PENGOPTIMALAN PEMBAGIAN BEBAN PADA TURBIN GAS PLTGU DENGAN METODE *NONLINEAR PROGRAMMING* STUDI KASUS: PT. PJB UNIT PEMBANGKITAN GRESIK

SKRIPSI

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

Disusun Oleh

ERY FUJI RISNAWATI

H72216028

PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL
SURABAYA

2019

PENGOPTIMALAN PEMBAGIAN BEBAN PADA TURBIN GAS PLTGU DENGAN METODE *NONLINEAR PROGRAMMING* STUDI KASUS: PT. PJB UNIT PEMBANGKITAN GRESIK

SKRIPSI

Diajukan guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh
gelar Sarjana Matematika (S.Mat) pada Program Studi Matematika

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

Disusun oleh
ERY FUJI RISNAWATI
H72216028

PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL
SURABAYA

2019

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama	:	ERY FUJI RISNAWATI
NIM	:	H72216028
Program Studi	:	Matematika
Angkatan	:	2016

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan plagiat dalam penulisan skripsi saya yang berjudul " PENGOPTIMALAN PEMBAGIAN BEBAN PADA TURBIN GAS PLTGU DENGAN METODE *NONLINEAR PROGRAMMING* STUDI KASUS: PT. PJB UNIT PEMBANGKITAN GRESIK ". Apabila suatu saat nanti terbukti saya melakukan tindakan plagiat, maka saya bersedia menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Demikian pernyataan keaslian ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 23 Desember 2019

Yang menyatakan,

METERAI TEMPEL
TGL. 20
BB009AEF272787615
6000
ENAM RIBU RUPIAH

ERY FUJI RISNAWATI
NIM. H72216028

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi oleh

Nama	:	ERY FUJI RISNAWATI
NIM	:	H72216028
Judul Skripsi	:	PENGOPTIMALAN PEMBAGIAN BEBAN PADA TURBIN GAS PLTGU DENGAN METODE *NONLINEAR PROGRAMMING* STUDI KASUS: PT. PJB UNIT PEMBANGKITAN GRESIK

telah diperiksa dan disetujui untuk diujikan.

Surabaya, 23 Desember 2019

Pembimbing

Nurissaidah Ulinnuha, M.Kom

NIP. 199011022014032004

PENGESAHAN TIM PENGUJI SKRIPSI

Skripsi oleh

Nama	:	ERY FUJI RISNAWATI
NIM	:	H72216028
Judul Skripsi	:	PENGOPTIMALAN PEMBAGIAN BEBAN PADA TURBIN GAS PLTGU DENGAN METODE *NONLINEAR PROGRAMMING* STUDI KASUS: PT. PJB UNIT PEMBANGKITAN GRESIK

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji
pada tanggal Desember 2019

Mengesahkan,
Tim Penguji

Penguji I

Nurissaidah Ulinnuha, M.Kom
NIP. 199011022014032004

Penguji II

Yuniar Farida, MT
NIP. 197905272014032002

Penguji III

Dian Candra Rini N., M.Kom
NIP. 198511242014032001

Penguji IV

Aris Fanani, M.Kom
NIP. 198701272014031002

Mengetahui,
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Ampel Surabaya

Dr. Eni Purwati, M.Ag
NIP. 196512211990022001

KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA
PERPUSTAKAAN
Jl. Jend. A. Yani 117 Surabaya 60237 Telp. 031-8431972 Fax.031-8413300
E-Mail: perpus@uinsby.ac.id

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika UIN Sunan Ampel Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Ery Fuji Risnawati
NIM : H72216028
Fakultas/Jurusan : Sains dan Teknologi / Matematika
E-mail address : eryfujir123@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah :
☑ Sekripsi ☐ Tesis ☐ Desertasi ☐ Lain-lain (.....)
yang berjudul :
Pengoptimalan Pembagian Beban Pada Turbin Gas PLTGU Dengan Metode Nonlinear Programming Studi Kasus : PT. PJB Unit Pembangkitan Gresik

beserta perangkat yang diperlukan (bila ada). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Ekslusif ini Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (database), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Internet atau media lain secara ***fulltext*** untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini yang saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 31 Desember 2019

Penulis

(Ery Fuji Risnawati)
nama terang dan tanda tangan

ABSTRAK

PENGOPTIMALAN PEMBAGIAN BEBAN PADA TURBIN GAS PLTGU DENGAN METODE *NONLINEAR PROGRAMMING* STUDI KASUS: PT. PJB UNIT PEMBANGKITAN GRESIK

Tingkat pemakaian bahan bakar mempengaruhi beban yang dihasilkan saat operasi pada unit pembangkit. Untuk memperoleh hasil yang optimal dengan biaya yang minimum diperlukan adanya optimasi pemakaian bahan bakar. Pengoptimalan pembangkitan dapat dilakukan dengan pembagian pembebanan atau *economic dispatch* untuk mendapatkan beban yang maksimum dengan biaya yang minimum. Metode yang dipakai yaitu *nonlinear programming* untuk meminimumkan pemakaian bahan bakar yang bertujuan untuk menghemat biaya operasional. Berdasarkan perhitungan optimasi pemakaian bahan bakar di tiap turbin gas diperoleh penghematan biaya bahan bakar gas selama satu hari sebesar Rp 12,12 KWh/hari. Penghematan biaya bahan bakar setelah optimasi yaitu sebesar Rp. 12,12 × 7.123.288 KWh = Rp. 86.364.330,22 per hari. Dengan optimasi bahan bakar gas tersebut didapatkan juga optimasi pembagian beban di tiap turbin gas, dimana turbin gas 1.3 mendapatkan porsi beban yang lebih besar dibandingkan turbin gas 1.2 dan 1.3

Kata kunci: *Nonlinear Programming*, Optimasi, Pembagian Beban Turbin Gas

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF LOAD SHARING IN PLTGU GAS TURBINE WITH NONLINEAR PROGRAMMING METHODS CASE STUDY: PT. PJB UNIT PEMBANGKITAN GRESIK

The level of fuel consumption affects the load generated during operation on the generating unit. To obtain optimal results with a minimum cost, it is necessary to optimize the use of fuel. Optimization of generation can be done by sharing the burden or economic dispatch to get the maximum load at a minimum cost. The method used is nonlinear programming to minimize fuel usage to save operational costs. Based on the calculation of the optimization of the use of fuel in each gas turbine obtained cost savings of gas fuel for one day amounting to Rp 12.12 KWh / day. Fuel cost savings after optimization is Rp. 12,12 x 7.123.288 KWh = Rp. 86.364.330,22 per day. With the optimization of the fuel gas, it is also obtained that the load sharing optimization in each gas turbine, where gas turbine 1.3 gets a bigger portion of the load than gas turbines 1.2 and 1.3.

Keywords: Nonlinear Programming, Optimization, Gas Turbine Load Sharing

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL . . . . . **i**
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING . . . . . **ii**
PENGESAHAN TIM PENGUJI SKRIPSI . . . . . **iv**
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN . . . . . **v**
MOTTO . . . . . **vi**
HALAMAN PERSEMBAHAN . . . . . **vii**
KATA PENGANTAR . . . . . **viii**
DAFTAR ISI . . . . . **x**
DAFTAR TABEL . . . . . **xii**
DAFTAR GAMBAR . . . . . **xiii**
ABSTRAK . . . . . **xiv**
ABSTRACT . . . . . **xv**
I PENDAHULUAN **1**
1.1. Latar Belakang Masalah 1
1.2. Rumusan Masalah 5
1.3. Tujuan Penelitian 6
1.4. Manfaat Penelitian 6
1.5. Batasan Masalah 7
1.6. Sistematika Penulisan 7
II TINJAUAN PUSTAKA **10**
2.1. Sistem Tenaga Listrik 10
2.1.1. Sistem Pembangkitan 11
2.1.2. Transmisi dan Sub-Transmisi 13
2.1.3. Distribusi 13
2.1.4. Beban Sistem 14
2.2. Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) 15
2.2.1. Turbin Gas 17

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

2.2.2. *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG) 20
2.2.3. Turbin Uap 21
2.3. Riset Operasi 22
2.4. Pemodelan Matematis 24
2.5. *Nonlinear Programming* 24
2.6. Fungsi Karakteristik *Input-Ouput* dengan Regresi Dua Variabel . . . 26
2.6.1. *Objective Function* 28
2.6.2. *Constraints Function* 30
III METODE PENELITIAN 31
3.1. Jenis Penelitian 31
3.2. Sumber Data 31
3.3. Teknik Pengumpulan Data 32
3.4. Pengolahan Data 33
3.5. Pembentukan Model Matematika 33
3.6. Rancangan Penelitian 34
IV HASIL DAN PEMBAHASAN 36
4.1. Pemodelan Matematis 36
4.2. Perhitungan *Nonlinear Programming* 45
4.3. Hasil Perhitungan 47
4.4. Analisa Hasil Optimasi 53
V PENUTUP 55
5.1. Simpulan 55
5.2. Saran 56
DAFTAR PUSTAKA 57
A TABEL DATA PRODUKSI HARIAN BULAN MARET 2019 61
B TABEL SEBELUM OPTIMASI BULAN MARET 2019 69
C TABEL SESUDAH OPTIMASI BULAN MARET 2019 77

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

DAFTAR TABEL

2.1 Daftar Unit Pembangkit 16

3.1 Contoh Data Produksi dan Beban pada Turbin 32

3.2 Contoh Data Penggunaan Bahan Bakar GT 1.1 32

4.1 Hasil Konversi Satuan Gas 37

4.2 Data Primer Beban Turbin Gas 1.1 38

4.3 Data Primer Beban Turbin Gas 1.2 38

4.4 Data Primer Beban Turbin Gas 1.3 39

4.5 Input Data Produksi 46

4.6 Hasil Perhitungan 46

4.7 Input Data Produksi 47

4.8 Hasil Perhitungan 47

4.9 Sebelum Optimasi Selama 24 Jam 48

4.10 Hasil Optimasi Perintah Produksi 458.4 MW 49

4.11 Hasil Optimasi Perintah Produksi 457.8 MW 50

4.12 Sesudah Optimasi Selama 24 Jam 51

4.13 Rata-Rata Pemakaian Bahan Bakar Gas Sebelum Optimasi 52

4.14 Rata-Rata Pemakaian Bahan Bakar Gas Setelah Optimasi 52

4.15 Perbandingan Pemakaian Bahan Bakar Gas Sebelum dan Sesudah Optimasi 52

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

DAFTAR GAMBAR

2.1 N Thermal Unit Mensuplai Beban Melalui Jaringan Transmisi . . . 11
2.2 Proses Produksi PLTGU 16
2.3 Siklus *Combine Cycle* PLTGU 17
2.4 Turbin Gas 20
2.5 *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG) 21
2.6 Turbin Uap 22

3.1 *Flowchart Rancangan Penelitian* 34

4.1 *Ploting* Data Turbin Gas 1.1 42
4.2 *Ploting* Data Turbin Gas 1.2 43
4.3 *Ploting* Data Turbin Gas 1.3 43
4.4 *Ploting* Data Turbin Uap 44

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Energi listrik merupakan salah satu energi yang tidak terpisahkan dalam kehidupan saat ini. Kehidupan sehari-hari hampir semua membutuhkan energi listrik sebagai penunjang, seperti pada dunia industri, dunia pendidikan, rumah tangga, tempat hiburan, layanan umum dan lainnya (Supriatna, 2016). Kebutuhan energi listrik semakin meningkat selaras dengan perkembangan teknologi yang semakin pesat. Kebutuhan yang semakin meningkat berakibat pada permintaan produksi daya listrik. Semakin besar permintaan dari masyarakat, penyediaan daya listrik akan bertambah besar (Tambun, 2018).

PT. Pembangkitan Jawa Bali (PJB) merupakan anak perusahaan yang berada di bawah naungan PT. PLN (Persero) yang bergerak dalam bidang pembangkitan energi listrik. Berdasarkan data pada akhir Desember tahun 2017, PT. Pembangkitan Jawa (PJB) memiliki 9 Unit Pembangkitan dengan total kapasitas yang terpasang sebesar 7.055 MW. PT. PJB tersebar di beberapa titik di Indonesia terutama di Pulau Jawa, salah satunya yaitu terletak di Kabupaten Gresik. PT. PJB Unit Pembangkitan Gresik merupakan salah satu unit yang dapat disalurkan ke seluruh daerah Jawa-Bali. PT. PJB Unit Pembangkitan Gresik memiliki tiga jenis pembangkit yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Gas, dan Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) dengan total kapasitas yang terpasang sebesar 2.219 MW (PJB , 2018).

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Terdapat dua jenis bahan bakar yang digunakan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) di PT PJB Unit Pembangkitan Gresik yaitu gas sebagai bahan bakar utama dan minyak HSD *(High Speed Diesel)* sebagai bahan bakar cadangan (Puspitaningrum , 2012).

PT. PJB sebagai salah satu perusahaan energi listrik yang berada di wilayah Kabupaten Gresik dengan sektor industri yang padat dan seluruh proses yang berlangsung di sektor industri membutuhkan energi listrik untuk menunjang kebutuhan sebuah industri. Untuk memenuhi kebutuhan yang semakin meningkat, unit pembangkit listrik akan mengoptimalkan produksi agar dapat memenuhi permintaan dari masyarakat. Unit pembangkit listrik dapat memproduksi sesuai kapasitas atau sesuai permintaan yang ada. Faktor-faktor yang mempengaruhi besar daya yang diproduksi dari pembangkit listrik ada tiga, yaitu kemampuan dari pembangkit, permintaan dari masyarakat, dan rugi-rugi pada saluran. Daya yang dihasilkan dari pembangkit tidak selalu konsisten setiap waktu sesuai dengan permintaan. Semakin tinggi permintaan, semakin tinggi juga produksi daya yang harus dihasilkan dari pembangkit. PT. PJB sebagai perusahaan yang bernaung dalam bidang jasa yang menyediakan tenaga listrik untuk masyarakat harus memenuhi target yang dibutuhkan oleh konsumen, karena apabila daya yang dibangkitkan dan daya yang disalurkan lebih besar daripada kebutuhan konsumen maka mengakibatkan pemborosan biaya operasi terutama dalam pemakaian bahan bakar (Nguyen and Nabney , 2010).

Jika daya yang diproduksi lebih besar dibandingkan dengan permintaan dari konsumen mengakibatkan adanya *over load* yang berpengaruh pada tingginya tingkat pemakaian bahan bakar saat operasi. Untuk menghindari pemborosan maka dilakukan pengoptimalan pemakaian bahan bakar yang bertujuan untuk menghemat pemakaian bahan bakar gas saat proses produksi. Larangan

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

pemborosan dan hidup berhemat sangat dianjurkan dalam al-Qur'an, yakni dalam QS. Al-Isra' ayat 26-27 sebagai berikut:

وَءَاتِ ذَا ٱلْقُرْبَىٰ حَقَّهُۥ وَٱلْمِسْكِينَ وَٱبْنَ ٱلسَّبِيلِ وَلَا تُبَذِّرْ تَبْذِيرًا ﴿٢٦﴾
إِنَّ ٱلْمُبَذِّرِينَ كَانُوٓا۟ إِخْوَٰنَ ٱلشَّيَٰطِينِ ۖ وَكَانَ ٱلشَّيْطَٰنُ لِرَبِّهِۦ كَفُورًا
﴿٢٧﴾

Artinya: *"Dan berikanlah haknya kepada kerabat dekat, juga kepada orang miskin dan orang dalam prjalanan, dan janganlah kamu menghambur-hamburkan (hartamu) secara boros. Sesungguhnya orang-orang yang boros itu adalah saudara syaitan dan syaitan itu sangat ingkar kepada Tuhannya."*

Ayat tersebut memberikan anjuran kita untuk berhemat dan menghindari sifat boros dengan pemakaian secara berlebihan. Pada penelitian ini penghematan biaya saat proses pembangkitan dilakukan untuk meminimalkan biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan untuk memproduksi sejumlah daya listrik. Proses pembangkitan yang tinggi berpengaruh dengan tingkat biaya bahan bakar yang digunakan. Semakin besar daya yang ingin dihasilkan, maka semakin banyak bahan bakar yang digunakan. Mahalnya biaya bahan bakar menyebabkan biaya operasi pada unit pembangkit tidak ekonomis. Semakin banyak bahan bakar yang digunakan semakin tinggi biaya operasi pada pembangkit. Pengoptimalan proses produksi perlu dilakukan agar biaya operasi dan penggunaan bahan bakar lebih ekonomis dengan tetap memperhatikan kapasitas yang dimiliki unit pembangkit. Pengoptimalan proses produksi dapat dilakukan dengan kombinasi daya yang dihasilkan pembangkit seluruh jaringan sesuai dengan kemampuan masing-masing

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

unit (Tambun, 2018).

Pengoptimalan pembangkitan dapat dilakukan dengan pembagian pembebanan untuk mendapatkan daya yang maksimum dengan biaya yang minimum. Penjadwalan pembebanan dapat menghemat pemakaian bahan bakar yang digunakan untuk proses pembangkitan listrik. Penjadwalan pembebanan dalam unit pembangkitan disebut *economic dispatch*. *Economic dispatch* adalah pembagian pembebanan pada unit-unit pembangkit secara optimal serta ekonomis pada harga beban tertentu (Djiteng , 2006). Ada beberapa metode yang dapat diterapkan dalam penjadwalan pembebanan atau *economic dispatch* untuk menghemat pemakaian bahan bakar yang akan digunakan, yaitu metode Lagrange, iterasi lambda, *base point and participation factors*, *dynamic programming*, dan *nonlinear programming*.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Kartika Ika Putri (2017) menunjukkan bahwa *economic dispatch* unit-unit pembangkit *thermal* dalam sistem kelistrikan Sumatera Barat dengan metode iterasi lambda memberikan penjadwalan yang efisien dan efektif dalam menekan biaya operasi pembangkit listrik dibandingkan tanpa menggunakan *economic dispatch* (Putri , 2012). Hana Nabila (2017) meneliti analisis *economic dispatch* pada PLTU Sektor Bukit Asam menggunakan metode iterasi lambda dan *dynamic programming* yang menghemat penggunaan bahan bakar sebesar 4.621,94 ton. Hal ini menunjukkan bahwa pembagian beban yang optimal dapat menghemat konsumsi bahan bakar (Nabila , 2017). Nyimas Putri Pertiwi (2018) meneliti analisis *economic dispatch* pada unit pembangkit menggunakan iterasi lambda berdasarkan *base point and participation factor* menunjukkan bahwa dengan penjadwalan pembangkit menggunakan metode tersebut dapat menghemat bahan bakar sehingga biaya operasi lebih minimum dan daya yang dihasilkan optimal (Pertiwi , 2018).

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Firdaus (2010) tentang penentuan beban optimal pada turbin gas PLTGU Blok 1 PT PJB Muara Tawar menggunakan metode *nonlinear programming* menghasilkan penghematan biaya bahan bakar gas sebesar Rp. 1.693.144.577,- per harinya (Firdaus , 2010). Metode yang digunakan dalam permasalahan pengoptimalan dalam penggunaan bahan bakar gas pada penelitian ini adalah metode *nonlinear programming* dengan studi kasus di turbin gas Blok 1 PLTGU PT. PJB UP Gresik. Metode *nonlinear programming* merupakan pendekatan metode yang hampir sama dengan *linear programming* yang mempunyai *decision variable*, *objective function*, dan *constraint function*. Pada penelitian ini, kelebihan dari metode *nonlinear programming* adalah hasil optimasi lebih rinci tentang jumlah pemakaian bahan bakar pada unit pembangkit, sehingga tidak hanya biaya operasi setelah optimasi tetapi tingkat penggunaan bahan bakar juga diketahui. Kelemahan metode ini yaitu untuk menentukan model matematisnya diperlukan beberapa uji coba untuk mendapatkan model yang tepat. Metode *nonlinear programming* pada penelitian ini digunakan karena di kehidupan sehari-hari banyak permasalahan yang berbentuk *nonlinear* dibandingkan yang *linear* (Firdaus , 2010).

Dalam penelitian ini, metode *nonlinear programming* bertujuan untuk mendapatkan model matematika yang dapat memenuhi perintah produksi dengan mengoptimalkan pembagian beban pada turbin gas PLTGU Blok 1 Unit Pembangkitan Gresik dengan biaya proses pembangkitan dengan bahan bakar yang lebih ekonomis (Novandi , 2016).

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada maka peneliti merumuskan permasalahan yang akan diteliti sebagai berikut:

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

1. Bagaimana menentukan persamaan nilai karakteristik *input-output* pembangkit menggunakan regresi polinomial orde dua?
2. Bagaimana hasil optimasi bahan bakar gas yang digunakan proses pembangkitan menggunakan metode *nonlinear programming* pada turbin gas PLTGU Blok 1 PT. PJB UP Gresik?
3. Bagaimana menentukan pembagian beban yang optimal pada sistem pembangkit dengan metode *nonlinear programming* pada turbin gas PLTGU Blok 1 PT. PJB UP Gresik?

1.3. Tujuan Penelitian

Mengacu pada rumusan masalah di atas, maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Dapat menentukan persamaan nilai karakteristik *input-output* pembangkit dengan regresi polinomial orde dua.
2. Dapat hasil optimasi penggunaan bahan bakar gas pada sistem pembangkit dengan menggunakan metode *nonlinear programming*.
3. Dapat mengoptimalkan pembagian beban pada sistem pembangkit dengan biaya operasi minimal dengan beban yang maksimal menggunakan metode *nonlinear programming*.

1.4. Manfaat Penelitian

Hasil skripsi ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Manfaat Teoritis

   Secara teoritis, bagi bidang unit pembangkit listrik dan ilmu matematika penelitian ini mampu menambah pengetahuan tentang metode

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

nonlinear programming dalam pembagian beban *(economic dispatch)* dan optimasi dalam pemakaian bahan bakar dalam proses pembangkitan listrik.

2. Manfaat Praktis

   (a) Bagi perusahaan, penelitian memberikan alternatif pilihan untuk solusi pembagian beban dan pemakaian bahan bakar pada unit pembangkit agar lebih optimal dan ekonomis.

   (b) Bagi Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya, penelitian ini menambah koleksi bahan pustaka yang bermanfaat bagi Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya dan bagi mahasiswa Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi.

1.5. Batasan Masalah

Mengingat begitu luasnya ruang lingkup pada penelitian ini, maka penulis membatasi permasalahan tersebut pada:

1. Data yang digunakan pada penelitian ini menggunakan data operasi pada bulan Maret 2019 Blok 1 PLTGU PT. PJB Unit Pembangkitan Gresik.
2. Data yang digunakan data operasi saat kondisi *combine cycle*.
3. Penelitian ini hanya memperhatikan kapasitas pembangkit tanpa memperhatikan rugi-rugi yang terjadi pada transmisi.

1.6. Sistematika Penulisan

Dalam penulisan skripsi ini, penulis menggunakan sistematika penulisan yang terdiri dari 5 bab, dengan sistematika penulisan dari skripsi sebagai berikut:

1. BAB I

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Pada bab ini merupakan bab yang berisi tentang pendahuluan yang menjelaskan mengenai latar belakang penelitian, yaitu biaya bahan bakar yang semakin mahal sehingga berdampak pada biaya operasi unit pembangkit listrik penggunaan, masalah pokok tujuan, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

2. BAB II

Pada bab ini merupakan bab yang berisi tentang tinjauan pustaka yang menjelaskan mengenai landasan teori, paradigma, dan hipotesis yang digunakan dalam penelitian yaitu riset operasi, sistem tenaga listrik, jenis-jenis pembangkit listrik, dan metode yang digunakan dalam penelitian. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode *nonlinear programming*.

3. BAB III

Pada bab ini merupakan bab yang berisi tentang sumber data, teknik pengumpulan data, pengolahan data, pembentukan model matematika, dan rancangan penelitian. Data yang digunakan data operasi Blok 1 unit pembangkit jenis PLTGU di PT. PJB Unit Pembangkitan Gresik pada bulan Maret 2019.

4. BAB IV

Pada bab ini merupakan bab yang berisi tentang pengolahan data, konversi satuan pada data bahan bakar gas, pembentukan model matematika dengan polinomial orde dua untuk masing-masing turbin gas yang digunakan sebagai *objective function* dengan tujuan meminimalkan pemakaian bahan bakar gas pada Blok 1 PLTGU. *Constraints function* pada

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

penelitian ini adalah kapasitas produksi dari turbin gas dan total perintah produksi. Data operasi dilakukan optimasi dengan model yang sudah didapat untuk mengetahui semakin besar atau semakin kecil pemakaian bahan bakar gas pada saat operasi di Blok 1 serta biaya pemakaian bahan bakar gas antara sebelum dan sesudah optimasi.

5. BAB V

Pada bab ini merupakan bab yang berisi tentang kesimpulan dan saran. Kesimpulan menjawab dari rumusan masalah yang sudah dibuat dan peneliti memberikan saran kepada peneliti selanjutnya yang mengkaji tentang penelitian yang sama atau kepada pihak terkait.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

BAB II

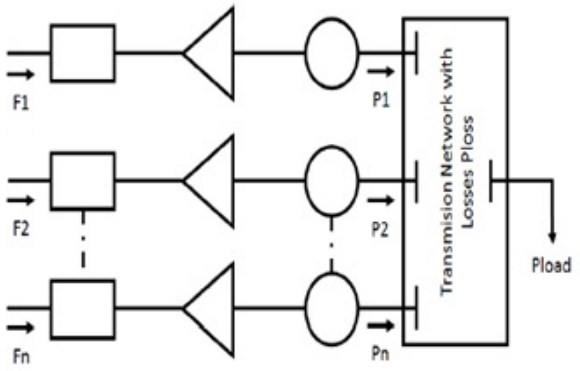
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Tenaga Listrik

Salah satu kebutuhan yang sangat penting untuk menunjang kehidupan manusia adalah energi. Setiap makhluk hidup membutuhkan energi untuk kelangsungan hidupnya. Penggunaan energi yang tidak sesuai dapat mengakibatkan penurunan energi secara signifikan jika tidak diimbangi dengan pelestarian energi tersebut. Semakin sedikit energi yang tersedia, maka harga pemenuhannya semakin tinggi. Macam-macam energi dalam kehidupan sehari-hari seperti energi seperti energi kinetik, energi angin, energi panas, energi cahaya, energi listrik, dan energi lainnya. Salah satu contoh energi yang sampai saat ini terus dikembangkan dan adalah energi listrik. Energi listrik merupakan energi yang sangat berperan penting dalam kemajuan peradaban manusia. Pemanfaatannya yang mudah menjadikan energi listrik digunakan oleh individu maupun perusahaan dan pihak instansi pemerintahan. (Dwiatmo , 2016).

Sistem tenaga listrik adalah sistem penyediaan tenaga listrik yang tersusun dari beberapa pembangkit atau pusat listrik yang tersambung dengan yang lainnya oleh jaringan transmisi dengan pusat beban atau jaringan distribusi. Sistem tenaga listrik dapat divisualisasikan dalam Gambar 2.1.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id



Gambar 2.1 N Thermal Unit Mensuplai Beban Melalui Jaringan Transmisi

(Saragi , 2012)

Sistem interkoneksi merupakan sistem listrik yang saling terhubung dari beberapa pembangkit dari lokasi yang berbeda-beda. Sistem interkoneksi mempunyai kelebihan dan kekurangan. Kelebihan sistem interkoneksi tenaga listrik (Rizkyanto, 2015), yaitu :

1. Dapat meningkatkan keandalan sistem
2. Dapat meningkatkan nilai efisiensi pembangkit
3. Dapat menyalurkan energi listrik ke tempat yang jauh dari jangkauan sistem pembangkitan
4. Penjadwalan pembangkit lebih mudah

2.1.1. Sistem Pembangkitan

Sistem pembangkitan secara umum terdiri atas unit-unit pembangkitan yang tersusun dari komponen-komponen yaitu turbin dan generator. Pembangkit tenaga listrik bertujuan untuk membangkitkan atau menghasilkan daya listrik yang selanjutnya akan ditransmisikan melalui sistem dan didistribusikan ke pelanggan. Jenis-jenis pembangkit tenaga listrik dapat dikategorikan berdasarkan bahan bakar

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

yang digunakan dalam proses pembangkitan. Dalam proses pembangkitan bahan bakar yang digunakan akan diubah oleh penggerak awal menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran atau kecepatan, kemudian energi mekanik tersebut akan dikonversi menjadi energi listrik dengan bantuan generator. Proses pembangkitan energi listrik yang memanfaatkan generator dapat dihasilkan menggunakan induksi elektromagnetik. Jenis-jenis pembangkit yang ada di Indonesia yaitu:

1. PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air)
2. PLTD (Pembangkit Listrik Tenaga Diesel)
3. PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya)
4. PLTP (Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi)
5. PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap)
6. PLTG (Pembangkit Listrik Tenaga Gas)
7. PLTGU (Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap)

Karakteristik yang dimiliki oleh setiap pembangkit berbeda-beda. Karakteristik unit pembangkit meliputi *input-output* pembangkit dan *incremental rate* (Penangsang , 2012). Data yang digunakan untuk menentukan karakteristik unit pembangkit seperti desain generator, pabrik yang memproduksi generator, data riwayat pengoperasian generator dan data percobaan. Fungsi karakteristik ini digunakan untuk menghitung biaya pembangkitan dari masing-masing unit sehingga diperoleh nilai yang optimum. Karakteristik *input output* dalam bentuk *btu/hour*. Biaya dalam pembangkitan dalam bentuk dollar, dari nilai kalor bahan bakar dengan kebutuhan kalor di setiap jam dari generator. Hasil daya yang diperoleh dalam satuan *watt* atau disimbolkan dengan *P*. Dalam penelitian ini unit

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

pembangkit yang dibahas adalah PLTGU yaitu pembangkit listrik tenaga gas dan uap di PT. PJB UP Gresik Jawa Timur.

2.1.2. Transmisi dan Sub-Transmisi

Transmisi jaringan energi listrik bertujuan untuk menyalurkan daya listrik yang dibangkitkan oleh pembangkit dari beberapa lokasi ke sistem distribusi energi listrik. Pada sistem transmisi, daya listrik yang akan disalurkan akan dinaikkan dari daya yang dibangkitkan menggunakan transformator dengan tujuan mengurangi rugi-rugi pada jaringan transmisi yang disebabkan oleh faktor-faktor tertentu. Contohnya faktor panas penghantar akibat adanya arus yang mengalir (Ringlee and William , 1962). Semakin jauh saluran maka semakin tinggi *losses* yang dihasilkan. Tegangan pada sistem transmisi ada beberapa macam, yaitu:

1. Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT) : 30 kV – 150 kV
2. Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) : 30 kV – 150 kV
3. Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) : 200 kV – 500 kV

2.1.3. Distribusi

Distribusi merupakan sistem penyaluran daya listrik dari sistem transmisi melalui gardu induk distribusi ke konsumen. Dari jenis pelanggan dengan daya besar dan *residental* sistem distribusi dapat dibagi menjadi dua yaitu sistem distribusi primer dengan kapasitas antara 4 kV – 34,5 kV dan sistem distribusi sekunder dengan kapasitas antara 220 V atau 120 V untuk *single phase* tiga belitan, 220 V atau 120 V untuk *three phase* empat belitan, dan kisaran 480 V atau 277 V untuk *three phase* empat belitan.

Distribusi dibagi menjadi dua berdasarkan tempat peletakan penghantar

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

yaitu *overhead* dan *underground*. Saluran *overhead* merupakan kawat atau kabel transmisi listrik melalui udara atau diatas permukaan tanah. Saluran *underground* merupakan kebalikan dari *overhead* yaitu saluran instalasi transimisi listrik dipasang melalui bawah tanah. Saluran *overhead* mempunyai kelebihan dalam perawatan karena lebih mudah dibandingan dengan saluran *underground*, namun kekurangan saluran ini lebih mudah mendapatkan gangguan. Saluran *underground* lebih unggul dalam hal tidak mudah mendapatkan gangguan, tetapi kelemahan pada saluran ini membutuhkan biaya yang mahal dalam pemasangan instalasi dan biaya perawatan. PT. PJB Unit Pembangkitan Gresik menggunakan saluran *underground* untuk penyaluran daya listrik dan transmisi ke konsumen (Marsudi , 2006).

2.1.4. Beban Sistem

Beban atau daya yang dihasilkan berupa daya nyata dalam satuan kilowatt (KW) atau megawatt (MW) dengan magnitudo yang berbeda-beda setiap waktu. Daya yang dihasilkan disesuaikan dengan permintaan dan kebutuhan. Pengaturan tersebut berguna untuk meminimalisir kerugian dan *over load*. Apabila daya yang disalurkan terlalu besar daripada kebutuhan dapat menyebabkan kerugian pada perusahaan listrik karena pemborosan energi. Namun jika daya yang disalurkan terlalu kecil daripada kebutuhan menyebabkan terjadinya *over load* yang berakibat pada pemadaman. Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka diperlukan perkiraan produksi beban listrik agar perusahaan listrik efisien segi manajerial dan operasional.

Perkiraan beban listrik dibagi menjadi tiga jenis berdasarkan jangka waktunya, yaitu perkiraan beban jangka panjang *(long term)* untuk perkiraan beban listrik dengan jangka waktu lebih dari satu tahun, perkiraan beban jangka

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

menengah *(medium term)* untuk perkiraan jangka waktu antara satu bulan hingga satu tahun, dan perkiraan jangka pendek *(short term)* untuk perkiraan jangka waktu pendek dalam jangkauan waktu jam dalam sehari hingga satu minggu.

2.2. Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU)

PLTGU adalah pembangkit listrik tenaga listrik termal yang memanfaatkan tenaga gas dan uap sebagai hasil *combine system* dari Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) dan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). PLTGU merupakan suatu instalasi peralatan yang berfungsi untuk mengonversi energi panas dari sisa gas buang dari turbin gas dengan temperatur $\pm 500^{\bullet}$C menjadi energi listrik. PLTGU merupakan jenis pembangkit daya dengan siklus gabungan yaitu siklus *Brayton* (siklus gas) dan siklus *Rankine* (siklus uap) dengan turbin gas dan turbin uap sebagai penyedia daya ke jaringan (Kurniawan dan MulfiHazwi , 2014).

PLTGU memiliki dua macam operasi yaitu *open cycle* dan *combined cycle*. Operasi *open cycle* merupakan sistem operasi dimana gas buang gas turbin dibuang langsung dan tidak dimanfaatkan, sedangkan *combine cycle* merupakan sistem yang memanfaatkan gas buang dari turbin gas untuk proses pemanasan air di pipa-pipa yang terdapat di *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG) hingga menjadi uap kering yang digunakan untuk menggerakkan turbin uap. Turbin uap akan dihubungkan dengan generator sehingga dapat menghasilkan listrik.

PLTGU memanfaatkan pembakaran bahan bakar gas untuk menggerakkan turbin gas yang dihubungkan langsung dengan generator menggunakan satu poros. Hasil sisa gas buang dari turbin gas digunakan untuk memanaskan air pada pipa-pipa yang ada di dalam *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG) untuk mengubah fase air menjadi fase uap. Hasil uap tersebut digunakan untuk menggerakkan baling-baling pada turbin uap yang terhubung dengan generator

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

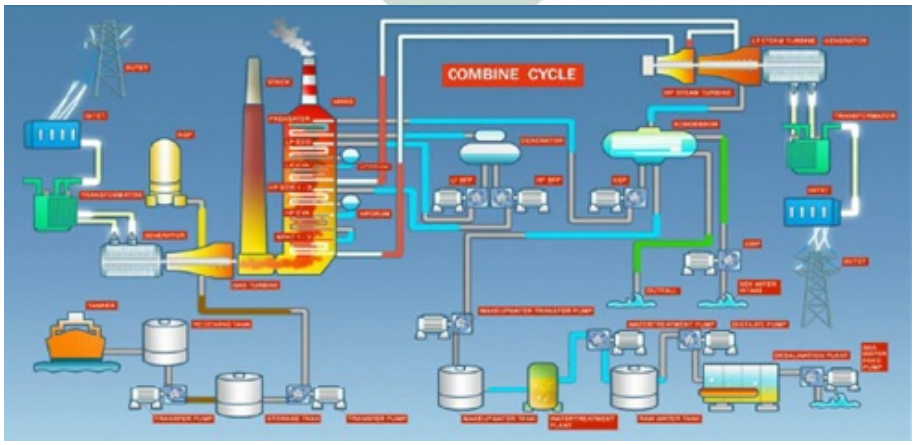
sehingga dapat menghasilkan listrik.

Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap di PT. PJB Unit Pembangkitan Gresik memiliki kapasitas daya produksi sebesar 1.500 MW dari total tiga blok. Setiap blok memiliki kapasitas daya produksi sebesar 500 MW. Masing-masing blok memiliki tiga unit turbin gas, tiga unit HRSG, satu unit turbin uap dan satu unit generator (Putri M, 2018).

Tabel 2.1 Daftar Unit Pembangkit

No	Unit Produksi	Jumlah
1	Turbin Gas (*Gas Turbine*)	3
2	*Heat Recovery Steam Generator* (HSRG)	3
3	Turbin Uap (*Steam Turbine*)	1
4	Generator	1

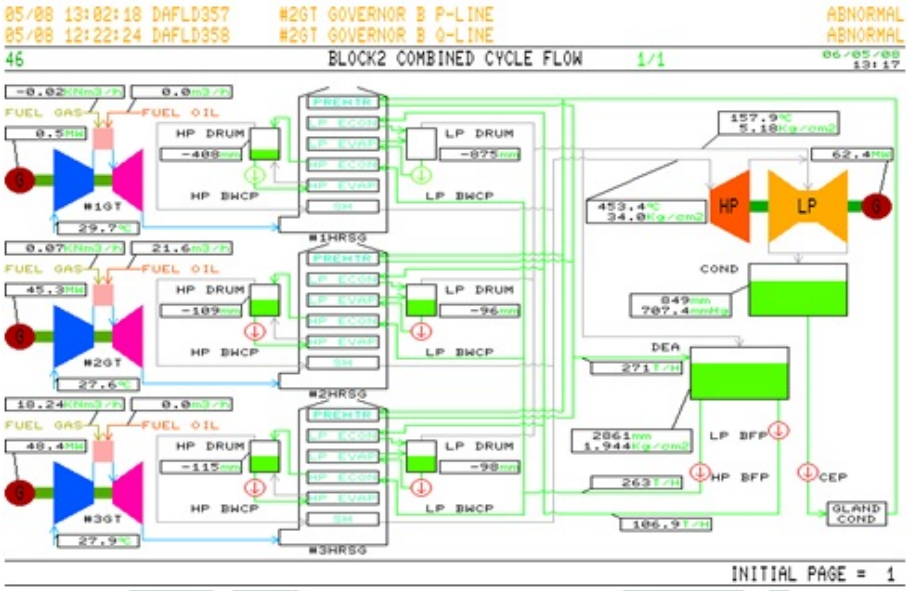
Gambar 2.2 merupakan proses produksi PLTGU PT. PJB Unit Pembangkitan Gresik dan Gambar 2.3 merupakan siklus daur ganda (*combine cycle*) PLTGU PT. PJB Unit Pembangkitan Gresik.



Gambar 2.2 Proses Produksi PLTGU

(PJB , 2018)

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id



Gambar 2.3 Siklus *Combine Cycle* PLTGU

(PJB , 2018)

Dalam proses produksi PLTGU PT PJB UP Gresik menggunakan sistem daur ganda *(Combine Cycle)*. Alat utama yang digunakan adalah turbin gas dan generatornya, *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG), turbin uap dan generatornya.

2.2.1. Turbin Gas

Turbin gas adalah alat penggerak yang memanfaatkan gas sebagai fluida kerja untuk menggerakkan turbin dengan pembakaran internal (Gusnita dan Kaudir , 2017). Di dalam turbin gas, energi kinetik dikonversi menjadi energi mekanik melalui udara bertekanan yang memutar poros turbin sehingga menghasilkan daya. Proses konversi terjadi melalui tiga tahap, yaitu:

1. Pemampatan *(compression)* udara yang disedot akan dimampatkan.

2. Pembakaran *(combustion)* bahan bakar yang dimasukkan ke dalam ruang

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

bakar yang sudah berisi udara kemudian ada pemantik api sehingga terjadi proser pembakaran.

3. Pemuaian *(expantion)* gas hasil pembakaran memuai dan mengalir ke luar melalui *nozel*.

4. Pembuangan gas *(exhaust)* gas hasil pembakaran dikeluarkan melalui saluran pembuangan.

Secara sederhana, sistem turbin gas tersusun atas tiga komponen yaitu kompresor, ruang bakar, dan turbin gas.

Prinsip kerja dari turbin gas secara umum dimulai ketika udara masuk ke dalam kompresor melalui saluran masuk udara. Kompresor berfungsi sebagai penghisap dan meningkatkan tekanan udara yang masuk, sehingga temperatur udara juga meningkat. Motor *starter* dijalankan untuk memutar *compressor* untuk menaikkan tekanan udara pada ruang bakar saat disalurkan bahan bakar gas bumi, selanjutnya dinyalakan dengan *igniter* (untuk awal pembakaran) sehingga terjadi pembakaran di ruang bakar. Gas hasil pembakaran dapat digunakan untuk memutar turbin, *compressor*, dan generator. Motor *starter* akan otomatis mati saat putaran mencapai 2100 rpm. Putaran pada turbin *compressor* akan terus meningkat hingga mencapai 300 rpm, kemudian generator mengubah energi mekanik yang dihasilkan pada turbin *compressor* menjadi energi listrik untuk diparalelkan dengan jaringan interkoneksi Jawa-Bali. Turbin gas juga menghasilkan gas buang dengan suhu yang masih tinggi untuk dimanfaatkan proses pemanasan pada HRSG, apabila gas buang tersebut tidak digunakan maka dapat langsung dibuang melalui saluran buang *(exhaust)* (Firdaus , 2010).

Turbin gas diklasifikasikan menjadi beberapa jenis berdasarkan sistem kerjanya yaitu sistem turbin gas berdasarkan siklus, konstruksi poros, dan aliran.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Berdasarkan siklusnya, turbin gas dibagi menjadi dua jenis yaitu sistem terbuka atau sistem *open cycle* dan sistem tertutup atau sistem *close cycle*.

1. Siklus Terbuka (*Open Cycle*)

   Pada Sistem ini turbin gas bekerja dengan cara mengambil udara bebas kemudian dimampatkan dengan kompresor. Udara yang telah dimampatkan dengan kompresor akan diproses di *combuster* untuk proses pembakaran. Pembakaran yang terjadi di *combuster* menghasilkan gas yang digunakan untuk menggerakan turbin. Sisa gas buang dari turbin gas akan dibuang langsung ke udara bebas melalui saluran pembuangan *(exhaust)* (Firmansyah , 2017).

2. Siklus Tertutup (*Close Cycle*)

   Pada Sistem ini turbin gas bekerja hampir sama dengan siklus terbuka, yaitu dengan mengambil udara bebas kemudian dimampatkan kemudian diproses di *combuster* untuk proses pembakaran sehingga menghasilkan gas untuk menggerakkan turbin. Perbedaan siklus terbuka dan tertutup terletak pada sisa gas buang tidak dibuang langsung ke udara bebas, tetapi gas mengalami proses pendinginan dengan alat penukar kalor. Gas yang sudah didinginkan masuk kembali ke kompresor untuk dikompresikan kembali (Firmansyah , 2017).

3. Siklus Kombinasi (*Combine Cycle*)

   Pada siklus ini efisiensi dan penggunaan energi sangat diperhatikan. Penghematan energi dari sisa gas buang yang dimanfaatkan kembali untuk proses pemanasan di *Heat Recovery Steam Generator* sebelum dibuang secara langsung ke udara bebas (Firmansyah , 2017).

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Gambar 2.4 Turbin Gas

2.2.2. *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG)

Heat Recovery Steam Generator (HRSG) merupakan sebuah alat yang dapat mengambil panas dari gas dengan temperatur yang tinggi. Sistem HRSG adalah suatu alat penukar panas (*heat exchanger*) dari fase gas ke fase air dengan temperatur yang tinggi. Sistem ini memproduksi uap hasil pemanasan air dari sisa gas buang yang masuk ke dalam HRSG. Biasanya HRSG digunakan dalam pembangkit listrik dengan sistem *combine cycle*. Proses di HSRG diawali dari gas buang dari turbin gas dengan suhu $\pm 500^{\bullet}$C dialirkan ke HRSG melalui *exhaust dumper* pada saat kondisi *combine cycle*. Pada HRSG gas buang dimanfaatkan untuk proses pemanasan air pada komponen pipa-pipa yang ada di dalam HRSG. Proses pemanasan digunakan untuk mengubah fase air menjadi fase uap. Uap kering yang dihasilkan pada proses pemanasan akan digunakan untuk menggerakkan turbin uap (Firdaus , 2010).

Heat Recovery Steam Turbine (HRSG) mempunyai komponen-komponen utama yaitu *preheater*, *highpressure*, *economizer primary*, *low pressure* (LP) *economizer*, *low pressure* (LP) *evaporator*, *high pressure* (HP), *economizer secondary*, *high pressure* (HP) *economizer*, *low pressure* (LP) *evaporator*, *primary*

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

superheater, dan *secondary superheater* (Prayudi, dkk , 2016).

Gambar 2.5 *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG)

2.2.3. Turbin Uap

Turbin uap merupakan suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial menjadi energi kinetik dan energi kinetik tersebut kemudian dikonversi menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros turbin. Turbin uap merupakan salah satu jenis mesin yang menggunakan metode mesin pembakaran liar. Pemanasan fluida kerja (uap) dilakukan di luar sistem. Secara umum, prinsip utama dari sistem turbin uap adalah dimulai dari pemanasan air pada ketel uap atau HRSG (Firdaus, 2010).

Uap hasil proses pemanasan di HRSG digunakan untuk menggerakkan turbin uap. Uap disalurkan dari tekanan rendah masuk ke turbin tekanan tinggi, kemudian bersama-sama uap tekanan rendah masuk ke turbin tekanan rendah untuk masuk ke dalam kondensor untuk proses kondensasi. Air dari kondensor disalurkan kembali ke pipa-pipa yang ada di HRSG untuk dipanaskan kembali sehingga dapat terbentuk uap kembali untuk memutar turbin uap. Hasil putaran turbin uap menghasilkan energi mekanik yang digunakan untuk memutar generator. Generator berfungsi untuk merubah energi mekanik menjadi energi

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

listrik kemudian diparalelkan dengan jaringan interoneksi Jawa-Bali (Putri M, 2018).

Gambar 2.6 Turbin Uap

2.3. Riset Operasi

Riset operasi adalah ilmu yang mempelajari tentang pembuatan keputusan yang rasional, desain dan integrasi sistem dengan situasi yang kompleks dengan tujuan untuk memprediksi perilaku sistem dan meningkatkan atau mengoptimalkan kinerja sistem. Riset operasi dimulai di Inggris selama Perang Dunia II untuk membuat keputusan mengenai pemanfaatan terbaik bahan perang. Setelah perang, gagasan riset operasi pada dunia militer disesuaikan untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas di sektor sipil. Riset operasi dalam kejadian Perang Dunia II menjadi salah satu solusi dalam menyelesaikan permasalahan kurangnya sumber daya untuk berbagai operasi militer dan kegiatan dalam setiap operasi secara efektif. Manajemen militer Inggris dan Amerika Serikat menerapkan pendekatan ilmiah dengan menerapkan konsep riset operasi yaitu melalui pengelolaan metode operasi konvoi dalam mengatur strategi perang. Setelah perang berakhir, keberhasilan riset operasi dalam bidang militer kemudian diterapkan di bidang yang lainnya seperti bidang manajemen bisnis, pemerintahan,

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

dan industri (Hillier and Liebermen , 2001).

Riset operasi terus dikembangkan sampai saat ini sebagai alat pembuat keputusan yang dominan digunakan dalam kehidupan sehari-hari, meliputi pembuatan keputusan manajerial, pemodelan matematika dan komputer, dan penggunaan informasi teknologi untuk pembuatan keputusan yang baik (Rai , 2015). Konsep dan metode pada riset operasi sangat luas. Konsep dan metode riset operasi dapat digunakan dalam berbagai bidang, yaitu bidang kebijakan energi, desain dan operasi sistem darurat perkotaan, pertahanan, kesehatan, perencanaan sumber daya air, sistem peradilan pidana, dan masalah transportasi. Riset operasi dengan pendekatan khusus untuk mengembangkan sistem secara ilmiah, seperti peluang dan risiko yang digunakan untuk memprediksi dan membandingkan hasil keputusan alternatif, strategi, atau kontrol yang bertujuan untuk membantu sistem menentukan kebijakan dan tindakan secara ilmiah (Rai , 2015).

Terdapat beberapa pendapat penting dari beberapa ahli untuk mendefinisikan riset operasi. Definisi riset operasi menurut Morse dan Kimbal yaitu metode ilmiah dengan dasar kuantitatif dalam mengambil keputusan. Definisi dari Morse dan Kimball tersebut tidak menggambarkan perbedaan yang signifikan ilmu riset operasi dengan ilmu yang lainnya. Pada tahun 1948, P.M.S Blacket mendefinisikan riset operasi yaitu metode ilmiah dengan dasar analisis dan obyektif dalam pengambilan keputusan yang optimum. Pada tahun 1957, Churchman, Acoff, dan Arnoff mendefisinikan riset operasi sebagai penerapan metode, teknik, dan alat untuk masalah yang melibatkan riset operasi sehingga diperoleh hasil yang optimal untuk solusi masalah tersebut (Hillier and Liebermen , 2001).

Pada tahun 1958, T.L. Satty mendefinisikan riset operasi adalah seni yang memberikan solusi untuk masalah operasi dari suatu instansi secara optimum.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Pada tahun 1975, definisi dari Thieanfand Klekamp tentang riset operasi adalah memanfaatkan pendekatan yang direncanaka dengan model secara matematis untuk memperoleh dasar kuantitatif dalam pengambilan keputusan yang optimum. Berdasarkan definisi-definisi yang sudah ada dapat disimpulkan bahwa riset operasi merupakan ilmu yang berkaitan dengan maslaah optimasi suatu keputusan yang mempertimbangkan kemungkinan yang terbaik sehingga diperoleh keputusan yang optimal (Hillier and Liebermen , 2001).

2.4. Pemodelan Matematis

Model matematika juga merupakan representasi ideal. Model yang digambarkan dalam simbol matematika. Jika terdapat *n* keputusan yang akan dibuat, modelnya akan direpresentasikan sebagai *decision variable (x1,x2,...,xn)* yang merepresentasikan nilai yang akan ditentukan. Kemudian, untuk fungsi yang merepresentasikan nilai yang tepat untuk sebuah performasi nilai keuntungan disebut *objective function*. Beberapa batasan yang dapat mempengaruhi *decision variable* juga diekpresikan secara matematis biasanya dalam bentuk pertidaksamaan matematika. Nilai pembatas tersebut disebut *constraints*. Konstanta dari *constraints* dan *objective function* disebut sebagai parameter dalam model. Model matematika tersebut mencari nilai *decision variables* untuk dapat memaksimalkan atau meminimumkan *objective function* (Hillier and Liebermen , 2001).

2.5. *Nonlinear Programming*

Nonlinear programming berkaitan dengan masalah optimasi fungsi objektif dalam kendala persamaan maupun pertidaksamaan (Bazaraa, Dkk , 2006). *Nonlinear programming* adalah salah satu bagian dalam riset operasi yang berguna

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

untuk memecahkan permasalahan optimasi dengan menggunakan persamaan dan pertidaksamaan nonlinear untuk memperoleh nilai keluaran yang optimal dengan memperhatikan sumber-sumber (Nurcahyani, 2014). Permasalahan optimasi dikatakan nonlinear jika masalah tersebut fungsi tujuan dan kendalanya mempunyai bentuk nonlinear pada salah satu maupun keduanya (Luknanto , 2000).

Masalah dalam hal optimasi yaitu memaksimumkan atau meminimumkan merupakan permasalahan yang biasa ditemui dalam kehidupan masyarakat, seperti masalah dalam bidang ekonomi yang berkaitan dengan memaksimalkan keuntungan dalam produksi barang yang akan dijual dengan biaya produksi yang minimal serta meminimumkan kerugian produk. Faktanya di kehidupan masyarakat, fungsi-fungsi yang berkaitan dengan masalah tersebut tidak selalu linear tetapi nonlinear. Anggapan pada *linear programming* adalah semua fungsinya yaitu *objective function* dan *constraints function* bersifat linear. Anggapan tersebut berlaku pada beberapa kondisi namun tidak semua kondisi kenyataannya bersifat linear. Beberapa ahli ekonomi telah mendapatkan permasalahan selain dari masalah yang bersifat linear juga masalah bersifat nonlinear yang merupakan aturan dari masalah perencanaan ekonomi (Hillier and Liebermen , 2001).

Bentuk utama dari *nonlinear programming* adalah untuk mencari nilai $x = (x1, x2, ..., xn)$ untuk memperoleh nilai maksimum $f(x)$ dengan kendala seperti Persamaan 2.1:

$$g_i(x) \leq b_i, untuk\ i = 1, 2, 3, ..., n\ dan\ x \geq 0 \tag{2.1}$$

Dimana $f(x)$ dan $g_i(x)$ adalah fungsi dengan *n decision variables* (Hillier and Liebermen , 2001). Masalah *nonlinear programming* yang memiliki satu atau dua

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

variabel, masalah tersebut dapat digambarkan secara grafik. Contoh fungsi permasalahan dengan pendekatan nonlinear programming yaitu *objective function* yang berbentuk nonlinear pada Persamaan 2.2:

$$\begin{aligned} objective\ function\ Z &= (250x - x_1)x_1 + (600x - x_2)x_2 \\ constraint\ function &= 0.25x_1 + 0.40x_2 \leq 500 \\ & \quad 0.75x_1 + 0.60x_2 \leq 1200 \\ & \quad x_1 \geq 0,\ x_2 \geq 0 \end{aligned} \tag{2.2}$$

Terdapat berbagai jenis *nonlinear programming* yang menyesuaikan dengan tujuan dan fungsi kendala. *Nonlinear programming* memiliki penyelesaian kompleks berdasarkan fungsi kendala untuk pemrograman persamaan *quadratic* atau cembung. *Nonlinear programming* dapat memiliki kendala maupun tidak memiliki kendala (Hemmecke, dkk , 2009).

2.6. Fungsi Karakteristik *Input-Ouput* dengan Regresi Dua Variabel

Karakteristik *input-output* pembangkit dapat membantu mengatasi permasalahan yang sering dalam pengoperasian sistem tenaga listrik. Permasalahan timbul biasanya disebabkan selalu terjadinya perubahan dari waktu ke waktu, biaya bahan bakar dan pengaruh dari kondisi alam serta lingkungan sekitar (Djiteng , 2006). Biaya operasi merupakan bagian terbesar dalam biaya proses operasi pada perusahaan listrik. Biaya operasi agar lebih ekonomis, diperlukan sistem penjadwalan unit pembangkit berdasarkan karakteristik masing-masing pembangkit. Berikut ini adalah istilah-istilah yang digunakan dalam mendefinisikan karakteristik dari unit pembangkit yaitu:

1. H = Besaran panas sebagai input unit pembangkit (Mmbtu/jam)

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

2. F = Besaran biaya input unit pembangkit (Harga bahan bakar $\times$ H) = USD/jam

Pemodelan fungsi karakteristik *input-output* mengunakan polinomial orde dua untuk mendapatkan pendekatan hubungan antara *input* bahan bakar terhadap *output* yang dihasilkan pembangkit sehingga dapat dituliskan dengan Persamaan 2.4.

$$H_i = \alpha_i + \beta_i P_i + \gamma_i P_i^2 \tag{2.3}$$

Dimana:

Hi	=	Input bahan bakar pembangkit termal ke-i
P_i	=	Ouput pembangkit termal ke-i (MW)
$\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$	=	Konstanta *input-output* pembangkit termal ke-*i*

Untuk menghitung regresi dari nilai beban pada turbin gas (MW) dan tingkat penggunaan bahan bakar gas (MMBTU/Kwh), dapat digunakan *microsoft excel*, Matlab, minitab 14.0 dan perangkat lunak lainnya yang mendukung untuk mencari regresi dari dua variabel dengan model linear, *quadratic*, maupun *cubic*. Hasil dari regresi antara nilai beban pada turbin gas dengan tingkat penggunaan bahan bakar didapatkan model matematis. Model matematis yang sudah diperoleh diuji kecocokan model untuk mengevaluasi kecocokan model dengan data. Untuk menentukan persamaan karakteristik *input-output* dari suatu pembangkit lebih tepat menggunakan koefisien R^2 *(R square)* dari masing-masing model. Nilai R^2 *(R square)* terletak diantara 0-1, dan kecocokan model dikatakan tepat jika nilai R^2 mendekati 1. Semakin besar nilai R^2 maka semakin tepat model regresinya (Wahidah, dkk , 2018).

Nilai konstanta *input-output* pembangkit didapatkan dengan menggunakan metode *least square* (kuadrat terkecil) polinom orde dua. Berdasarkan *n* data daya

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

keluaran P dan jumlah bahan bakar H, konstanta persamaan didapatkan dari penyelesaian Persamaan 2.8.

$$N\alpha + \beta\Sigma P_i + \gamma\Sigma P_i^2 = \Sigma H_i \tag{2.4}$$

$$\alpha\Sigma P_i + \beta\Sigma P_i^2 + \gamma\Sigma P_i^3 = \Sigma P_i H_i \tag{2.5}$$

$$\alpha\Sigma P_i^2 + \beta\Sigma P_i^3 + \gamma\Sigma P_i^4 = \Sigma P_i^2 H_i \tag{2.6}$$

Dari Persamaan 2.5, 2.6 dan 2.7 diubah dalam bentuk matriks, sehingga diperoleh matriks seperti pada Persamaan 2.8.

$$\begin{pmatrix} n & \Sigma P_i & \Sigma P_i^2 \\ \Sigma P_i & \Sigma P_i^2 & \Sigma P_i^3 \\ \Sigma P_i^2 & \Sigma P_i^3 & \Sigma P_i^4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Sigma H_i \\ \Sigma P_i H_i \\ \Sigma P_i^2 H_i \end{pmatrix} \tag{2.7}$$

Karakteristik *input-output* dari unit pembangkit termal yang ideal dapat digambarkan sebagai kurva nonlinear yang kontinu. Pembangkit termal memiliki batasan operasi maksimum (*Pmax*) dan minimum (*Pmin*). Pada umumnya unit pembangkit termal tidak dapat beroperasi di bawah 30% dari kapasitas pembangkit itu sendiri. Karakteristik *input-output* dari unit pembangkit dalam metode *nonlinear programming* digunakan untuk menentukan *objective function* dan *constraint function*.

2.6.1. *Objective Function*

Objective function digunakan untuk mencari minimal atau maksimal dari suatu permasalahan. Dalam penentuan beban optimal pada pembangkit, *objective function* digunakan untuk mencari miminum dari pemakaian bahan bakar gas

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

dalam satuan energi MMBTU/KWh. Untuk menentukan *objective function* yaitu berdasarkan data penggunaan bahan bakar dan data beban yang dihasilkan.

Untuk menentukan fungsi tersebut digunakan regresi dua variabel untuk mendapatkan pendekatan hubungan antara *input* bahan bakar terhadap *output* yang dihasilkan pembangkit sehingga dapat dituliskan dengan Persamaan 2.9:

$$H_i = \alpha_i + \beta_i P_i + \gamma_i P_i^2 \tag{2.8}$$

Dimana:

Hi	=	Input bahan bakar pembangkit termal ke-i
P_i	=	Output pembangkit termal ke-i (MW)
$\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$	=	Konstanta input-output pembangkit termal ke-i

Fungsi karakteristik yang diperoleh digunakan untuk perhitungan selanjutnya. Fungsi karakteristik digunakan menentukan *objective function* dengan tujuan meminimalkan pemakaian bahan bakar gas untuk mengehemat biaya produksi listrik, sehingga *objective function* pada Persamaan 2.10:

$$Minimum\ Z = \Sigma_{i=1}^{n} H_i \tag{2.9}$$

Dimana:

n = jumlah pembangkit

Fungsi di atas merupakan fungsi polinomial orde dua sehingga kondisi tersebut tergolong dalam masalah *nonlinear programming*.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

2.6.2. *Constraints Function*

Constraint function adalah fungsi yang membatasi variabel keputusan, yaitu $x_1, x_2, x_3, ..., x_n$. Untuk pengoptimalan pembagian beban pada pembangkit listrik terdapat beberapa *constraint function* yaitu:

a) Kapasitas Beban Pada Turbin Gas

Setiap jenis turbin gas yang digunakan oleh pembangkit memiliki kapasitas yang berbeda. Untuk kapasitas turbin gas pada PT. PJB UP Gresik yaitu:

Kapasitas maksimum : ≤ 110 MW

Kapasitas minimum : ≥ 40 MW

b) Beban pada turbin uap

Beban yang dihasilkan pada turbin uap tergantung pada jumlah beban yang mampu dihasilkan oleh banyaknya turbin gas. Untuk mencari relasi antara beban pada turbin gas dengan jumlah beban yang dihasilkan dari masing-masing turbin gas dicari dengan menggunakan metode regresi dengan R^2 paling besar. Tujuan mencari relasi antara beban pada turbin gas dengan jumlah beban untuk mengetahui turbin gas yang paling optimal.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

BAB III

METODE PENELITIAN

Metode penelitian menjelaskan jenis penelitian yang akan digunakan, sumber data yang akan digunakan dalam penelitian, teknik pengumpulan data, pengolahan data dalam penelitian, dan langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini.

3.1. Jenis Penelitian

Pada penelitian ini, jenis penelitian yang digunakan adalah jenis penelitian kuantitatif. Penelitian kuantitatif merupakan jenis penelitian yang dilakukan berdasarkan data dalam bentuk angka sebagai acuan yang digunakan dalam penelitian untuk memperoleh hasil dari tujuan penelitian ini. Penelitian ini berupa data operasi harian bulan Maret 2019 di Blok 1 PLTGU PT. PJB UP Gresik.

3.2. Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari PT. PJB Unit Pembangkitan Gresik pada unit pembangkit PLTGU (Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap). Data yang digunakan dalam penelitian yaitu data pada bulan Maret 2019. Data yang digunakan berupa data beban harian pada setiap turbin gas (MW) dan turbin uap (MW), data penggunaan bahan bakar dan biaya bahan bakar. Contoh data produksi dan beban pada turbin pada unit PLTGU Blok 1 PT. PJB Unit Pembangkitan Gresik pada Tabel 3.1 dan data aliran gas pada Tabel 3.2.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Tabel 3.1 Contoh Data Produksi dan Beban pada Turbin

No	GT 1.1 (MW)	GT 1.2 (MW)	GT 1.3 (MW)	ST (MW)	Total (MW)
1	100.3	99.9	99.1	163.1	462.2
2	100.4	100.2	99.6	163.1	463.5
3	99.6	100	99.8	164	463.2
4	100.2	99.9	99.3	163.6	463.2
5	99.1	100.2	99.9	165	463.4

Tabel 3.2 Contoh Data Penggunaan Bahan Bakar GT 1.1

No	Daya (MW)	*Gas Flow* (KNm^3/h)	MMSCF/h	MMBTU/h	MMBTU/KWh
1	100.3	29.7	1.1085	1163.974	0.01160
2	100.4	29.7	1.1085	1163.974	0.01159
3	99.6	29.6	1.1048	1160.055	0.01165
4	100.2	29.7	1.1085	1163.974	0.01162
5	99.1	29.4	1.0973	1152.217	0.01163
6	99.4	99.5	1.1011	1156.136	0.01163
7	97.2	29	1.0899	1144.378	0.01177

3.3. Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data pada penelitian ini yaitu dengan mengambil data operasional harian unit pembangkit pada bagian Perencanaan dan Pengendalian Operasi (RENDAL OP) PLTGU PT. PJB UP Gresik. Data yang diambil yaitu data per jam blok 1 pada bulan Maret 2019 dalam satuan Mega Watt (MW), data penggunaan bahan bakar dalam satuan KNm^3/h, dan biaya bahan bakar (USD/Mmbtu).

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

3.4. Pengolahan Data

Pada bagian ini akan membahas mengenai model matematika yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan, yaitu dengan menerapkan metode *nonlinear programming*. Setelah menentukan metode, maka dilanjutkan dengan input data berdasarkan model matematika yang sudah ditentukan sebelumnya. Data yang digunakan pada bulan Maret 2019 pada saat kondisi operasi *combine cycle*. Data yang diperoleh kemudian dikonversi menjadi satuan yang telah ditentukan untuk dibuat sebuah model secara matematis. Hasil model tersebut diperoleh hasil optimal pada beban turbin gas untuk meminimumkan penggunaan bahan bakar. Dari hasil pengolahan data akan dibandingkan dengan kondisi sebelum dan sesudah dilakukan optimasi beban.

3.5. Pembentukan Model Matematika

Dalam bagian ini akan disusun model matematika atau persamaan karakteristik dari unit pembangkit yang akan dioptimalkan dalam pembagian beban berdasarkan data yang diperoleh. Model matematika ini menggambarkan siklus *combine cycle* pada unit pembangkit. Pembentukan model matematika menyatakan hubungan antara beban pada tiap turbin gas (MW) dengan bahan bakar yag digunakan (MMBTU/KWh) pada saat kondisi *combine cycle*. Untuk menentukan model matematika digunakan metode *nonlinear programming*.

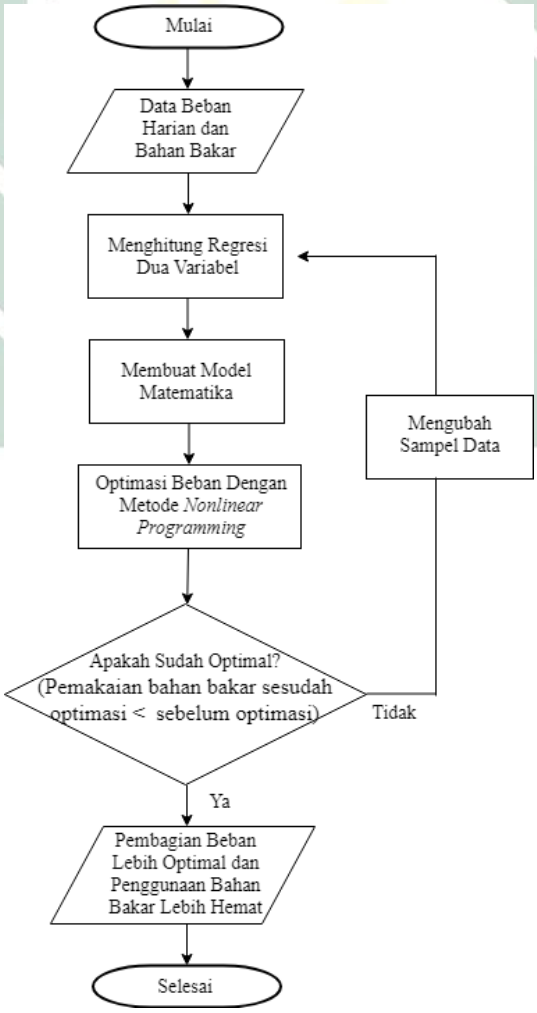
Penentuan model secara matematis dengan mencari regresi dua variabel antara beban pada tiap turbin gas (MW) dengan bahan bakar yag digunakan (MMBTU/KWh). Hasil regresi dua variabel dari masing-masing turbin gas dijadikan sebagai fungsi karakteristik *input-output*nya. Penelitian ini memiliki *objective function* yang bertujuan untuk meminimumkan penggunaan bahan bakar

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

gas yang digunakan di Blok 1 PLTGU PT. PJB Unit Pembangkitan Gresik. Kemudian, setelah menentukan *objective function* yaitu menentukan *constraint function* sebagai batasan-batasan terhadap variabel keputusan.

3.6. Rancangan Penelitian

Dari uraian metode penelitian yang telah dijelaskan sebelumnya, berikut ini adalah langkah-langkah penelitian yang disajikan dalam bentuk gambar *flowchart* rancangan penelitian. Untuk memudahkan dalam pemecahan masalah penelitian ini, maka diperlukan alur penelitian seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 ***Flowchart Rancangan Penelitian***

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Langkah-langkah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengumpulkan data yang akan digunakan sebagai bahan penelitian yaitu data penggunaan bahan bakar, data produksi dan beban pada turbin gas serta turbin uap, data produksi *combine cycle*, dan data historis efisiensi unit PLTGU.
2. Menghitung regresi dua variabel seperti pada Persamaan 2.4.
3. Membuat model matematis yang didapatkan dari hasil regresi dua variabel masing-masing turbin seperti pada Persamaan 2.8.
4. Menghitung optimasi beban menggunakan metode *nonlinear programming* seperti pada Persamaan 2.10.
5. Hasil optimasi dikatakan optimal, jika pemakaian bahan bakar sesudah optimasi lebih mininum dibandingkan sebelum optimasi. Apabila hasil tidak optimal maka kembali ke langkah ke 2.
6. Hasil pembagian beban dan biaya bahan bakar yang sudah optimal.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pemodelan Matematis

Penyusunan model matematika merepresentasikan unit pembangkit saat kondisi *combine cycle* yaitu saat HRSG dalam keadaan beroperasi semua sehingga gas buang dari turbin gas dapat disalurkan untuk memanaskan air yang ada di dalam pipa-pipa kecil dan menghasilkan uap kering yang digunakan untuk memutar turbin pada turbin uap. Pada keadaan *combine cycle*, semua turbin uap beroperasi sehingga dapat menggerakkan generator untuk dapat menghasilkan listrik hasil konversi dari energi kinetik menjadi energi listrik.

Data beban operasi harian dan penggunaan bahan bakar di PLTGU Blok 1 PT. PJB Gresik digunakan untuk membuat model secara matematis. Sebelum digunakan untuk penyusunan model, data penggunaan bahan bakar dikonversi terlebih dahulu dari satuan KNm^3/h atau *Kilo Normal Meter Cubic/Hour* menjadi satuan MMBTU/KWh atau *Million British Thermal Unit/KWh* . Konversi satuan aliran bahan bakar gas dapat menggunakan rumus seperti pada Persamaan 4.1

$$\begin{aligned} MMBTU &= MMSCF \times GHV \\ MMBTU/KWh &= \frac{MMBTU}{1000 \times MW} \end{aligned} \tag{4.1}$$

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Dimana:

1 KNm^3	=	0,0373248 MMSCF
MMSCF	=	Satuan untuk aliran gas dalam satuan *british*
MMBTU	=	Jumlah energi panas untuk menaikkan temperatur
GHV	=	Nilai kalor bahan bakar gas yang digunakan sebesar 1052 btu/scf

Berikut contoh hasil konversi satuan KNm^3 ke MMBTU/KWh pada data aliran gas bulan Maret 2019 PLTGU Blok 1 PT. PJB UP Gresik pada Tabel 4.1:

Tabel 4.1 Hasil Konversi Satuan Gas

No	*Gas Flow* (KNm^3/h)	MMSCF/h	MMBTU/h	MMBTU/KWh
1	29.7	1.1085	1163.974	0.01160
2	29.7	1.1085	1163.974	0.01159
3	29.6	1.1048	1160.055	0.01165
4	29.7	1.1085	1163.974	0.01162
5	29.4	1.0973	1152.217	0.01163
6	29.5	1.1011	1156.136	0.01163
7	29	1.0899	1144.378	0.01177

Faktor yang mempengaruhi besar kecilnya penggunaan bahan bakar adalah beban yang diperintahkan pada turbin gas untuk produksi. Data Primer beban pada setiap turbin gas beserta tingkat penggunaan bahan bakar pada saat operasi *combine cycle* bulan Maret 2019 di Blok 1 PLTGU PT. PJB UP Gresik seperti pada Tabel 4.2 hingga Tabel 4.4 sebagai berikut:

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Tabel 4.2 Data Primer Beban Turbin Gas 1.1

Beban (MW)	*Gas Flow* (KNm^3/h)	MMSCF/h	MMBTU/h	MMBTU/KWh
100.3	29.7	1.1085	1163.974	0.01160
100.4	29.7	1.1085	1163.974	0.01159
99.6	29.6	1.1048	1160.055	0.01165
100.2	29.7	1.1085	1163.974	0.01162
99.1	29.4	1.0973	1152.217	0.01163
99.4	29.5	1.1011	1156.136	0.01163
97.2	29	1.0899	1144.378	0.01177

Tabel 4.3 Data Primer Beban Turbin Gas 1.2

Beban (MW)	*Gas Flow* (KNm^3/h)	MMSCF/h	MMBTU/h	MMBTU/KWh
99.9	29.9	1.1160	1171.81	0.01173
100.2	29.9	1.1160	1171.81	0.01169
100	29.9	1.1160	1171.81	0.01172
99.9	29.9	1.1160	1171.81	0.01173
100.2	30	1.1197	1175.73	0.01173
99.8	29.9	1.1160	1171.81	0.01174
98.3	29.5	1.1011	1156.14	0.01176

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Tabel 4.4 Data Primer Beban Turbin Gas 1.3

Beban (MW)	*Gas Flow* (KNm^3/h)	MMSCF/h	MMBTU/h	MMBTU/KWh
99.1	30.1	1.1235	1179.65	0.01190
99.6	30.2	1.1272	1183.57	0.01188
99.8	30.3	1.1309	1187.49	0.01190
99.3	30.2	1.1272	1183.57	0.01192
99.9	30.3	1.1309	1187.49	0.01189
99.8	30.3	1.1309	1187.49	0.01190
98.7	30	1.1197	1175.73	0.01191

Data dari ketiga tabel tersebut menjelaskan tentang hubungan antara beban yang dihasilkan dengan penggunaan bahan bakar yang dipakai pada saat proses pembangkitan. Pada tabel tersebut data penggunaan bahan bakar dengan satuan KNm^3 telah dikonversi menjadi satuan MMBTU/KWh.

Dari data konsumsi bahan bakar dan daya yang dihasilkan pada unit blok 1 PLTGU PT. PJB UP Gresik digunakan untuk menentukan model persamaan karakteristik *input-output* masing-masing turbin gas. Metode yang digunakan untuk menentukan persamaan karakteristiknya adalah regresi polinomial orde dua. Parameter yang digunakan untuk menentukan tingkat ketepatan masing-masing model matematis yang dibentuk menggunakan koefisien R^2 *(R square)*. Nilai dari *(R square)* dikatakan tepat jika nilainya mendekati 1.

Model matematis dari siklus *combine cycle* pada pembangkit pada penelitian ini digunakan untuk meminimalkan penggunaan bahan bakar gas dalam satuan energi MMBTU/KWh pada saat operasi. Model matematis yang sudah diperoleh kemudian diuji kecocokan model untuk mengetahui kecocokan antara

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

model dengan data yang digunakan. Sebelum menggunakan metode regresi polinomial orde dua, diperlukan *ploting* data untuk mengetahui data tersebut termasuk data linear atau nonlinear kemudian dilakukan uji kecocokan model.

Untuk menghitung persamaan karakteristik *input-output* dari masing-masing turbin gas menggunakan Persamaan 2.8:

Dimana:

n	=	Jumlah data sampel
ΣP_i	=	Total daya turbin gas ke-*i* (MW)
ΣH_i	=	Total bahan bakar gas (MMBTU/KWh)
y_i	=	Fungsi karakteristik turbin gas ke-*i*
x_i	=	Konstanta *input-output* turbin gas ke-*i*

Persamaan karakteristik *input-output* turbin gas 1.1:

$$\begin{pmatrix} n & \Sigma P_1 & \Sigma P_1^2 \\ \Sigma P_1 & \Sigma P_1^2 & \Sigma P_1^3 \\ \Sigma P_1^2 & \Sigma P_1^3 & \Sigma P_1^4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Sigma H_1 \\ \Sigma P_1 H_1 \\ \Sigma P_1^2 H_1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 16 & 1282.808 & 105304.514 \\ 1282.808 & 105304.514 & 8838361.530 \\ 105304.514 & 8838361.530 & 757082453.118 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} 0.199 \\ 15.915 \\ 1297.641 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.0262116 \\ -0.0002907 \\ 0.00000015 \end{pmatrix}$$

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Sehingga diperoleh persamaan karakteristik *input-output* pada turbin 1.1 adalah:

$y_1 = 0.0262116 - 0.0002907x_1 + 0.00000015x_1^2$

Persamaan karakteristik *input-output* turbin gas 1.2:

$$\begin{pmatrix} n & \Sigma P_2 & \Sigma P_2^2 \\ \Sigma P_2 & \Sigma P_2^2 & \Sigma P_2^3 \\ \Sigma P_2^2 & \Sigma P_2^3 & \Sigma P_2^4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Sigma H_2 \\ \Sigma P_2 H_2 \\ \Sigma P_2^2 H_2 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 17 & 1363.208 & 111771.774 \\ 1363.208 & 111771.774 & 9358119,239 \\ 111771.774 & 9358119.239 & 798773733.679 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} 0.214 \\ 17.076 \\ 1389.977 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.0243773 \\ -0.0002426 \\ 0.00000011 \end{pmatrix}$$

Sehingga diperoleh persamaan karakteristik *input-output* pada turbin 1.2 adalah:

$y_2 = 0.0243773 - 0.0002426x_2 + 0.00000011x_2^2$

Persamaan karakteristik *input-output* turbin gas 1.3:

$$\begin{pmatrix} n & \Sigma P_3 & \Sigma P_3^2 \\ \Sigma P_3 & \Sigma P_3^2 & \Sigma P_3^3 \\ \Sigma P_3^2 & \Sigma P_3^3 & \Sigma P_3^4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Sigma H_3 \\ \Sigma P_3 H_3 \\ \Sigma P_3^2 H_3 \end{pmatrix}$$

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

$$\begin{pmatrix} 17 & 1361.825 & 111565.491 \\ 1361.825 & 111565.491 & 9334573.159 \\ 111565.491 & 9334573.159 & 796328347.830 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{pmatrix}$$

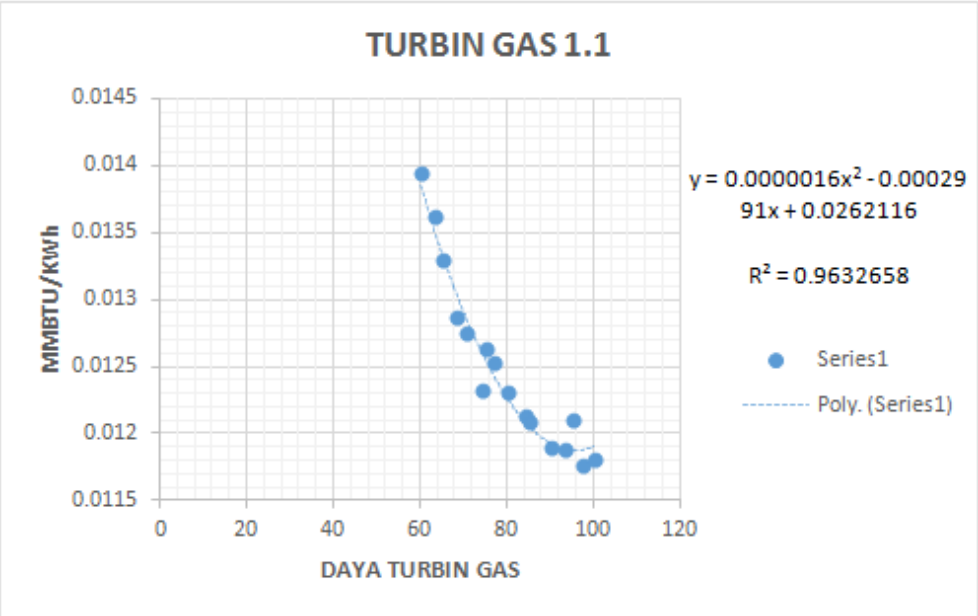
$$= \begin{pmatrix} 0.217 \\ 17.310 \\ 1406.677 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.0235989 \\ -0.0002117 \\ 0.0000001 \end{pmatrix}$$

Sehingga diperoleh persamaan karakteristik *input-output* pada turbin 1.3 adalah:

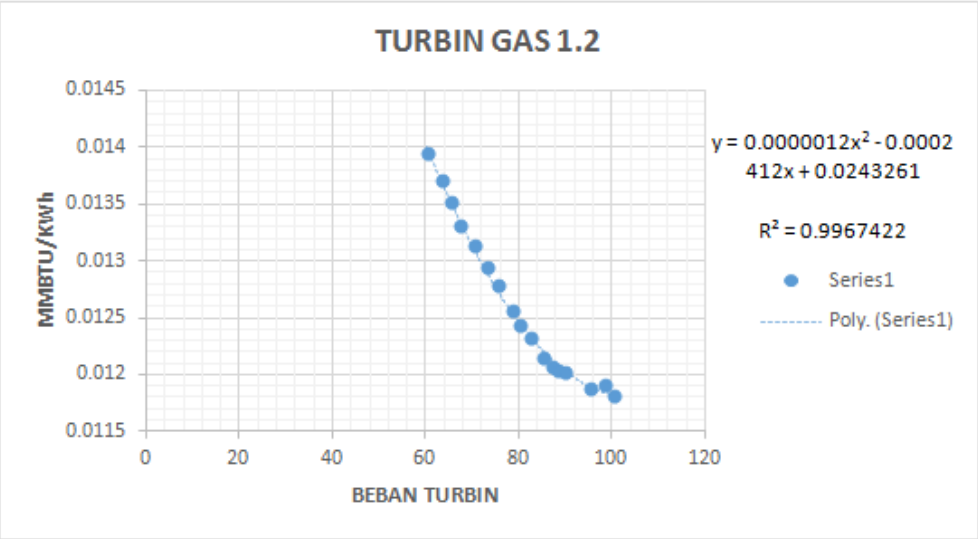
$y_3 = 0.0235989 - 0.0002117x_3 + 0.0000001x_3^2$

Berikut hasil dalam bentuk plot dengan *ploting* data dari masing-masing turbin gas di Blok 1 PLTGU seperti pada Gambar 4.1 - 4.3 :

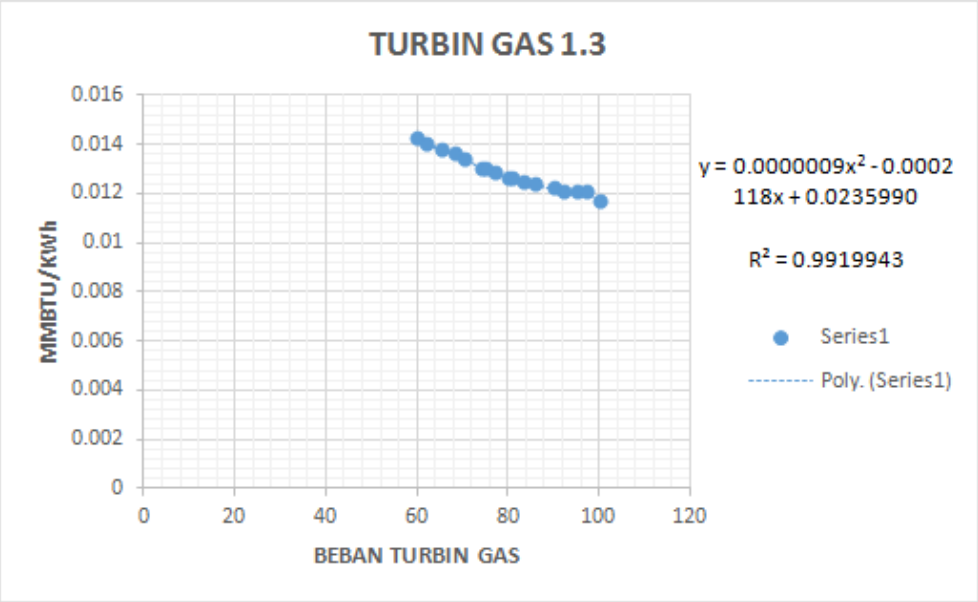


Gambar 4.1 *Ploting* Data Turbin Gas 1.1

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id



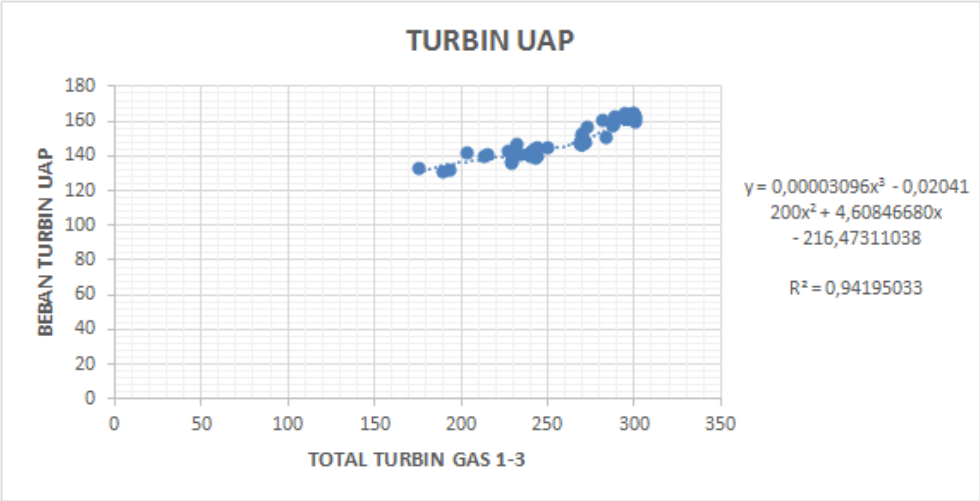
Gambar 4.2 *Ploting* Data Turbin Gas 1.2



Gambar 4.3 *Ploting* Data Turbin Gas 1.3

Persamaan dari masing-masing turbin gas yang telah diperoleh digunakan sebagai *objective function* dengan tujuan meminimumkan pemakaian bahan bakar gas di Blok 1 PLTGU.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id



Gambar 4.4 *Ploting* Data Turbin Uap

Model matematis yang terbentuk untuk keadaan operasi *combine cycle* pada bulan Maret 2019 blok 1 PLTGU PT. PJB UP Gresik seperti berikut:

$$Minimum\ Z\ =\ \Sigma_{i=1}^{3} y_i$$

$$y_1 = 0.0262116 - 0.0002907x_1 + 0.00000015x_1^2$$

$$y_2 = 0.0243773 - 0.0002426x_2 + 0.00000011x_2^2$$

$$y_3 = 0.0235989 - 0.0002117x_3 + 0.0000001x_3^2$$

sehingga, minimum $Z = y_1 + y_2 + y_3$

dengan batasan:

$$x_j \leq 110\ MW\ ,\ x_j \geq\ 40\ MW, dan\ 0 \leq PP \leq 500\ MW$$

beban *steam turbine* (ST):

$$\textit{Steam Turbine}\ =\ -216.4731104 + 4.6084668x_s - 0.0204120x_s^2 + 0,0000310x_s^3$$

total beban yang diproduksi:

$$TP = \Sigma_{i=1}^{3} y_i + ST$$

Keterangan:

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

y_i = Konsumsi bahan bakar gas pada turbin gas ke-*i* (MMBTU/KWh)

x_1 = Kapasitas beban turbin gas pada turbin gas 1 (MW)

x_2 = Kapasitas beban turbin gas pada turbin gas 2 (MW)

x_3 = Kapasitas beban turbin gas pada turbin gas 3 (MW)

x_s = Total beban pada turbin gas 1, 2, dan 3 (MW)

PP = Perintah jumlah beban yang akan diproduksi (MW)

ST = Beban pada *steam turbine* atau turbin uap

TP = Total beban yang diproduksi (MW)

4.2. Perhitungan *Nonlinear Programming*

Model matematis yang telah diperoleh dari ketiga turbin gas di blok 1 PT. PJB UP Gresik akan di *inputkan* data produksi listrik pada bulan Maret 2019 saat kondisi *combine cycle*. Hasil keluaran dari perhitungan ini adalah:

1. Pembagian beban turbin gas dengan metode *nonlinear programming* yaitu daya atau beban pada turbin gas 1.1, turbin gas 1.2, turbin gas 1.3, dan turbin uap.
2. Tingkat pemakaian bahan bakar gas pada setiap turbin gas.
3. Total produksi dari total yang dihasilkan setiap turbin gas dan ditambah dengan hasil beban pada turbin uap.

Perhitungan ini menggunakan bantuan *solver* pada *software* yang digunakan untuk menganalisis nilai optimum dari suatu fungsi. Model matematika yang sudah diperoleh kemudian di *input* ke dalam *solver* sesuai dengan tujuan fungsi untuk meminimalkan tingkat pemakaian bahan bakar gas di Blok 1 saat operasi kondisi *combine cycle*. Berikut contoh bentuk visualisasi dalam *software* untuk perhitungan

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

dengan tujuan menimimalkan pemakaian bahan bakar gas.

Tabel 4.5 Input Data Produksi

Turbin Gas	Beban (MW)	Turbin Gas	Bahan Bakar (MMBTU/KWh)
Turbin Gas 1.1	98.3	Turbin Gas 1.1	0.01188316
Turbin Gas 1.2	98.7	Turbin Gas 1.2	0.01184266
Turbin Gas 1.3	98.5	Turbin Gas 1.3	0.01188489
Turbin Uap	161.7	Total Gas	0.03561069
Perintah Produksi	457.2		
Total Produksi	....		

Perintah produksi sesuai dengan jumlah produksi pada bulan Maret 2019 blok 1 PLTGU. Perintah produksi yang sudah dimasukkan, *solver* akan melakukan perhitungan sesuai dengan model yang sudah dibuat untuk meminimumkan pemakaian bahan bakar gas dan mengoptimalkan hasil beban pada turbin gas sesuai dengan perintah beban yang akan diproduksi. Contoh pada Tabel 4.6 dengan perintah produksi sebesar 457.2 MW dan Tabel 4.8 dengan perintah produksi sebesar 466.8 MW:

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan

Turbin Gas	Beban (MW)	Turbin Gas	Bahan Bakar (MMBTU/KWh)
Turbin Gas 1.1	91.621	Turbin Gas 1.1	0.011902293
Turbin Gas 1.2	97.893	Turbin Gas 1.2	0.011852608
Turbin Gas 1.3	105.296	Turbin Gas 1.3	0.01175109
Turbin Uap	162.389	Total Gas	0.035505991
Perintah Produksi	457.2		
Total Produksi	457.2		

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Tabel 4.7 Input Data Produksi

Turbin Gas	Beban (MW)	Turbin Gas	Bahan Bakar (MMBTU/KWh)
Turbin Gas 1.1	100.6	Turbin Gas 1.1	0.01190877
Turbin Gas 1.2	100.3	Turbin Gas 1.2	0.01182743
Turbin Gas 1.3	100.4	Turbin Gas 1.3	0.01183872
Turbin Uap	165.55	Total Gas	0.03557492
Perintah Produksi	466.8		
Total Produksi	....		

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan

Turbin Gas	Beban (MW)	Turbin Gas	Bahan Bakar (MMBTU/KWh)
Turbin Gas 1.1	93.040	Turbin Gas 1.1	0.01177658
Turbin Gas 1.2	99.783	Turbin Gas 1.2	0.01183169
Turbin Gas 1.3	107.644	Turbin Gas 1.3	0.01172509
Turbin Uap	166.331	Total Gas	0.03544336
Perintah Produksi	466.8		
Total Produksi	466.8		

Perhitungan dengan cara yang sama sesuai dengan perintah produksi yang ada pada data pada bulan Maret 2019 di blok 1 PLTGU PT. PJB UP Gresik pada saat kondisi *combine cycle*.

4.3. Hasil Perhitungan

Bagian ini dilakukan perhitungan sesuai dengan data awal yang sudah diperoleh dari PT. PJB UP Gresik yaitu data operasi blok 1 PLTGU pada bulan Maret 2019 saat kondisi *combine cycle*. Pada perhitungan ini data akan digunakan

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

merupakan data selama satu hari atau 24 jam. Data operasi yang diperoleh tingkat produksi tertulis setiap 5 menit sekali, sehingga data selama satu hari terdapat 288 data produksi. Berikut hasil perhitungan data produksi selama satu hari pada blok 1 PLTGU PT. PJB UP Gresik pada Tabel 4.9 dan 4.12 di bawah ini:

Tabel 4.9 Sebelum Optimasi Selama 24 Jam

Produksi (MW)	GT 1.1	GT 1.2	GT 1.3	GAS 1.1	GAS 1.2	GAS 1.3
458.4	97.2	98.3	98.7	0.011877	0.011847	0.011880
457.8	98.3	98.6	98.5	0.011883	0.011844	0.011885
456.4	97.7	98.5	98.3	0.011879	0.011845	0.011890
455.9	97.8	98.2	98.3	0.011880	0.011849	0.011890
456.9	97.8	98.6	98.6	0.011880	0.011842	0.011882
457.7	98.2	98.7	99	0.011882	0.011843	0.011872
456.1	98	98.4	98.1	0.011881	0.011846	0.011895
462.4	100.3	99.9	99.1	0.011904	0.011831	0.011870
463.3	100.4	100.2	99.6	0.011906	0.011828	0.011857
463.4	99.6	100	99.8	0.011896	0.011830	0.011853
463	100.2	99.9	99.3	0.011903	0.01181	0.011865
464.2	99.1	100.2	99.9	0.011890	0.011828	0.011850
463.3	99.4	99.8	99.8	0.011893	0.011832	0.011853
458.4	97.2	98.3	98.7	0.011877	0.011847	0.011880
457.8	98.3	98.6	98.5	0.011883	0.011844	0.011885
....	....	....	....	....	....	....
465.4	100.1	100.3	100.3	0.011902	0.011827	0.011841

Hasil bentuk *objective function* dan *constraint function* untuk optimasi

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

pemakaian bahan bakar gas pada turbin gas Blok 1 dengan perintah produksi sebesar 458.4 MW dengan data awal yang akan di *input*kan ke *solver* sebagai berikut:

Uji coba 1

Turbin gas 1.1 (x_1) = 97.2 MW

Turbin gas 1.2 (x_2) = 98.3 MW

Turbin gas 1.3 (x_2) = 98.7 MW

Turbin uap (x_s) = 164.2 MW

$$Minimum\ Z\ =\ \Sigma_{i=1}^{3} y_i$$

$$y_1 = 0.0262116 - 0.0002907x_1 + 0.00000015x_1^2$$

$$y_2 = 0.0243773 - 0.0002426x_2 + 0.00000011x_2^2$$

$$y_3 = 0.0235989 - 0.0002117x_3 + 0.0000001x_3^2$$

sehingga, minimum $Z = y_1 + y_2 + y_3$

dengan batasan:

$$x_j \leq 110\ MW\ ,\ x_j \geq\ 40\ MW$$

dan $x_1 + x_2 + x_3 + x_s \leq 458.4\ MW$

Diperoleh hasil optimasi pemakaian bahan bakar gas dan pembagian beban di tiap turbin gas dengan perintah produksi sebesar 458.4 MW pada Tabel 4.10 sebagai berikut:

Tabel 4.10 Hasil Optimasi Perintah Produksi 458.4 MW

Keterangan	**Beban (MW)**	**Bahan Bakar (MMBTU/KWh)**
Turbin Gas 1.1	91.802	0.011899
Turbin Gas 1.2	98.135	0.011849
Turbin Gas 1.3	105.596	0.011747
Turbin Uap (MW)	162.867	

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Untuk perintah produksi sebesar 457.8 MW dengan data awal yang akan di *input*kan ke *solver* sebagai berikut:

Uji coba 2

Turbin gas 1.1 (x_1) = 98.3 MW

Turbin gas 1.2 (x_2) = 98.6 MW

Turbin gas 1.3 (x_2) = 98.5 MW

Turbin uap (x_s) = 162.4 MW

$$Minimum\ Z\ =\ \Sigma_{i=1}^{3} y_i$$

$$y_1 = 0.0262116 - 0.0002907x_1 + 0.00000015x_1^2$$

$$y_2 = 0.0243773 - 0.0002426x_2 + 0.00000011x_2^2$$

$$y_3 = 0.0235989 - 0.0002117x_3 + 0.0000001x_3^2$$

$$\text{Minimum } Z = y_1 + y_2 + y_3$$

dengan batasan:

$$x_j \leq 110\ MW\ ,\ x_j \geq\ 40\ MW$$

$$\text{dan } x_1 + x_2 + x_3 + x_s \leq 457.8\ MW$$

Diperoleh hasil optimasi pemakaian bahan bakar gas dan pembagian beban di tiap turbin gas dengan perintah produksi sebesar 457.8 MW pada Tabel 4.11 sebagai berikut:

Tabel 4.11 Hasil Optimasi Perintah Produksi 457.8 MW

Keterangan	Beban (MW)	Bahan Bakar (MMBTU/KWh)
Turbin Gas 1.1	91.712	0.011901
Turbin Gas 1.2	98.014	0.011851
Turbin Gas 1.3	105.446	0.011749
Turbin Uap (MW)	162.628	

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Perhitungan dengan cara yang sama untuk menghitung data operasi lainnya yang dilakukan optimasi pemakaian bahan bakar sesuai dengan perintah produksinya. Berikut Tabel 4.12 menunjukkan hasil perhitungan optimasi pada data operasi per 5 menit selama 24 jam di bulan Maret 2019 dengan total 288 data operasi :

Tabel 4.12 Sesudah Optimasi Selama 24 Jam

Produksi (MW)	GT 1.1	GT 1.2	GT 1.3	GAS 1.1	GAS 1.2	GAS 1.3
458.4	91.802	98.135	105.596	0.011899	0.011849	0.011747
457.8	91.712	98.014	105.446	0.011901	0.011851	0.011749
456.4	91.500	97.732	105.095	0.011903	0.011854	0.011754
455.9	91.423	97.630	104.969	0.011904	0.011856	0.011756
456.9	91.576	97.833	105.221	0.011902	0.011853	0.011752
457.7	91.697	97.994	105.421	0.011901	0.011851	0.011749
456.1	91.454	97.671	105.020	0.011904	0.011855	0.011755
462.4	92.398	98.928	106.583	0.011892	0.011840	0.011736
463.3	92.531	99.105	106.802	0.011891	0.011838	0.011733
463.4	92.546	99.124	106.826	0.011891	0.011838	0.011733
463	92.487	99.046	106.729	0.011892	0.011839	0.011734
464.2	92.663	99.280	107.020	0.011890	0.011836	0.011731
463.3	92.531	99.105	106.802	0.011891	0.011838	0.011733
458.4	91.802	98.135	105.596	0.011900	0.011849	0.011747
457.8	91.712	98.014	105.446	0.011901	0.011851	0.011749
....	....	....	....	....	....	....
465.4	92.837	99.513	107.309	0.011888	0.011834	0.011728

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Hasil optimasi yang didapatkan kemudian membandingkan nilai sebelum optimasi dan sesudah optimasi. Hasil optimasi menunjukkan pembagian beban pada turbin gas mempengaruhi penggunaan bahan bakar gas pada saat proses operasi. Turbin gas yang lebih hemat dalam pemakaian bahan bakar akan diberikan beban yang maksimum sehingga dapat meminimalisir pemakaian bahan bakar. Pada Tabel 4.13 menunjukkan rata-rata pemakaian bahan bakar gas sebelum optimasi setiap turbin gas dan Tabel 4.14 menunjukkan rata-rata hasil optimasi pemakaian bahan bakar gas setiap turbin gas dalam satuan MMBTU/KWh sebagai berikut:

Tabel 4.13 Rata-Rata Pemakaian Bahan Bakar Gas Sebelum Optimasi

Keterangan	Turbin Gas 1.1	Turbin Gas 1.2	Turbin Gas 1.3	Total
Rata-rata	0.011904	0.011853	0.011889	0.035647

Tabel 4.14 Rata-Rata Pemakaian Bahan Bakar Gas Setelah Optimasi

Keterangan	Turbin Gas 1.1	Turbin Gas 1.2	Turbin Gas 1.3	Total
Rata-rata	0.011907	0.011859	0.011758	0.035524

Pada Tabel 4.15 menunjukkan selisih rata-rata pemakaian bahan bakar gas selama satu hari dengan produksi setiap 5 menit sebelum optimasi dan sesudah optimasi. Hasil perhitungan dan perbandingan hasil optimasi yang lengkap akan disajikan di Lampiran B dan C.

Tabel 4.15 Perbandingan Pemakaian Bahan Bakar Gas Sebelum dan Sesudah Optimasi

Keterangan	Sebelum Optimasi	Sesudah Optimasi	Selisih
Rata-rata selama 24 jam	0.035647	0.035524	0.000124

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Persamaan yang sudah dibuat dengan tujuan untuk menimalkan pemakaian bahan bakar gas dari masing-masing turbin gas mempengaruhi dari tingkat pemakaian bahan bakar gas pada setiap turbin gas.

1. y_1 = 0.0262116 - 0.0002907x_1 + 0.00000015x_1^2
2. y_2 = 0.0243773 - 0.0002426x_2 + 0.00000011x_2^2
3. y_3 = 0.0235989 - 0.0002117x_3 + 0.0000001x_3^2

Persamaan yang sudah diperoleh terdapat variabel yang bisa mempengaruhi tingkat pemakaian bahan bakar gas atau y_i adalah beban yang diproduksi pada turbin gas atau x_j. Fakta yang ada di lapangan tidak hanya beban produksi yang dihasilkan yang mempengaruhi tingkat pemakaian bahan bakar, tetapi faktor luar seperti keadaan turbin gas, kehandalan pada turbin gas, korosi yang terjadi pada turbin gas, dan faktor cuaca. Faktor luar tersebut tidak secara langsung mempengaruhi tingkat dari efisiensi pada saat proses di turbin gas, sehingga tidak dapat digunakan sebagai acuan dan parameter dari tingkat pemakaian bahan bakar gas.

4.4. Analisa Hasil Optimasi

Selisih pemakaian bahan bakar yang diperoleh yaitu sebesar 0.00124 MMBTU/KWh per hari, sehingga setiap harinya dapat mengehemat pemakaian bahan bakar 0.00124 MMBTU/KWh. Penghematan bahan bakar gas dapat menghemat jumlah gas ke tempat pembakaran gas. Penghematan pada pemakaian gas sangat berpengaruh pada biaya produksi. Proses produksi PLTGU yang berjalan selama 24 jam terus menerus membutuhkan biaya yang cukup besar, sehingga penghematan pemakaian bahan bakar gas dapat menekan biaya saat

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

produksi.

Pada saat ini harga bahan bakar gas yang digunakan produksi di PLTGU harga setiap 1 MMBTU adalah 7 USD atau dalam rupiah sebesar Rp. 98.167,3. Penghematan bahan bakar selama satu hari yang digunakan sebesar 0.00124 MMBTU/KWh × 7 USD = 0.00086454 USD atau dalam rupiah sebesar RP. 12,12 /KWh per hari. Pada blok 1 PLTGU PT. PJB UP Gresik rata-rata produksi setiap tahunnya sebesar 2,6 Milyar KWh. Rata-rata produksi dalam setahun 2,6 Milyar KWh, maka setiap harinya di blok 1 memproduksi beban atau daya listrik sebesar 7.123.288 KWh. Apabila penghematan bahan bakar gas Rp. 12,12/KWh per hari, maka biaya yang dapat dihemat sebesar Rp. 12,12 × 7.123.288 KWh = Rp. 86.364.330,22 per hari.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

BAB V

PENUTUP

5.1. Simpulan

Dari hasil penelitian simpulan yang dapat diambil penulis setelah menyelesaikan pembuatan skripsi ini adalah:

1. Persamaan nilai karakteristik *input-output* dari masing-masing turbin gas yang berbentuk persamaan *nonlinear* pada saat kondisi *combine cycle* yaitu sebagai berikut:

$$y_1 = 0.0262116 - 0.0002907x_1 + 0.00000015x_1^2$$

$$y_2 = 0.0243773 - 0.0002426x_2 + 0.00000011x_2^2$$

$$y_3 = 0.0235989 - 0.0002117x_3 + 0.0000001x_3^2$$

   Persamaan nilai karakteristik *input-output* digunakan untuk meminimumkan tingkat pemakaian bahan bakar pada turbin gas blok 1 PLTGU PT. JB UP Gresik.

2. Pembagian beban yang optimal pada turbin gas blok 1 PLTGU PT. PJB UP Gresik yang paling optimum dengan urutan pertama pada turbin gas 1.3, kedua pada turbin gas 1.2, dan ketiga pada turbin gas 1.1. Hasil tersebut dapat dilihat dengan membandingkan beban pada saat sebelum optimasi dan sesudah optimasi.

3. Pengaruh dari pembagian beban yang ada pada turbin gas dengan tujuan memberikan beban yang maksimum pada turbin gas yang paling efisien

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

dalam pemakaian bahan bakar, maka tingkat pemakaian bahan bakar setelah dioptimasi menggunakan metode *nonlinear programming* lebih hemat dibandingkan dengan sebelum optimasi. Penjadwalan beban dengan metode *nonlinear programming* dapat menghemat biaya bahan bakar sebesar Rp. 12,12/KWh. Jadi biaya yang dihemat selama satu hari sebesar Rp. 86.364.330,22 per hari.

5.2. Saran

Setelah membahas dan mengimplementasikan metode *nonlinear programming* pada pengoptimalan pembagian beban pada unit pembangkit, penulis ingin menyampaikan beberapa saran.

1. Membandingkan sisi penghematan antara kondisi *open cycle* dan *combine cycle*
2. Menggabungkan model dari kondisi *open cycle* dan *combine cycle*
3. Pengoptimalan beban dan bahan bakar pembangkit pada model yang dibuat dapat mempertimbangkan rugi-rugi pada saat transmisi pada jaringan.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

DAFTAR PUSTAKA

Bazaraa, M.S., Hanif, D.S., C.M. Shetty., 2006, *Nonlinear Programming : Theory and Algorithm*, Jhon Wiley and Sons. Inc, New Jersey.

Djiteng, M., 2006, *Operasi Sistem Tenaga Listrik*, Edisi Kedua, Graha Ilmu., Yogyakarta.

Dwiatmo, N., 2016, *Pengembangan Software Dynamic Economic Dispatch Denagn Memperhitungkan Rugi-Rugi Transmisi Menggunakan Metode Enchanced Lambda Iterasi*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember., Surabaya.

Firdaus, M., 2010, *Penentuan Beban Optimal Pada Turbin Gas PLTGU Dengan Menggunakan Nonlinear Programming*, Universitas Indonesia., Depok.

Firmansyah, F.L., 2017, *Analisa Perbandingan Performa Turbin Gas PLTGU Unit 1.2 D an 1.3 Pada Beban 50 MW Dan 100 MW*, Intitut Teknologi Sepuluh Nopember., Surabaya.

Gusnita, N., dan K.S. Said., 2017, Jurnal Sains, Teknologi, dan Industri (SITEKIN), *Analisa Efisiensi dan Pemanfaatan Gas Buang Turbin Gas Althom Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas Kapasitas 20 MW*, 14(2):209-218.

Hemmecke, R., Kppe, M., and Weismatel, R., 2009, *Nonlienar Integer Programming*, Magdeburg., Germany.

Hillier, F.S., and Liebermen, G.J., 2001, *Introduction to Operations Research*, Seventh Edition, McGraw Hill., New York.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Kurniawan, R., dan MulfiHazwi., 2014, e-Dinamis, *Analisa Performansi Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) Sicancang Belawan*, 10(2):101-110.

Luknanto, D., 2000, *Pengantar Optimasi Nonlinier*, Universitas Gadjah Mada., Yogyakarta.

Marsudi, D., 2006, *Operasi sistem tenaga listrik*, Edisi Kedua. Graha Ilmu., Yogyakarta.

Nabila, H., 2017, *Analisi Economic Dispatch pada PLTU Sektor Bukit Asam Menggunakan Metode Iterasi Lambda dan Dynamic Programming*, Universitas Lampung., Bandar Lampung.

Nguyen, H.T., and Nabney, I.T., 2010, Energy, *Short-them Electricity Demand And Gas Price Forecasts Using Wavelet Transforms Adaptive Models*, 35(9):3674-3685.

Novandi, D., 2016, *Optimasi Penjadwalan Operasi PLTD pada PT. PLN (PERSERO) Sektor Nagan Raya Pusat Listrik Lueng Bata Banda Aceh dengan Menggunakan Metode Iterasi Lambda*, Universitas Syiah Kuala., Banda Aceh.

Nurcahyani, R., 2014, *Penyelesaian Model Nonlinear Menggunakan Separable Programming Pada Portofolio Optimal*, Universitas Negeri Yogyakarta., Yogyakarta.

Penangsang, O., 2016, *Analisis Aliran Daya*, ITS Press., Surabaya.

Pertiwi, N.P., 2018, KITEKTRO: Jurnal Online Teknik Elektro, *Analisa Economic Dispatch Pada Unit Pembangkit Menggunakan Metode Iterasi Lambda Berdasarkan Base Point And Participation Factors*, 3(2):24-29.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

PJB, PT., 2018, *Statistik Perusahaan (Corporate Statistic) 2013-2017*, PT. PJB., Surabaya.

Prayudi., Sudirmanto., dan Bintang, D.T., 2016, Jurnal Powet Plant, *Analisis Kinerja HRSG PLTGU Muara Karang Sebelum dan Sesudah Retubing*, 4(3):145-155.

Putri, I.K., 2017, *Analisis Economic Dispatch Pembangkit Termal dengan Menggunakan Metode Iterasi Lambda pada Sistem Kelistrikan Sumbar*, Universitas Andalas., Padang.

Putri, M.T., 2018, *Analisa Performansi Perawatan pada Gas Turbin PLTGU Blok 1*, Universitas Brawijaya., Malang.

Puspitaningrum, R., 2012, *Pemodelan Matematika Dan Penyelesaiannya Menggunakan Stochastic Goal Programming Studi Kasus Pada Pemakaian Bahan Bakar Di PLTGU PT PJB UP Gresik*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember., Surabaya.

Rai., 2015, *Operation Research*, Rai Technology University., India.

Ringlee, R., and William, D., 1962, *Economic System Operation Considering Valve Throttling Losses II-Distribution of System Loads by the Method of Dynamic Programming*, Transactions of the American Institute of Electrical Engineers., Amerika Serikat.

Rizkyanto, H., 2015, *Dynamic Economic Dispatch (DED) dengan Memperhatikan Ramp Rate Menggunakan Metode Iterasi Lambda Berbasi Delphi*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember., Surabaya.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Saragi, H.S,. Dkk., 2012, *Penjadwalan Pembebanan Menggunakan Faktor Penalti Pada Sistem Transmisi 500 kV Jawa-Bali Dengan Metode Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*, Teknik Elektro., Semarang.

Supriyatna, E.N., 2016, *Penjadwalan Ekonomis Pembangkit Termal Dengan Memperhitungkan Rugi-Rugi Transmisi Menggunakan Pattern Search*, Universitas Pendidikan Indonesia., Bandung.

Tambun, B., 2018, *Economic Dispatch PLTU Pangkalan Susu*, Universitas Sumatera Utara., Medan.

Wahidah, A., Ermawati, Saddam, H., 2018, Jurnal Matematika dan Statistika Aplikasinya (MSA), *Analisis Logistik Biner Untuk Memprediksi Kepuasa Pengunjung Pada Rumah Sakit Umum Daerah Majene*, 6(1):20-26.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id