂				Dengan Kekangan emisi CO ₂			
Unit ke-	Biaya (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)	Unit ke-	Total (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)
1	2.0181	2,4	2,8779	1	2.0181	2,4	3,1349
2	2.0075	2,4	2,8895	2	1.9731	2,4	3,1479
3	2.0387	2,4	2,9074	3	2.0387	2,4	3,1671
4	2.0488	2,4	2,9224	4	2.0488	2,4	3,1836
5	2.0593	2,4	2,9370	5	2.0593	2,4	3,1995
6	2.0343	4	5,0306	6	2.0343	4	5,3023
7	2.0404	4	5,0456	7	2.0404	4	5,3181
8	2.0464	4	5,0608	8	2.0464	4	5,3342
9	2.0527	4	5,0761	9	2.0527	4	5,3502
10	1.8948	15,2	8,9835	10	1.8948	15,2	9,3005

11	1.8986	15,2	9,0013	11	1.8986	15,2	9,3189
12	2.1533	16,1760	9,0196	12	1.9025	15,2	9,3378
13	1.9063	15,2	9,0378	13	1.9063	15,2	9,3566
14	1.3663	25	8,7548	14	1.3663	25	8,9353
15	1.3691	25	8,7775	15	1.4862	26,0484	8,9590
16	1.3719	25	8,8003	16	1.3719	25	8,9829
17	4.2066	54,25	13,3698	17	4.1461	54,25	13,6239
18	4.2152	54,25	13,3971	18	4.2152	54,25	13,6518
19	4.2238	54,25	13,4242	19	4.2238	54,25	13,6794
20	4.2320	54,25	14,4505	20	4.2320	54,25	14,7061
21	1.2335	68,95	10,5389	21	1.2335	68,95	10,7693
22	1.2360	68,95	10,5645	22	1.2360	68,95	10,7959
23	1.2385	68,95	10,5901	23	1.2385	68,95	10,8225
24	3.4718	140	16,1245	24	3.4718	140	16,3821
25	3.1008	100	0,8062	25	3.1008	100	0,8191
26	3.1199	100	0,8062	26	3.1199	100	0,8191
Total	45.513	1750	204.18	Total	48.585	1750	206,39

6. Beban 1850 MW

Tanpa Kekangan emisi CO ₂				Dengan Kekangan emisi CO ₂			
Unit ke-	Biaya (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)	Unit ke-	Total (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)
1	2.5988	2,7821	2,8787	1	2.0181	2,4	2,8779
2	2.0225	2,4	2,8903	2	2.0225	2,4	2,8895
3	2.0542	2,4108	2,9083	3	2.0387	2,4	2,9074
4	2.0488	2,4	2,9233	4	2.3008	2,5691	2,9224
5	2.5501	2,7198	2,9379	5	2.0593	2,4	2,9370
6	2.6625	4,5983	5,0315	6	2.0343	4	5,0306
7	2.0404	4	5,0456	7	2.0404	4	5,0456
8	2.6332	4,5580	5,0617	8	2.1612	4,1149	5,0608
9	2.0527	4	5,0769	9	2.0933	4,0409	5,0761
10	2.2097	16,4209	8,9845	10	1.1104	16,0457	8,9835
11	1.8986	15,2	9,0023	11	1.8986	15,2	9,0013
12	1.9025	15,2	9,0206	12	2.0946	15,9530	9,0196
13	1.9063	15,2	9,0388	13	1.9063	15,2	9,0378
14	1.3663	25	8,7553	14	1.3663	25	8,7548
15	1.3691	25	8,7781	15	1.3691	25	8,7775
16	1.3719	25	8,8009	16	1.3719	25	8,8003

17	4.2066	54,25	13,3706	17	4.2066	54,25	13,3698
18	4.2152	54,25	13,3980	18	4.2152	54,25	13,3971
19	4.2238	54,25	13,4250	19	4.2238	54,25	13,4242
20	4.2320	54,25	14,4513	20	4.2320	54,25	14,4505
21	1.2335	68,95	10,5397	21	1.3986	73,4206	10,5389
22	1.2360	68,95	10,5652	22	1.2360	68,95	10,5645
23	1.2385	68,95	10,5908	23	1.2385	68,95	10,5901
24	3.5447	141,46	16,1253	24	3.4718	140	16,1245
25	3.3735	104,30	0,8063	25	3.7669	110,22	0,8062
26	3.1199	100	0,8063	26	3.9521	112,55	0,8062
Total	49.123	1850	203.72	Total	55.142	1850	200.19

7. Beban 2000 MW

Tanpa Kekangan emisi CO ₂				Dengan Kekangan emisi CO ₂			
Unit ke-	Biaya (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)	Unit ke-	Total (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)
1	2.0901	2,45	3,5613	1	2.0195	2,4010	2,8787
2	2.0225	2,4	3,5768	2	2.1766	2,5059	2,8903
3	2.0387	2,4	3,5981	3	2.0577	2,4132	2,9083
4	2.0488	2,4	3,6170	4	2.1302	2,4557	2,9233
5	2.0593	2,4	3,6350	5	2.4694	2,6694	2,9379
6	2.1305	4,0971	5,7530	6	2.0343	4	5,0315
7	2.4273	4,3767	5,7701	7	2.0404	4	5,0456
8	2.0464	4	5,7876	8	2.0464	4	5,0617
9	2.0527	4	5,8050	9	2.0527	4	5,0769
10	1.8948	15,2	9,8263	10	2.1284	16,1146	8,9845
11	1.8986	15,2	9,8469	11	2.3866	17,0516	9,0023
12	2.5212	17,5103	9,8658	12	1.9025	15,2	9,0206
13	1.9063	15,2	9,8857	13	2.1117	16,0025	9,0388
14	1.3663	25	9,2347	14	1.8511	25	8,7553
15	1.3691	25	9,2600	15	1.3691	28,5560	8,7781
16	1.3719	25	9,2856	16	1.7892	25	8,8009
17	4.2066	54,25	14,0454	17	4.2066	54,25	13,3706
18	4.4141	55,5160	14,0741	18	4.9024	58,5081	13,3980
19	4.5179	56,1086	14,1025	19	4.2238	54,25	13,4250
20	4.2320	54,25	14,1302	20	4.2320	54,25	14,4513
21	1.2335	68,95	11,1514	21	1.2335	68,95	10,5397
22	1.2360	68,95	11,1797	22	1.2360	68,95	10,5652

23	1.3873	72,9780	11,2079	23	1.2385	68,95	10,5908
24	3.4718	140	16,8093	24	3.4718	140	16,1253
25	3.9240	112,49	0,8405	25	3.7791	110,39	0,8063
26	3.3397	103,46	0,8405	26	4.2056	116,10	0,8063
Total	54.617	2000	204,14	Total	57.830	2000	204,19

8. Beban 2430 MW

Tanpa Kekangan emisi CO ₂				Dengan Kekangan emisi CO ₂			
Unit ke-	Biaya (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)	Unit ke-	Total (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)
1	3.0633	3,0586	3,6313	1	3.3039	3,1938	3,5613
2	2.7191	2,8527	3,9868	2	3.7989	3,4596	3,5768
3	3,5934	3,3614	4,1281	3	3.2528	3,1473	3,5981
4	2.9772	2,9839	3,9170	4	3.0104	3,0084	3,6170
5	3.2412	3,1230	3,9350	5	2.4326	2,6462	3,6350
6	3.7975	5,5280	6,2530	6	2.4532	4,4077	5,7530
7	2.8394	4,7462	6,1701	7	2.8902	4,7899	5,7701
8	2.7176	4,6330	5,9876	8	2.9761	4,8554	5,7876
9	2.7989	4,6966	6,1050	9	3.2382	5,0738	5,8050
10	3.0040	19,1598	9,9263	10	3.2117	19,9600	9,8263
11	2.7143	18,5363	9,933	11	2.6675	18,0974	9,8469
12	2.8239	18,5363	9,9818	12	4.4001	23,4415	9,8658
13	3.2947	20,0109	9,9137	13	4.1869	22,5663	9,8857
14	2.1831	31,6119	9,8117	14	1.6785	27,7135	9,2347
15	2.6376	34,7153	9,6130	15	1.6003	27,0320	9,2600
16	2.8072	35,8452	9,9242	16	1.7491	28,2335	9,2856
17	7.5103	72,5002	15,0454	17	6.5415	67,7881	14,0454
18	6.7253	68,5357	14,8741	18	5.6754	62,9544	14,0741
19	6.3795	66,6951	14,9025	19	6.2530	66,0156	14,1025
20	5.5815	62,3304	14,7302	20	6.0224	64,7232	14,1302
21	19.8256	87,4496	11,9324	21	29.689	107,43	11,1514
22	28.734	107,55	11,5257	22	18.729	85,0291	11,1797
23	18.010	83,2278	11,7019	23	21.889	91,6792	11,2079
24	5.5394	176,77	17,2103	24	6.1457	187,65	16,8093
25	6.6680	147,14	0,8487	25	8.7588	168,07	0,8405
26	4.9023	125,98	0,8487	26	7.4940	156,88	0,8405
Total	83.316	2430	217,37	Total	90.259	2430	216,68

9. Beban 2540 MW

Tanpa Kekangan emisi CO ₂				Dengan Kekangan emisi CO ₂			
Unit ke-	Biaya (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)	Unit ke-	Total (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)
1	3.1618	3,1222	3,6313	1	3.5507	3,3275	3,6766
2	5.1875	4,1138	3,9868	2	3.8470	3,4809	3,6927
3	4.9369	3,9972	4,1281	3	3.7189	3,4108	3,7146
4	4.0447	3,5517	3,9170	4	3.7761	3,4578	3,7341
5	4.0168	3,5278	3,9350	5	4.2357	3,6551	3,7527
6	4.5119	6,0842	6,2530	6	3.4842	5,2872	5,8747
7	3.4431	5,2421	6,1701	7	3.8140	5,5225	5,8922
8	4.0414	5,6856	5,9876	8	3.9960	5,6653	5,9100
9	4.4402	5,9557	6,1050	9	5.4305	6,6433	5,9278
10	5.2887	25,4489	9,9263	10	2.9957	19,1331	9,9687
11	2.9247	19,1833	9,933	11	3.8438	22,2168	9,9882
12	4.3583	23,2710	9,9818	12	3.2525	20,2419	10,0084
13	2.7766	18,4554	9,9137	13	3.6189	20,9773	10,0286
14	1.9014	29,4986	9,8117	14	3.5482	40,7697	9,3156
15	2.4953	33,7647	9,6130	15	2.3876	33,5956	9,3413
16	2.7359	35,3215	9,9242	16	2.5862	34,4331	9,3673
17	6.7548	68,7548	15,0454	17	7.6877	74,1851	14,1592
18	8.2821	76,4439	14,8741	18	6.9746	69,8035	14,1882
19	6.0178	64,7616	14,9025	19	9.9418	83,2506	14,2168
20	7.9762	74,732	14,7302	20	9.6351	81,8761	14,2447
21	2.5566	99,3173	11,9324	21	2.4287	97,0344	11,2546
22	2.7397	102,71	11,5257	22	2.1430	90,8165	11,2833
23	1.8342	84,3474	11,7019	23	2.0621	88,9830	11,3120
24	7.7502	209,25	17,2103	24	6.2445	187,79	16,9247
25	8.8813	171,96	0,8487	25	5.9755	139,24	0,8462
26	7.8745	159,43	0,8487	26	6.2057	143,45	0,8462
Total	110.632	2540	220,48	Total	112.923	2540	219,46

10. Beban 2600 MW

Tanpa Kekangan emisi CO ₂				Dengan Kekangan emisi CO ₂			
Unit ke-	Biaya (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)	Unit ke-	Total (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)

1	3.0633	3,0586	3,6313	1	3.3039	3,1938	3,5613
2	2.7191	2,8527	3,9868	2	3.7989	3,4596	3,5768
3	3.5934	3,3614	4,1281	3	3.2528	3,1473	3,5981
4	2.9772	2,9839	3,9170	4	3.0104	3,0084	3,6170
5	3.2412	3,1230	3,9350	5	2.4326	2,6462	3,6350
6	3.7975	5,5280	6,2530	6	2.4532	4,4077	5,7530
7	2.8394	4,7462	6,1701	7	2.8902	4,7899	5,7701
8	2.7176	4,6330	5,9876	8	2.9761	4,8554	5,7876
9	2.7989	4,6966	6,1050	9	3.2382	5,0738	5,8050
10	3.0040	19,1598	9,9263	10	3.2117	19,9600	9,8263
11	2.7143	18,5363	9,933	11	2.6675	18,0974	9,8469
12	2.8239	18,5363	9,9818	12	4.4001	23,4415	9,8658
13	3.2947	20,0109	9,9137	13	4.1869	22,5663	9,8857
14	2.1831	31,6119	9,8117	14	1.6785	27,7135	9,2347
15	2.6376	34,7153	9,6130	15	1.6003	27,0320	9,2600
16	2.8072	35,8452	9,9242	16	1.7491	28,2335	9,2856
17	7.5103	72,5002	15,0454	17	6.5415	67,7881	14,0454
18	6.7253	68,5357	14,8741	18	5.6754	62,9544	14,0741
19	6.3795	66,6951	14,9025	19	6.2530	66,0156	14,1025
20	5.5815	62,3304	14,7302	20	6.0224	64,7232	14,1302
21	19.8256	87,4496	11,9324	21	29.689	107,43	11,1514
22	28.734	107,55	11,5257	22	18.729	85,0291	11,1797
23	18.010	83,2278	11,7019	23	21.889	91,6792	11,2079
24	5.5394	176,77	17,2103	24	6.1457	187,65	16,8093
25	6.6680	147,14	0,8487	25	8.7588	168,07	0,8405
26	4.9023	125,98	0,8487	26	7.4940	156,88	0,8405
Total	95.591	2600	211,47	Total	101.672	2600	209,53

11. Beban 2670 MW

Tanpa Kekangan emisi CO ₂				Dengan Kekangan emisi CO ₂			
Unit ke-	Biaya (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)	Unit ke-	Total (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)
1	3.0633	3,0586	3,6313	1	3.3039	3,1938	3,5613
2	2.7191	2,8527	3,9868	2	3.7989	3,4596	3,5768
3	3.5934	3,3614	4,1281	3	3.2528	3,1473	3,5981
4	2.9772	2,9839	3,9170	4	3.0104	3,0084	3,6170
5	3.2412	3,1230	3,9350	5	2.4326	2,6462	3,6350
6	3.7975	5,5280	6,2530	6	2.4532	4,4077	5,7530

7	2.8394	4,7462	6,1701	7	2.8902	4,7899	5,7701
8	2.7176	4,6330	5,9876	8	2.9761	4,8554	5,7876
9	2.7989	4,6966	6,1050	9	3.2382	5,0738	5,8050
10	3.0040	19,1598	9,9263	10	3.2117	19,9600	9,8263
11	2.7143	18,5363	9,933	11	2.6675	18,0974	9,8469
12	2.8239	18,5363	9,9818	12	4.4001	23,4415	9,8658
13	3.2947	20,0109	9,9137	13	4.1869	22,5663	9,8857
14	2.1831	31,6119	9,8117	14	1.6785	27,7135	9,2347
15	2.6376	34,7153	9,6130	15	1.6003	27,0320	9,2600
16	2.8072	35,8452	9,9242	16	1.7491	28,2335	9,2856
17	7.5103	72,5002	15,0454	17	6.5415	67,7881	14,0454
18	6.7253	68,5357	14,8741	18	5.6754	62,9544	14,0741
19	6.3795	66,6951	14,9025	19	6.2530	66,0156	14,1025
20	5.5815	62,3304	14,7302	20	6.0224	64,7232	14,1302
21	19.8256	87,4496	11,9324	21	29.689	107,43	11,1514
22	28.734	107,55	11,5257	22	18.729	85,0291	11,1797
23	18.010	83,2278	11,7019	23	21.889	91,6792	11,2079
24	5.5394	176,77	17,2103	24	6.1457	187,65	16,8093
25	6.6680	147,14	0,8487	25	8.7588	168,07	0,8405
26	4.9023	125,98	0,8487	26	7.4940	156,88	0,8405
Total	109.152	2670	212,45	Total	111.684	2670	210,67

12. Beban 2590 MW

Tanpa Kekangan emisi CO ₂				Dengan Kekangan emisi CO ₂			
Unit ke-	Biaya (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)	Unit ke-	Total (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)
1	3.0633	3,0586	3,6313	1	3.3039	3,1938	3,5613
2	2.7191	2,8527	3,9868	2	3.7989	3,4596	3,5768
3	3.5934	3,3614	4,1281	3	3.2528	3,1473	3,5981
4	2.9772	2,9839	3,9170	4	3.0104	3,0084	3,6170
5	3.2412	3,1230	3,9350	5	2.4326	2,6462	3,6350
6	3.7975	5,5280	6,2530	6	2.4532	4,4077	5,7530
7	2.8394	4,7462	6,1701	7	2.8902	4,7899	5,7701
8	2.7176	4,6330	5,9876	8	2.9761	4,8554	5,7876
9	2.7989	4,6966	6,1050	9	3.2382	5,0738	5,8050
10	3.0040	19,1598	9,9263	10	3.2117	19,9600	9,8263
11	2.7143	18,5363	9,933	11	2.6675	18,0974	9,8469
12	2.8239	18,5363	9,9818	12	4.4001	23,4415	9,8658

13	3.2947	20,0109	9,9137	13	4.1869	22,5663	9,8857
14	2.1831	31,6119	9,8117	14	1.6785	27,7135	9,2347
15	2.6376	34,7153	9,6130	15	1.6003	27,0320	9,2600
16	2.8072	35,8452	9,9242	16	1.7491	28,2335	9,2856
17	7.5103	72,5002	15,0454	17	6.5415	67,7881	14,0454
18	6.7253	68,5357	14,8741	18	5.6754	62,9544	14,0741
19	6.3795	66,6951	14,9025	19	6.2530	66,0156	14,1025
20	5.5815	62,3304	14,7302	20	6.0224	64,7232	14,1302
21	19.8256	87,4496	11,9324	21	29.689	107,43	11,1514
22	28.734	107,55	11,5257	22	18.729	85,0291	11,1797
23	18.010	83,2278	11,7019	23	21.889	91,6792	11,2079
24	5.5394	176,77	17,2103	24	6.1457	187,65	16,8093
25	6.6680	147,14	0,8487	25	8.7588	168,07	0,8405
26	4.9023	125,98	0,8487	26	7.4940	156,88	0,8405
Total	104.583	2590	220,47	Total	115.226	2590	218,81

13. Beban 2590 MW

Tanpa Kekangan emisi CO ₂				Dengan Kekangan emisi CO ₂			
Unit ke-	Biaya (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)	Unit ke-	Total (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)
1	3.0633	3,0586	3,6313	1	3.3039	3,1938	3,5613
2	2.7191	2,8527	3,9868	2	3.7989	3,4596	3,5768
3	3.5934	3,3614	4,1281	3	3.2528	3,1473	3,5981
4	2.9772	2,9839	3,9170	4	3.0104	3,0084	3,6170
5	3.2412	3,1230	3,9350	5	2.4326	2,6462	3,6350
6	3.7975	5,5280	6,2530	6	2.4532	4,4077	5,7530
7	2.8394	4,7462	6,1701	7	2.8902	4,7899	5,7701
8	2.7176	4,6330	5,9876	8	2.9761	4,8554	5,7876
9	2.7989	4,6966	6,1050	9	3.2382	5,0738	5,8050
10	3.0040	19,1598	9,9263	10	3.2117	19,9600	9,8263
11	2.7143	18,5363	9,933	11	2.6675	18,0974	9,8469
12	2.8239	18,5363	9,9818	12	4.4001	23,4415	9,8658
13	3.2947	20,0109	9,9137	13	4.1869	22,5663	9,8857
14	2.1831	31,6119	9,8117	14	1.6785	27,7135	9,2347
15	2.6376	34,7153	9,6130	15	1.6003	27,0320	9,2600
16	2.8072	35,8452	9,9242	16	1.7491	28,2335	9,2856
17	7.5103	72,5002	15,0454	17	6.5415	67,7881	14,0454
18	6.7253	68,5357	14,8741	18	5.6754	62,9544	14,0741

19	6.3795	66,6951	14,9025	19	6.2530	66,0156	14,1025
20	5.5815	62,3304	14,7302	20	6.0224	64,7232	14,1302
21	19.8256	87,4496	11,9324	21	29.689	107,43	11,1514
22	28.734	107,55	11,5257	22	18.729	85,0291	11,1797
23	18.010	83,2278	11,7019	23	21.889	91,6792	11,2079
24	5.5394	176,77	17,2103	24	6.1457	187,65	16,8093
25	6.6680	147,14	0,8487	25	8.7588	168,07	0,8405
26	4.9023	125,98	0,8487	26	7.4940	156,88	0,8405
Total	94.239	2590	220,89	Total	100.183	2590	216,71

14. Beban 2550 MW

Tanpa Kekangan emisi CO ₂				Dengan Kekangan emisi CO ₂			
Unit ke-	Biaya (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)	Unit ke-	Total (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)
1	3.0633	3,0586	3,6313	1	3.3039	3,1938	3,5613
2	2.7191	2,8527	3,9868	2	3.7989	3,4596	3,5768
3	3.5934	3,3614	4,1281	3	3.2528	3,1473	3,5981
4	2.9772	2,9839	3,9170	4	3.0104	3,0084	3,6170
5	3.2412	3,1230	3,9350	5	2.4326	2,6462	3,6350
6	3.7975	5,5280	6,2530	6	2.4532	4,4077	5,7530
7	2.8394	4,7462	6,1701	7	2.8902	4,7899	5,7701
8	2.7176	4,6330	5,9876	8	2.9761	4,8554	5,7876
9	2.7989	4,6966	6,1050	9	3.2382	5,0738	5,8050
10	3.0040	19,1598	9,9263	10	3.2117	19,9600	9,8263
11	2.7143	18,5363	9,933	11	2.6675	18,0974	9,8469
12	2.8239	18,5363	9,9818	12	4.4001	23,4415	9,8658
13	3.2947	20,0109	9,9137	13	4.1869	22,5663	9,8857
14	2.1831	31,6119	9,8117	14	1.6785	27,7135	9,2347
15	2.6376	34,7153	9,6130	15	1.6003	27,0320	9,2600
16	2.8072	35,8452	9,9242	16	1.7491	28,2335	9,2856
17	7.5103	72,5002	15,0454	17	6.5415	67,7881	14,0454
18	6.7253	68,5357	14,8741	18	5.6754	62,9544	14,0741
19	6.3795	66,6951	14,9025	19	6.2530	66,0156	14,1025
20	5.5815	62,3304	14,7302	20	6.0224	64,7232	14,1302
21	19.8256	87,4496	11,9324	21	29.689	107,43	11,1514
22	28.734	107,55	11,5257	22	18.729	85,0291	11,1797
23	18.010	83,2278	11,7019	23	21.889	91,6792	11,2079
24	5.5394	176,77	17,2103	24	6.1457	187,65	16,8093

25	6.6680	147,14	0,8487	25	8.7588	168,07	0,8405
26	4.9023	125,98	0,8487	26	7.4940	156,88	0,8405
Total	98.836	2550	226,78	Total	102.045	2550	224,99

15. Beban 2620 MW

Tanpa Kekangan emisi CO ₂				Dengan Kekangan emisi CO ₂			
Unit ke-	Biaya (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)	Unit ke-	Total (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)
1	3.0633	3,0586	3,6313	1	3.3039	3,1938	3,5613
2	2.7191	2,8527	3,9868	2	3.7989	3,4596	3,5768
3	3.5934	3,3614	4,1281	3	3.2528	3,1473	3,5981
4	2.9772	2,9839	3,9170	4	3.0104	3,0084	3,6170
5	3.2412	3,1230	3,9350	5	2.4326	2,6462	3,6350
6	3.7975	5,5280	6,2530	6	2.4532	4,4077	5,7530
7	2.8394	4,7462	6,1701	7	2.8902	4,7899	5,7701
8	2.7176	4,6330	5,9876	8	2.9761	4,8554	5,7876
9	2.7989	4,6966	6,1050	9	3.2382	5,0738	5,8050
10	3.0040	19,1598	9,9263	10	3.2117	19,9600	9,8263
11	2.7143	18,5363	9,933	11	2.6675	18,0974	9,8469
12	2.8239	18,5363	9,9818	12	4.4001	23,4415	9,8658
13	3.2947	20,0109	9,9137	13	4.1869	22,5663	9,8857
14	2.1831	31,6119	9,8117	14	1.6785	27,7135	9,2347
15	2.6376	34,7153	9,6130	15	1.6003	27,0320	9,2600
16	2.8072	35,8452	9,9242	16	1.7491	28,2335	9,2856
17	7.5103	72,5002	15,0454	17	6.5415	67,7881	14,0454
18	6.7253	68,5357	14,8741	18	5.6754	62,9544	14,0741
19	6.3795	66,6951	14,9025	19	6.2530	66,0156	14,1025
20	5.5815	62,3304	14,7302	20	6.0224	64,7232	14,1302
21	19.8256	87,4496	11,9324	21	29.689	107,43	11,1514
22	28.734	107,55	11,5257	22	18.729	85,0291	11,1797
23	18.010	83,2278	11,7019	23	21.889	91,6792	11,2079
24	5.5394	176,77	17,2103	24	6.1457	187,65	16,8093
25	6.6680	147,14	0,8487	25	8.7588	168,07	0,8405
26	4.9023	125,98	0,8487	26	7.4940	156,88	0,8405
Total	104.173	2620	230,98	Total	107.783	2620	227,21

16. Beban 2650 MW

Tanpa Kekangan emisi CO ₂				Dengan Kekangan emisi CO ₂			
Unit ke-	Biaya (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)	Unit ke-	Total (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)
1	3.0633	3,0586	3,6313	1	3.3039	3,1938	3,5613
2	2.7191	2,8527	3,9868	2	3.7989	3,4596	3,5768
3	3.5934	3,3614	4,1281	3	3.2528	3,1473	3,5981
4	2.9772	2,9839	3,9170	4	3.0104	3,0084	3,6170
5	3.2412	3,1230	3,9350	5	2.4326	2,6462	3,6350
6	3.7975	5,5280	6,2530	6	2.4532	4,4077	5,7530
7	2.8394	4,7462	6,1701	7	2.8902	4,7899	5,7701
8	2.7176	4,6330	5,9876	8	2.9761	4,8554	5,7876
9	2.7989	4,6966	6,1050	9	3.2382	5,0738	5,8050
10	3.0040	19,1598	9,9263	10	3.2117	19,9600	9,8263
11	2.7143	18,5363	9,933	11	2.6675	18,0974	9,8469
12	2.8239	18,5363	9,9818	12	4.4001	23,4415	9,8658
13	3.2947	20,0109	9,9137	13	4.1869	22,5663	9,8857
14	2.1831	31,6119	9,8117	14	1.6785	27,7135	9,2347
15	2.6376	34,7153	9,6130	15	1.6003	27,0320	9,2600
16	2.8072	35,8452	9,9242	16	1.7491	28,2335	9,2856
17	7.5103	72,5002	15,0454	17	6.5415	67,7881	14,0454
18	6.7253	68,5357	14,8741	18	5.6754	62,9544	14,0741
19	6.3795	66,6951	14,9025	19	6.2530	66,0156	14,1025
20	5.5815	62,3304	14,7302	20	6.0224	64,7232	14,1302
21	19.8256	87,4496	11,9324	21	29.689	107,43	11,1514
22	28.734	107,55	11,5257	22	18.729	85,0291	11,1797
23	18.010	83,2278	11,7019	23	21.889	91,6792	11,2079
24	5.5394	176,77	17,2103	24	6.1457	187,65	16,8093
25	6.6680	147,14	0,8487	25	8.7588	168,07	0,8405
26	4.9023	125,98	0,8487	26	7.4940	156,88	0,8405
Total	111.296	2650	224,19	Total	120.127	2650	224,48

17. Beban 2550 MW

Tanpa Kekangan emisi CO ₂				Dengan Kekangan emisi CO ₂			
Unit ke-	Biaya (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)	Unit ke-	Total (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)
1	3.0633	3,0586	3,6313	1	3.3039	3,1938	3,5613
2	2.7191	2,8527	3,9868	2	3.7989	3,4596	3,5768
3	3.5934	3,3614	4,1281	3	3.2528	3,1473	3,5981

4	2.9772	2,9839	3,9170	4	3.0104	3,0084	3,6170
5	3.2412	3,1230	3,9350	5	2.4326	2,6462	3,6350
6	3.7975	5,5280	6,2530	6	2.4532	4,4077	5,7530
7	2.8394	4,7462	6,1701	7	2.8902	4,7899	5,7701
8	2.7176	4,6330	5,9876	8	2.9761	4,8554	5,7876
9	2.7989	4,6966	6,1050	9	3.2382	5,0738	5,8050
10	3.0040	19,1598	9,9263	10	3.2117	19,9600	9,8263
11	2.7143	18,5363	9,933	11	2.6675	18,0974	9,8469
12	2.8239	18,5363	9,9818	12	4.4001	23,4415	9,8658
13	3.2947	20,0109	9,9137	13	4.1869	22,5663	9,8857
14	2.1831	31,6119	9,8117	14	1.6785	27,7135	9,2347
15	2.6376	34,7153	9,6130	15	1.6003	27,0320	9,2600
16	2.8072	35,8452	9,9242	16	1.7491	28,2335	9,2856
17	7.5103	72,5002	15,0454	17	6.5415	67,7881	14,0454
18	6.7253	68,5357	14,8741	18	5.6754	62,9544	14,0741
19	6.3795	66,6951	14,9025	19	6.2530	66,0156	14,1025
20	5.5815	62,3304	14,7302	20	6.0224	64,7232	14,1302
21	19.8256	87,4496	11,9324	21	29.689	107,43	11,1514
22	28.734	107,55	11,5257	22	18.729	85,0291	11,1797
23	18.010	83,2278	11,7019	23	21.889	91,6792	11,2079
24	5.5394	176,77	17,2103	24	6.1457	187,65	16,8093
25	6.6680	147,14	0,8487	25	8.7588	168,07	0,8405
26	4.9023	125,98	0,8487	26	7.4940	156,88	0,8405
Total	102.153	2550	223,91	Total	109.652	2550	219,28

18. Beban 2530 MW

Tanpa Kekangan emisi CO ₂				Dengan Kekangan emisi CO ₂			
Unit ke-	Biaya (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)	Unit ke-	Total (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)
1	3.0633	3,0586	3,6313	1	3.3039	3,1938	3,5613
2	2.7191	2,8527	3,9868	2	3.7989	3,4596	3,5768
3	3.5934	3,3614	4,1281	3	3.2528	3,1473	3,5981
4	2.9772	2,9839	3,9170	4	3.0104	3,0084	3,6170
5	3.2412	3,1230	3,9350	5	2.4326	2,6462	3,6350
6	3.7975	5,5280	6,2530	6	2.4532	4,4077	5,7530
7	2.8394	4,7462	6,1701	7	2.8902	4,7899	5,7701
8	2.7176	4,6330	5,9876	8	2.9761	4,8554	5,7876
9	2.7989	4,6966	6,1050	9	3.2382	5,0738	5,8050

10	3.0040	19,1598	9,9263	10	3.2117	19,9600	9,8263
11	2.7143	18,5363	9,933	11	2.6675	18,0974	9,8469
12	2.8239	18,5363	9,9818	12	4.4001	23,4415	9,8658
13	3.2947	20,0109	9,9137	13	4.1869	22,5663	9,8857
14	2.1831	31,6119	9,8117	14	1.6785	27,7135	9,2347
15	2.6376	34,7153	9,6130	15	1.6003	27,0320	9,2600
16	2.8072	35,8452	9,9242	16	1.7491	28,2335	9,2856
17	7.5103	72,5002	15,0454	17	6.5415	67,7881	14,0454
18	6.7253	68,5357	14,8741	18	5.6754	62,9544	14,0741
19	6.3795	66,6951	14,9025	19	6.2530	66,0156	14,1025
20	5.5815	62,3304	14,7302	20	6.0224	64,7232	14,1302
21	19.8256	87,4496	11,9324	21	29.689	107,43	11,1514
22	28.734	107,55	11,5257	22	18.729	85,0291	11,1797
23	18.010	83,2278	11,7019	23	21.889	91,6792	11,2079
24	5.5394	176,77	17,2103	24	6.1457	187,65	16,8093
25	6.6680	147,14	0,8487	25	8.7588	168,07	0,8405
26	4.9023	125,98	0,8487	26	7.4940	156,88	0,8405
Total	104.514	2530	218,67	Total	107.305	2530	216,00

19. Beban 2500 MW

Tanpa Kekangan emisi CO ₂				Dengan Kekangan emisi CO ₂			
Unit ke-	Biaya (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)	Unit ke-	Total (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)
1	3.0633	3,0586	3,6313	1	3.3039	3,1938	3,5613
2	2.7191	2,8527	3,9868	2	3.7989	3,4596	3,5768
3	3.5934	3,3614	4,1281	3	3.2528	3,1473	3,5981
4	2.9772	2,9839	3,9170	4	3.0104	3,0084	3,6170
5	3.2412	3,1230	3,9350	5	2.4326	2,6462	3,6350
6	3.7975	5,5280	6,2530	6	2.4532	4,4077	5,7530
7	2.8394	4,7462	6,1701	7	2.8902	4,7899	5,7701
8	2.7176	4,6330	5,9876	8	2.9761	4,8554	5,7876
9	2.7989	4,6966	6,1050	9	3.2382	5,0738	5,8050
10	3.0040	19,1598	9,9263	10	3.2117	19,9600	9,8263
11	2.7143	18,5363	9,933	11	2.6675	18,0974	9,8469
12	2.8239	18,5363	9,9818	12	4.4001	23,4415	9,8658
13	3.2947	20,0109	9,9137	13	4.1869	22,5663	9,8857
14	2.1831	31,6119	9,8117	14	1.6785	27,7135	9,2347
15	2.6376	34,7153	9,6130	15	1.6003	27,0320	9,2600

16	2.8072	35,8452	9,9242	16	1.7491	28,2335	9,2856
17	7.5103	72,5002	15,0454	17	6.5415	67,7881	14,0454
18	6.7253	68,5357	14,8741	18	5.6754	62,9544	14,0741
19	6.3795	66,6951	14,9025	19	6.2530	66,0156	14,1025
20	5.5815	62,3304	14,7302	20	6.0224	64,7232	14,1302
21	19.8256	87,4496	11,9324	21	29.689	107,43	11,1514
22	28.734	107,55	11,5257	22	18.729	85,0291	11,1797
23	18.010	83,2278	11,7019	23	21.889	91,6792	11,2079
24	5.5394	176,77	17,2103	24	6.1457	187,65	16,8093
25	6.6680	147,14	0,8487	25	8.7588	168,07	0,8405
26	4.9023	125,98	0,8487	26	7.4940	156,88	0,8405
Total	88.719	2500	224,78	Total	93.049	2500	222,77

20. Beban 2550 MW

Tanpa Kekangan emisi CO ₂				Dengan Kekangan emisi CO ₂			
Unit ke-	Biaya (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)	Unit ke-	Total (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)
1	3.0633	3,0586	3,6313	1	3.3039	3,1938	3,5613
2	2.7191	2,8527	3,9868	2	3.7989	3,4596	3,5768
3	3.5934	3,3614	4,1281	3	3.2528	3,1473	3,5981
4	2.9772	2,9839	3,9170	4	3.0104	3,0084	3,6170
5	3.2412	3,1230	3,9350	5	2.4326	2,6462	3,6350
6	3.7975	5,5280	6,2530	6	2.4532	4,4077	5,7530
7	2.8394	4,7462	6,1701	7	2.8902	4,7899	5,7701
8	2.7176	4,6330	5,9876	8	2.9761	4,8554	5,7876
9	2.7989	4,6966	6,1050	9	3.2382	5,0738	5,8050
10	3.0040	19,1598	9,9263	10	3.2117	19,9600	9,8263
11	2.7143	18,5363	9,933	11	2.6675	18,0974	9,8469
12	2.8239	18,5363	9,9818	12	4.4001	23,4415	9,8658
13	3.2947	20,0109	9,9137	13	4.1869	22,5663	9,8857
14	2.1831	31,6119	9,8117	14	1.6785	27,7135	9,2347
15	2.6376	34,7153	9,6130	15	1.6003	27,0320	9,2600
16	2.8072	35,8452	9,9242	16	1.7491	28,2335	9,2856
17	7.5103	72,5002	15,0454	17	6.5415	67,7881	14,0454
18	6.7253	68,5357	14,8741	18	5.6754	62,9544	14,0741
19	6.3795	66,6951	14,9025	19	6.2530	66,0156	14,1025
20	5.5815	62,3304	14,7302	20	6.0224	64,7232	14,1302
21	19.8256	87,4496	11,9324	21	29.689	107,43	11,1514

22	28.734	107,55	11,5257	22	18.729	85,0291	11,1797
23	18.010	83,2278	11,7019	23	21.889	91,6792	11,2079
24	5.5394	176,77	17,2103	24	6.1457	187,65	16,8093
25	6.6680	147,14	0,8487	25	8.7588	168,07	0,8405
26	4.9023	125,98	0,8487	26	7.4940	156,88	0,8405
Total	103.733	2550	216,91	Total	105.631	2550	214,94

21. Beban 2600 MW

Tanpa Kekangan emisi CO ₂				Dengan Kekangan emisi CO ₂			
Unit ke-	Biaya (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)	Unit ke-	Total (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)
1	3.0633	3,0586	3,6313	1	3.3039	3,1938	3,5613
2	2.7191	2,8527	3,9868	2	3.7989	3,4596	3,5768
3	3.5934	3,3614	4,1281	3	3.2528	3,1473	3,5981
4	2.9772	2,9839	3,9170	4	3.0104	3,0084	3,6170
5	3.2412	3,1230	3,9350	5	2.4326	2,6462	3,6350
6	3.7975	5,5280	6,2530	6	2.4532	4,4077	5,7530
7	2.8394	4,7462	6,1701	7	2.8902	4,7899	5,7701
8	2.7176	4,6330	5,9876	8	2.9761	4,8554	5,7876
9	2.7989	4,6966	6,1050	9	3.2382	5,0738	5,8050
10	3.0040	19,1598	9,9263	10	3.2117	19,9600	9,8263
11	2.7143	18,5363	9,933	11	2.6675	18,0974	9,8469
12	2.8239	18,5363	9,9818	12	4.4001	23,4415	9,8658
13	3.2947	20,0109	9,9137	13	4.1869	22,5663	9,8857
14	2.1831	31,6119	9,8117	14	1.6785	27,7135	9,2347
15	2.6376	34,7153	9,6130	15	1.6003	27,0320	9,2600
16	2.8072	35,8452	9,9242	16	1.7491	28,2335	9,2856
17	7.5103	72,5002	15,0454	17	6.5415	67,7881	14,0454
18	6.7253	68,5357	14,8741	18	5.6754	62,9544	14,0741
19	6.3795	66,6951	14,9025	19	6.2530	66,0156	14,1025
20	5.5815	62,3304	14,7302	20	6.0224	64,7232	14,1302
21	19.8256	87,4496	11,9324	21	29.689	107,43	11,1514
22	28.734	107,55	11,5257	22	18.729	85,0291	11,1797
23	18.010	83,2278	11,7019	23	21.889	91,6792	11,2079
24	5.5394	176,77	17,2103	24	6.1457	187,65	16,8093
25	6.6680	147,14	0,8487	25	8.7588	168,07	0,8405
26	4.9023	125,98	0,8487	26	7.4940	156,88	0,8405
Total	102.003	2600	244,16	Total	107.043	2600	243,39

22. Beban 2480 MW

Tanpa Kekangan emisi CO ₂				Dengan Kekangan emisi CO ₂			
Unit ke-	Biaya (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)	Unit ke-	Total (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)
1	3.0633	3,0586	3,6313	1	3.3039	3,1938	3,5613
2	2.7191	2,8527	3,9868	2	3.7989	3,4596	3,5768
3	3.5934	3,3614	4,1281	3	3.2528	3,1473	3,5981
4	2.9772	2,9839	3,9170	4	3.0104	3,0084	3,6170
5	3.2412	3,1230	3,9350	5	2.4326	2,6462	3,6350
6	3.7975	5,5280	6,2530	6	2.4532	4,4077	5,7530
7	2.8394	4,7462	6,1701	7	2.8902	4,7899	5,7701
8	2.7176	4,6330	5,9876	8	2.9761	4,8554	5,7876
9	2.7989	4,6966	6,1050	9	3.2382	5,0738	5,8050
10	3.0040	19,1598	9,9263	10	3.2117	19,9600	9,8263
11	2.7143	18,5363	9,933	11	2.6675	18,0974	9,8469
12	2.8239	18,5363	9,9818	12	4.4001	23,4415	9,8658
13	3.2947	20,0109	9,9137	13	4.1869	22,5663	9,8857
14	2.1831	31,6119	9,8117	14	1.6785	27,7135	9,2347
15	2.6376	34,7153	9,6130	15	1.6003	27,0320	9,2600
16	2.8072	35,8452	9,9242	16	1.7491	28,2335	9,2856
17	7.5103	72,5002	15,0454	17	6.5415	67,7881	14,0454
18	6.7253	68,5357	14,8741	18	5.6754	62,9544	14,0741
19	6.3795	66,6951	14,9025	19	6.2530	66,0156	14,1025
20	5.5815	62,3304	14,7302	20	6.0224	64,7232	14,1302
21	19.8256	87,4496	11,9324	21	29.689	107,43	11,1514
22	28.734	107,55	11,5257	22	18.729	85,0291	11,1797
23	18.010	83,2278	11,7019	23	21.889	91,6792	11,2079
24	5.5394	176,77	17,2103	24	6.1457	187,65	16,8093
25	6.6680	147,14	0,8487	25	8.7588	168,07	0,8405
26	4.9023	125,98	0,8487	26	7.4940	156,88	0,8405
Total	89.622	2480	224,94	Total	95.633	2480	223,98

23. Beban 2200 MW

Tanpa Kekangan emisi CO ₂				Dengan Kekangan emisi CO ₂			
Unit ke-	Biaya (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)	Unit ke-	Total (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)

1	3.0633	3,0586	3,6313	1	3.3039	3,1938	3,5613
2	2.7191	2,8527	3,9868	2	3.7989	3,4596	3,5768
3	3.5934	3,3614	4,1281	3	3.2528	3,1473	3,5981
4	2.9772	2,9839	3,9170	4	3.0104	3,0084	3,6170
5	3.2412	3,1230	3,9350	5	2.4326	2,6462	3,6350
6	3.7975	5,5280	6,2530	6	2.4532	4,4077	5,7530
7	2.8394	4,7462	6,1701	7	2.8902	4,7899	5,7701
8	2.7176	4,6330	5,9876	8	2.9761	4,8554	5,7876
9	2.7989	4,6966	6,1050	9	3.2382	5,0738	5,8050
10	3.0040	19,1598	9,9263	10	3.2117	19,9600	9,8263
11	2.7143	18,5363	9,933	11	2.6675	18,0974	9,8469
12	2.8239	18,5363	9,9818	12	4.4001	23,4415	9,8658
13	3.2947	20,0109	9,9137	13	4.1869	22,5663	9,8857
14	2.1831	31,6119	9,8117	14	1.6785	27,7135	9,2347
15	2.6376	34,7153	9,6130	15	1.6003	27,0320	9,2600
16	2.8072	35,8452	9,9242	16	1.7491	28,2335	9,2856
17	7.5103	72,5002	15,0454	17	6.5415	67,7881	14,0454
18	6.7253	68,5357	14,8741	18	5.6754	62,9544	14,0741
19	6.3795	66,6951	14,9025	19	6.2530	66,0156	14,1025
20	5.5815	62,3304	14,7302	20	6.0224	64,7232	14,1302
21	19.8256	87,4496	11,9324	21	29.689	107,43	11,1514
22	28.734	107,55	11,5257	22	18.729	85,0291	11,1797
23	18.010	83,2278	11,7019	23	21.889	91,6792	11,2079
24	5.5394	176,77	17,2103	24	6.1457	187,65	16,8093
25	6.6680	147,14	0,8487	25	8.7588	168,07	0,8405
26	4.9023	125,98	0,8487	26	7.4940	156,88	0,8405
Total	63.438	2200	213,47	Total	77.882	2200	211,64

24. Beban 1840 MW

Tanpa Kekangan emisi CO ₂				Dengan Kekangan emisi CO ₂			
Unit ke-	Biaya (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)	Unit ke-	Total (jutax\$)	Daya (MW)	Emisi (Ton)
1	2.5988	2,7821	2,8787	1	2.0181	2,4	2,8779
2	2.0225	2,4	2,8903	2	2.0225	2,4	2,8895
3	2.0542	2,4108	2,9083	3	2.0387	2,4	2,9074
4	2.0488	2,4	2,9233	4	2.3008	2,5691	2,9224
5	2.5501	2,7198	2,9379	5	2.0593	2,4	2,9370
6	2.6625	4,5983	5,0315	6	2.0343	4	5,0306

7	2.0404	4	5,0456	7	2.0404	4	5,0456
8	2.6332	4,5580	5,0617	8	2.1612	4,1149	5,0608
9	2.0527	4	5,0769	9	2.0933	4,0409	5,0761
10	2.2097	16,4209	8,9845	10	1.1104	16,0457	8,9835
11	1.8986	15,2	9,0023	11	1.8986	15,2	9,0013
12	1.9025	15,2	9,0206	12	2.0946	15,9530	9,0196
13	1.9063	15,2	9,0388	13	1.9063	15,2	9,0378
14	1.3663	25	8,7553	14	1.3663	25	8,7548
15	1.3691	25	8,7781	15	1.3691	25	8,7775
16	1.3719	25	8,8009	16	1.3719	25	8,8003
17	4.2066	54,25	13,3706	17	4.2066	54,25	13,3698
18	4.2152	54,25	13,3980	18	4.2152	54,25	13,3971
19	4.2238	54,25	13,4250	19	4.2238	54,25	13,4242
20	4.2320	54,25	14,4513	20	4.2320	54,25	14,4505
21	1.2335	68,95	10,5397	21	1.3986	73,4206	10,5389
22	1.2360	68,95	10,5652	22	1.2360	68,95	10,5645
23	1.2385	68,95	10,5908	23	1.2385	68,95	10,5901
24	3.5447	141,46	16,1253	24	3.4718	140	16,1245
25	3.3735	104,30	0,8063	25	3.7669	110,22	0,8062
26	3.1199	100	0,8063	26	3.9521	112,55	0,8062
Total	51.517	1840	200,99	Total	56.658	1840	200,19