



TESIS

TESIS - TI185471

**PEMODELAN PENUGASAN BOILER
MENGUNAKAN METODE MIXED INTEGER
PROGRAMMING DALAM PROSES PRODUKSI
NIKEL**

**WAHYU SETYA DJATI
NRP. 02411850077028**

**Dosen Pembimbing
Nurhadi Siswanto, S.T., MSIE, Ph.D.**

**Departemen Teknik Industri
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya**

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Teknik (M.T)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

WAHYU SETYA DJATI

NRP. 02411850077028

Tanggal Ujian : 13 Juli 2020

Periode Wisuda : September 2020

Disetujui Oleh:

Pembimbing :

1. Nurhadi Siswanto, S.T., MSIE, Ph.D.

NIP. 19700523 1996011 001

Penguji :

1. Nani Kurniati., ST., MT., Ph.D

NIP. 19750408 199802 2 001

2. Erwin Widodo, S.T., M.Eng., Dr. Eng

NIP. 19740517 199903 1 002



Kepala Department Teknik Sistem dan Industri
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Nurhadi Siswanto, S.T.; M.S.I.E., Ph. D.

NIP. 19700523 1996011 001

KATA PENGANTAR

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.) dalam bidang keahlian Rekayasa Industri pada program studi Pascasarjana Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Puji dan Syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena dengan rahmat dan hidayahNya sehingga tesis yang berjudul “Pemodelan Penugasan Boiler Menggunakan Metode Mixed Integer Programming Dalam Proses Produksi Nikel” dapat diselesaikan oleh penulis.

Tesis ini dapat tersusun oleh karena ilmu yang diberikan oleh para dosen pengajar saya selama kuliah di Teknik Industri ITS. Saya mengucapkan terimakasih untuk semua staf pengajar terlebih kepada dosen pembimbing saya, Bapak Nurhadi Siswanto, S.T., MSIE, Ph.D. Melalui bimbingan Bapak Nurhadi Siswanto, S.T., MSIE, Ph.D. saya mendapatkan sasaran dan target studi yang jelas, diskusi teknis yang membangun serta saran penerapan konsep teknis yang tepat.

Saya juga berterimakasih kepada teman seangkatan dari KKI PTVI dan SMI sebagai teman bertukar pendapat untuk menggali kedalaman materi serta memberikan saran penyempurnaan studi sehingga tesis ini dapat terselesaikan dengan layak.

Terimakasih buat istri saya, Ariefanti Wahyu dan anak tercinta Fyola Wahyu Kanaya Salsabila, Fyela Wahyu Fyryna Almira, dan Fyrlo Wahyu Ravadaiva, atas dorongan dan cinta kasih mereka. Saya merasa sangat bersyukur akan kebahagiaan dan doa yang setiap saat mereka berikan sehingga segala tantangan dan kesulitan dalam menyelesaikan tesis ini dapat dilalui dengan semangat dan penuh inspirasi. Penghormatan dan rasa terimakasih yang mendalam kepada orang tua tercinta, Bambang Wahyu Djati, Rahayu Endang Setiyo Wati, dan mertua saya Hj Sri Haryati Muarief yang tidak pernah sekalipun lupa mendoakan saya agar selalu sukses dalam menyelesaikan sesuatu.

Saya juga berterimakasih kepada semua rekan kuliah, staf Teknik Industri, staf administrasi ITS, rekan kerja dan rekan diskusi ilmiah yang telah membantu saya melalui proses penyelesaian tesis dan perkuliahan magister di ITS.

Saya memohon maaf dan pengertian apabila ada kesalahan penulisan dalam tesis ini. Saya sangat terbuka dan menerima segala diskusi, koreksi dan saran perbaikan terhadap kajian yang saya tuliskan dalam tesis ini.

Permodelan Penugasan Boiler Menggunakan Metode Mixed Integer Programming Dalam Proses Produksi Nikel

- Nama Mahasiswa : Wahyu Setya Djati
NRP : 241185007028
1. Pembimbing : Nurhadi Siswanto, S.T., MSIE, Ph.D.

ABSTRAK

Dalam proses peleburan nikel PT. Vale Indonesia memerlukan uap panas bertekanan (steam) dalam proses pengeringan dan kalsinasi. Steam yang dibutuhkan dalam proses tersebut sebanyak 15 Ton/jam. Departemen Utilities bertanggung jawab dalam menyediakan steam dan memiliki 9 boiler dimana salah satu boiler menggunakan listrik diruang bakarnya dan yang lain menggunakan bahan bakar fosil. Dengan fluktuasi harga bahan bakar, keterbatasan persediaan listrik, realibility boiler, dan batasan emisi dari pemerintah merupakan tantangan department utilities dalam menghasilkan uap panas bertekanan. Perencanaan dan pemilihan operasi boiler untuk menghasilkan uap panas bertekanan dalam memenuhi kebutuhan dari proses peleburan sangatlah diperlukan agar dapat meminimasi biaya operasi dan menjaga kehandalan boiler dalam mendistribusikan uap bertekanan.

Model matematika digunakan untuk menentukan operasi boiler dimusim hujan dan musim kemarau dengan menggunakan metode mixed integer programming. Pada musim hujan boiler yang menggunakan tenaga listrik dapat beroperasi karena listrik dari PLTA cukup meskipun tidak sepenuhnya boiler tersebut bisa memenuhi steam yang dibutuhkan. Sedangkan di musim kemarau boiler yang menggunakan tenaga listrik tidak dapat beroperasi karena keterbatasan persediaan listrik yang dihasilkan dari PLTA.

Hasil Dari model matematika tersebut dapat menentukan strategi operasi atau bauran komposisi operasi dari boiler di musim hujan dan musim kemarau yang optimal. Boiler utama yang beroperasi pada musim hujan adalah electric boiler, sedangkan di musim kemarau WHRB jika PLTD beroperasi. Dalam kedua kondisi musim tersebut PB#2 dioperasikan sebagai boiler pendukung dengan tingkat produksi yang minimum. Total biaya pertahun dengan skema strategi operasi pada kedua musim membutuhkan biaya sebesar \$3,304,085. Perbedaan antara actual biaya operasi boiler dan perhitungan model matematik adalah sebesar 3.41% dimana nilai perbedaan ini lebih kecil dari persentase selisih antara anggaran dan actual biaya operasi boiler tahun 2017 – 2019.

Boiler Assignment Modeling Using Mixed Integer Programming Method in the Nickel Production Process

Nama Mahasiswa : Wahyu Setya Djati

NRP : 241185007028

1. Pembimbing : Nurhadi Siswanto, S.T., MSIE, Ph.D.

ABSTRACT

In the nickel smelting process PT. Vale Indonesia requires steam in the process of drying and calcining. Steam needed in the process is 15 tons/hour. The Utilities Department is responsible for supplying steam and has 9 boilers where one boiler uses electricity in its combustion chamber and the other uses fossil fuels. With fluctuations in fuel prices, limited electricity supply, boiler reliability, and government emission limits, it is a challenge for department utilities to produce steam. Planning and selection of boiler operations to produce steam to meet the needs of the smelting process are necessary in order to minimize operating costs and maintain boiler reliability in distributing steam.

Mathematical models are used to determine boiler operations in the rainy season and dry season by using mixed integer programming methods. In the rainy season, boilers that use electricity can operate because electricity from hydropower is sufficient, although not fully the boiler can meet the steam needed. Where as in the dry season boilers that use electricity cannot operate due to limited electricity supply generated from hydropower.

Results From the mathematical model can determine the operating strategy or mix of the operating composition of the boiler in the wet season and dry season which optimal. The main boiler that operates in the wet season is the electric boiler, while in the dry season WHRB if the PLTD operates. In both season conditions, PB#2 is operated as a supporting boiler with a minimum production level. Total annual costs with the operating strategy scheme in both seasons require is \$ 3,304,085. The difference between actual boiler operating costs and mathematical model calculations is 3.4% where the value of this difference is smaller than the percentage difference between the budget and actual boiler operating costs in 2017 - 2019.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB 1.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	9
1.3. Tujuan Penelitian	10
1.4. Batasan Masalah.....	10
BAB 2.....	13
TINJAUAN PUSTAKA.....	13
2.1. Boiler atau Pembangkit Uap Panas Bertekanan.	13
2.1.1. Waste Heat Recovery Boiler	17
2.1.2. Packed Boiler	17
2.1.3. BW Boiler	19
2.1.4. Electric Boiler	20
2.2. Riset Operasi	24
2.2.1. Integer Programming.....	26
BAB 3.....	33
METODOLOGI PENELITIAN.....	33
3.1. Diagram Alir penelitian.	33
3.2. Diagram alir penentuan model matematis menggunakan integer programming.....	34
3.3. Analisa Minimasi biaya	37
BAB 4.....	39
PERMODELAN DAN ANALISA HASIL.....	39
4.1. Variabel Keputusan.....	40
4.2. Fungsi Objektif.	41
4.3. Kendala atau konstrain	42
4.4. Analisa hasil	45

4.4.1. Hasil Analisa Musim Hujan.....	46
4.4.2. Hasil Analisa Musim Kemarau.....	47
4.4.3. Hasil Analisa Minimasi biaya.....	49
4.5. Analisa Sensitivitas.....	52
4.5.1. Analisa sensitivitas parameter kehandalan boiler.....	55
4.5.2. Analisa sensitivitas strategi perusahaan.....	60
BAB V.....	63
KESIMPULAN.....	63
5.1. Kesimpulan.....	63
5.2. Saran.....	64
DAFTAR PUSTAKA.....	65
Lampiran 1. Biaya Fixed dan Variabel Cost.....	67
Lampiran 2. Aktual Biaya Fixed dan Variabel Cost Operasi Boiler 2019.....	71
Lampiran 3. Produksi dan Permintaan Uap Panas Bertekanan.....	75
Lampiran 4. Kebutuhan Listrik Untuk Boiler.....	79
Lampiran 5. Perhitungan Physical Availability Boiler 2019.....	81
Lampiran 6. Penugasan Boiler yang beroperasi Tahun 2019.....	87
Lampiran 7. Model Matematika Dengan Lingo.....	88

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Konfigurasi Steam Generator Utilities Plant.....	2
Gambar 1.2. Grafik Kuantitas Steam Demand	4
Gambar 1.3. Grafik ketinggian permukaan air danau Towuti	8
Gambar 2.1. Water tube boiler.....	14
Gambar 2.2. Pipa-pipa Boiler	15
Gambar 2.3. Diagram klasifikasi boiler	15
Gambar 2.4. Packed boiler.....	18
Gambar 2.5. BW Boiler	19
Gambar 2.6. Electric Boiler	23
Gambar 3.1. Diagram alir penelitian.....	34
Gambar 3.2. Diagram alir model matematis	36
Gambar 4.1. Perbandingan aktual biaya operasi dengan hasil model optimasi	50
Gambar 4.2. Perbandingan budget dengan aktual biaya operasi	50

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Kapasitas Boiler	3
Tabel 1.2. Biaya pembangkitan 1 Ton/hr Steam	4
Tabel 1.3. Physical availability boiler	7
Tabel 1.4. Kapasitas Power Generation dan Power Consumption	9
Tabel 4.1. Fixed dan variabel cost	42
Tabel 4.2. Bauran komposisi operasi boiler pada musim hujan hasil optimasi model matematis	47
Tabel 4.3. Bauran komposisi operasi boiler pada musim kemarau hasil optimasi model matematis	48
Tabel 4.4. Data biaya <i>fixed dan variable cost</i> tahun 2019	52
Tabel 4.5. Hasil analisa sensitivitas	53
Tabel 4.6. Hasil analisa sensitivitas parameter kehandalan boiler pada musim hujan	56
Tabel 4.7. Hasil analisa sensitivitas parameter kehandalan boiler pada musim kemarau	58
Tabel 4.8. Biaya produksi dengan perubahan parameter kehandalan	60
Tabel 4.9. Perhitungan ketersediaan listrik	61
Tabel 4.10. Perhitungan biaya produksi uap bertekanan mengoperasikan EB dan tidak	62

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam proses memproduksi bijih nikel di PT. Vale Indonesia (PTVI) membutuhkan produk yang dihasilkan dari fasilitas *Utilities Plant* yang terdiri atas dua kategori area yaitu *Hydroelectric Plant* dan *Thermal Plant*. Produk yang dihasilkan *Utilities Plant* dinamakan ‘SWAP’ yang merupakan singkatan dari *steam* (uap panas bertekanan), *water* (air) dan *air* (udara), *power* (energi listrik). Fungsi keempat produk tersebut dalam pemrosesan bijih nikel yaitu:

1. Steam (Uap panas bertekanan)

Steam dari Thermal plant ke Process Plant sebagai kostumer berfungsi untuk:

- *Untuk pemanasan HSFO sebagai bahan bakar dalam proses pembakaran di Dryer dan Kiln.*
- *Pemanasan atau melelehkan sulfur*
- *Pemanasan pipa dan tangki HSFO*

2. Water (air)

Air dalam proses produksi digunakan untuk:

- *Process water*
- *Potable water*
- *Cooling water untuk pendinginan compressor, trunnion bearing kiln, dsb.*
- *Fire hydrant water*

3. Air (udara)

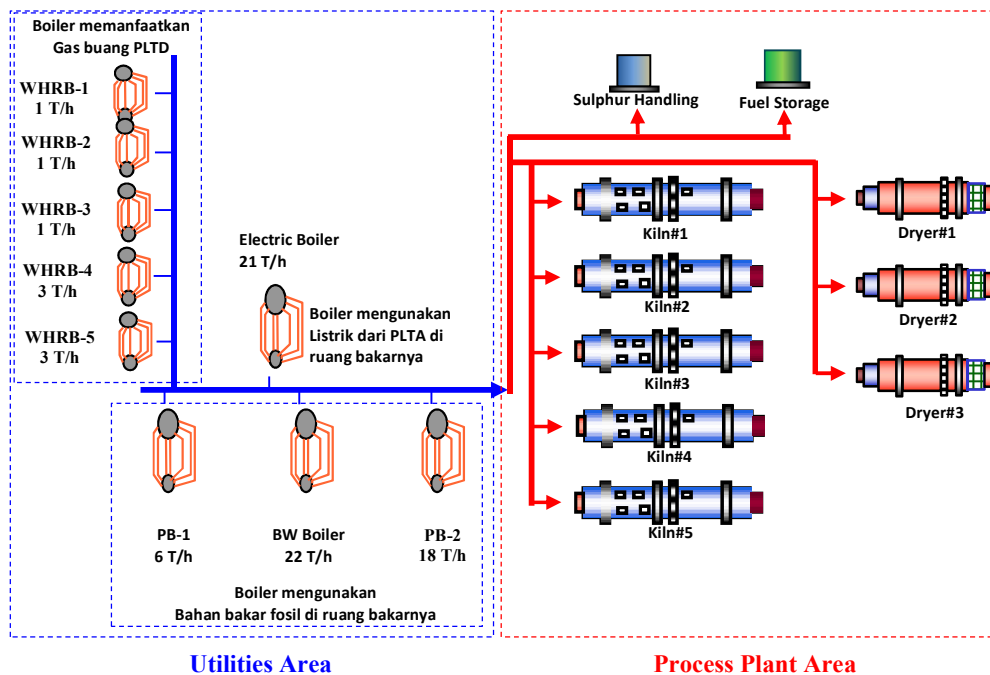
Udara di distribusikan untuk:

- *Reduction Kiln, Ore Dryer, Electric Furnace and Converter*
- *Area workshop*
- *Untuk peralatan Pneumatic system dan Dust Transport system: Blow pots.*

4. Power (listrik)

Listrik digunakan dalam process peleburan (furnace) dan peralatan auxiliary

Untuk menghasilkan uap panas bertekanan Thermal Plant mempunyai beberapa jenis boiler yaitu Packed Boiler (PB), Babcock & Wilcox Boiler (BW Boiler), Waste Heat Recovery Boiler (WHRB), dan Electric Boiler (EB). Dalam menghasilkan uap panas bertekanan Packed Boiler dan BW Boiler membutuhkan bahan bakar fosil untuk ruang bakarnya sedangkan WHRB memanfaatkan gas buang dari PLTD untuk ruang bakarnya. Untuk Electric Boiler dalam menghasilkan uap panas bertekanan yaitu dengan mengubah energi listrik menjadi energi panas untuk memanaskan air sebelum menjadi uap panas bertekanan. Berikut adalah jalur distribusi uap panas bertekanan (steam) ke fasilitas process plant:



Gambar 1.1. Konfigurasi Steam Generator Utilities Plant

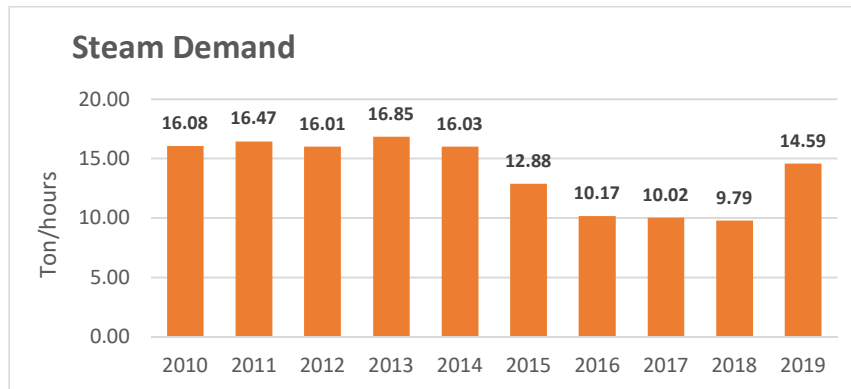
Kapasitas dari masing-masing boiler cukuplah besar kalau dibandingkan dengan permintaan customer atau fasilitas proses plant dalam peleburan nikel,

dimana permintaan dari proses plant tersebut adalah rata-rata 15 Ton/jam. Kapasitas dari masing-masing boiler ditunjukkan pada tabel 1.1.

Tabel 1.1. Kapasitas Boiler

No.	Boiler	Capacity	Rating capacity
1.	Packed Boiler#1	16 Ton/hours	6 Ton/hours
2.	Packed Boiler#2	32 Ton/hours	18 Ton/hour
3.	BW Boiler	132 Ton/hours	22 Ton/hour
4.	Electric Boiler	22 Ton/hours	21 Ton/hours
5.	WHRB#1	2.2 Ton/hours	1 Ton/hours
6.	WHRB#2	2.2 Ton/hours	1 Ton/hours
7.	WHRB#3	2.2 Ton/hours	1 Ton/hours
8.	WHRB#4	3 Ton/hours	3 Ton/hours
9.	WHRB#5	3 Ton/hours	3 Ton/hours

Sebagian besar uap panas bertekanan yang dibutuhkan proses plant adalah untuk proses pemanasan sulfur dan bahan bakar HSFO dari tangki ke burner Reduction Kiln & Dryer. Kebutuhan uap panas bertekanan oleh fasilitas process plant tersebut diilustrasikan dalam gambar 1.2 dibawah ini. Dalam data tersebut rata-rata permintaan uap panas bertekanan dari fasilitas proses plant mengalami penurunan pada tahun 2016 – 2018, ini disebabkan ada perubahan bahan bakar di kiln dan dryer yang pada awalnya menggunakan HSFO berubah menggunakan batubara. Sehingga permintaan uap bertekanan juga mengalami penurunan. Ditahun 2019 permintaan uap panas bertekanan naik kembali menjadi 14.5 Ton/jam. ini disebabkan karena perusahaan mempunyai inisiatif untuk menurunkan *carbon footprint emission* dengan cara menurunkan penggunaan batubara karena penggunaan batubara penyumbang terbesar dalam emisi karbon di operasi PT. Vale Indonesia.



Gambar 1.2. Grafik Kuantitas Steam Demand

Dalam menghasilkan uap panas bertekanan di setiap boiler memerlukan energi dan indeks konsumsinya berbeda-beda sesuai dengan jenis boilernya. Perhitungan indeks konsumsi bahan bakar didasarkan dari aktual konsumsi bahan bakar pada normal operasi boiler dan rata-rata harga minyak dunia tiap tahunnya. Biaya bahan bakar atau energi yang digunakan dalam membangkitkan uap panas bertekanan yang merupakan variable cost dan ditampilkan pada tabel dibawah.

Tabel 1.2. Biaya pembangkitan 1 Ton/hr Steam

Steam Generation	Consumption Index	Unit	Energy Consume	2015	2016	2017	2018	2019
				Price in USD				
			HSFO	58.3	37.1	53	61.6	70.55
			HSD	0.55	0.42	0.48	0.64	0.66
			Hydro Electricity					11.10
				Cost Fuel per Ton Steam				
PB#1	98.49	Liter/Ton	HSD	54.17	41.37	47.28	63.03	64.63
PB#2	0.67	Barrel/Ton	HSFO	39.06	24.86	35.51	41.27	47.27
	100.2	Liter/Ton	HSD	55.11	42.08	48.10	64.13	65.75
BW Boiler	99.50	Liter/Ton	HSD	54.73	41.79	47.76	63.68	65.29
WHRB	0	Liter/MWh	HSD	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Electric Boiler	0.66	MW/Ton	Hydro Electricity					7.33

Dari tabel 1.2 terlihat bahwa biaya energi yang diperlukan dalam membangkitkan uap bertekanan yang paling murah adalah Electric Boiler tetapi

Electric boiler membutuhkan listrik yang cukup besar. Ketersediaan listrik di PT. Vale Indonesia tidak mencukupi untuk Electric Boiler dalam memproduksi uap panas bertekanan sesuai dengan permintaan fasilitas process plant atau kostumer. Permintaan fasilitas process plant untuk uap bertekanan rata-rata 15 ton/jam maka diperlukan listrik sebesar 10 MW. Sehingga dalam operasi normal Electric boiler kekurangan listrik 2 MW. Pada saat musim kemarau bulan Oktober sampai dengan Desember Electric Boiler hampir tidak bisa beroperasi karena kemampuan PLTA menurun dalam membangkitkan listrik. Ini disebabkan ketinggian permukaan danau yang merupakan pemasok air ke PLTA turun sehingga kecepatan aliran yang menuju ke PLTA juga menurun.

Packed Boiler#1 merupakan boiler tertua dari boiler yang berjenis packed boiler. Reliability dari boiler ini sangat rendah dibandingkan dengan boiler lainnya dan biaya maintenance dari boiler ini sangatlah tinggi. Begitu juga dengan biaya konsumsi energinya boiler ini tergolong cukup tinggi sehingga boiler ini digunakan jika boiler utama sedang melakukan preventive maintenance atau breakdown maintenance.

Dari beberapa jenis boiler yang dimiliki PT. Vale Indonesia yang paling efisien adalah Package Boiler#2 (PB#2) yang merupakan *steam generator* utama yang digunakan sebelum Electric Boiler yang dibangun pada akhir tahun 2018. PB#2 memiliki biaya konsumsi energi terendah diantara boiler yang menggunakan bahan bakar minyak jika menggunakan bahan bakar berjenis HSFO. Tetapi setelah perubahan HSFO ke MFO reliability dari PB#2 menurun sehingga beralihlah menggunakan bahan bakar HSD dalam menghasilkan uap panas bertekanan. Perubahan HSFO ini karena strategi perusahaan untuk menggunakan vendor dari dalam negeri dimana harga bahan bakarnya lebih murah. Spesifikasi antara HSFO dan MFO ini sama tetapi secara aktual dengan operasi boiler menggunakan MFO lebih cepat membuat kerak atau jelaga di ruang bakar boiler. Selain itu jika menggunakan MFO atau HSFO gas emisi SO₂ dari PB#2 melebihi ambang batas yang ditentukan oleh pemerintah yaitu 3000 mg/Nm³ dimana batas dari pemerintah 700 mg/Nm³. Setelah Packed Boiler#2 menggunakan HSD biaya konsumsi energi meningkat hampir sama dengan boiler yang memakai bahan bakar minyak.

Setelah PLTU sudah dinilai oleh management PT. Vale Indonesia sangat tidak efisien dan biaya operasi dan perawatannya sangat tinggi jika dibandingkan dengan PLTA maka boilernya dimanfaatkan untuk memproduksi uap panas bertekanan untuk fasilitas process plant. Boiler yang sebelumnya merupakan bagian dari PLTU tersebut kita beri nama BW Boiler. Kapasitas BW boiler sangatlah besar untuk memenuhi kebutuhan fasilitas proses plant yaitu produksi uap bertekanannya bisa mampu menghasilkan 132 Ton/jam. BW Boiler ini tidak pernah dijadikan sebagai boiler utama karena biaya konsumsi energinya tinggi dan secara operasional lebih sulit dibanding dengan boiler yang lain. BW Boiler digunakan untuk boiler pendukung atau menggantikan boiler utama jika sedang *preventive maintenance* atau *breakdown maintenance*.

Sedangkan WHRB tidak ada biaya konsumsi energi yang dalam memproduksi uap bertekanan karena WHRB memanfaatkan gas buang dari PLTD (MBDG) untuk proses pemanasan ruang bakarnya. Dalam operasi normal PLTD di PT. Vale Indonesia hanya digunakan untuk saat emergency apabila kekurangan listrik atau ada problem di PLTA. PLTD sendiri mempunyai batasan beroperasi karena kandungan gas buang dari PLTD mengandung NOx yang tinggi melebihi ambang batas dari regulasi pemerintah yaitu diatur dalam Permen Lingkungan Hidup dan Kehutanan (LHK) No. 15 Tahun 2019 dimana pada Lampiran III. B diatur baku mutu emisi pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD) > 3 MW emisi Nitrogen Oksidanya harus lebih kecil dari 1200 mg/Nm³. Sehingga PLTD diperbolehkan maksimal beroperasi hanya 1000 jam/tahun untuk masing-masing unit.

Dari problem diatas Electric Boiler dijadikan sebagai *steam generator* utama dan paling rendah biaya produksinya tetapi membutuhkan listrik yang besar. Peningkatan produksi nikel akan meningkatkan kebutuhan listrik sehingga akan berdampak dengan berkurangnya pemanfaatan Electric Boiler dan kembali menggunakan boiler dengan bahan bakar fosil yang biaya produksinya sangat tinggi.

Selain kendala diatas *reliability* dari masing-masing boiler juga mempengaruhi kehandalan system produksi uap bertekanan. Dalam setahun kostumer atau process plant department hanya memberikan kepada utilities

department untuk melakukan shutdown total produksi uap bertekanan 2 hari dalam setahun atau 99.2% beroperasi dalam setahun. Ini digunakan utilities department untuk *PM check* boiler dan selain itu untuk perbaikan pipa distribusi utama apabila ada kebocoran, dimana dalam memperbaiki kebocoran tersebut harus tidak ada aliran uap panas bertekanan. Setiap boiler tidak ada yang mempunyai availability sebesar permintaan kostumer, perhitungan *physical availability* setiap boiler ditunjukkan pada lampiran 5. Pada tabel dibawah ditunjukkan hasil dari perhitungan *physical availability* setiap boiler.

Tabel 3.3. *Physical availability* boiler

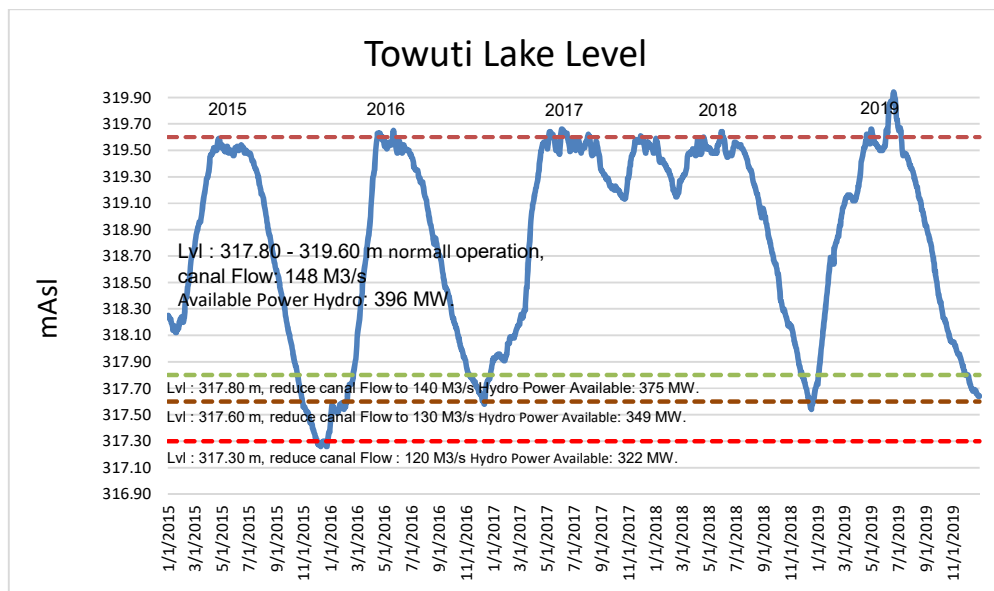
No.	Boiler	Physical Availability
1.	Packed Boiler#1	81.3%
2.	Packed Boiler#2	86.3%
3.	BW Boiler	82.5%
4.	Electric Boiler	95.0%
5.	WHRB#1	52.0%
6.	WHRB#2	82.0%
7.	WHRB#3	86.0%
8.	WHRB#4	92.0%
9.	WHRB#5	93.0%

Strategi pemenuhan kebutuhan energi listrik yang dilakukan PT. Vale Indonesia saat ini adalah dengan mengoptimalkan *Hydroelectric Plant* atau PLTA untuk memenuhi seluruh kebutuhan listrik. *Hydroelectricity* atau PLTA yang dimiliki PT. Vale Indonesia ada 3 PLTA yaitu PLTA Larona, PLTA Balambano, dan PLTA karebbe. PLTA tersebut memanfaatkan aliran air dari Danau Towuti dan type aliran air dari 3 PLTA tersebut adalah *cascade* dimana outflow aliran air dari PLTA Larona menjadi inflow aliran air dari PLTA Balambano begitu juga dengan outflow aliran air PLTA Balambano juga menjadi inflow aliran air untuk PLTA karebbe.

Salah satu yang mempengaruhi perubahan kapasitas dari PLTA tersebut adalah ketinggian permukaan Danau Towuti. Dari ketinggian permukaan danau ada batas atas dan batas bawah atau minimal. Batas atas merupakan batas yang disepakati oleh *community* atau masyarakat sekitar danau dengan PT. Vale Indonesia dan Pemerintah daerah. Batas atas tersebut adalah 319.60 m diatas

permukaan laut. Sedangkan batas bawah merupakan batas dari kecepatan aliran air yang dibutuhkan oleh PLTA Larona, Pada kondisi normal atau tinggi permukaan air Danau Towuti pada level 319.60 – 317.80 m diatas permukaan air laut dapat mengalirkan air dengan kecepatan > 148 m³/detik. Pada level Danau Towuti dibawah batas minimum pertama yaitu dibawah 317.80 m diatas permukaan laut aliran air yang masuk ke PLTA larona turun menjadi 140 m³/detik. Dibatas bawah kedua yaitu level danau Towuti dibawah 317.60 m diatas permukaan laut kecepatan aliran air turun ke 130 m³/detik. Sedangkan Level Danau Towuti dibawah 317.30 kecepatan aliran air maksimal hanya 120 m³/detik.

Dengan penurunan level dibawah batas tersebut diatas maka kemampuan 3 PLTA tersebut akan menurun. Pada Level diatas 317.80 PLTA dapat memproduksi listrik sebesar 396 MW. Jika level danau Towuti sudah dibawah 317.80 m diatas permukaan laut kemapan PLTA untuk membangkitkan listrik turun menjadi 375 MW, dan Level danau Towuti dibawah 317,60 listrik yang bisa dibangkitkan 349 MW sedangkan dibawah 317.30 PLTA hanya mampu membangkitkan listrik sebesar 322 MW. Penurunan kemampuan atau kapasitas dari PLTA tersebut terjadi pada bulan Oktober sampai dengan bulan Desember setiap tahunnya. Berikut grafik dari ketinggian permukaan Danau Towuti dengan batas maksimal dan minimalnya.



Gambar 1.3. Grafik ketinggian permukaan air danau Towuti

Parameter daya bangkit listrik dan kapasitas konsumsi listrik di PT. Vale Indonesia dijelaskan dengan tabel 1.4.

Tabel 4.4. Kapasitas Power Generation dan Power Consumption

Power Generator	Design Capacity MW	Power Generation Capacity			
		Lake Level Normal operation	Lake Level below 317.80 mAsl	Lake Level below 317.60 mAsl	Lake Level below 317.30 mAsl
Larona Hydroelectricity	201	181	171	159	146
Balambano Hydroelectricity	140	115	109	101	93
Karebbe Hydroelectricity	130	101	96	89	82
MBDG	35				
Cat Diesel	27.6				
STG	30				
Total	563.6	396	375	349	322
Power Consumption					
Furnace		300	300	300	300
Auxiliary Load		45	45	45	45
Electric Boiler		10	0	0	0
Losses + SS9, 10 = PLN		24	23	22	21
Furnace Bandwitch		20	20	20	20
Total Power Consumption		399	388	387	386
Lack of power		-2	-13	-38	-64

Hal tersebut diatas menjadi perhatian PT. Vale Indonesia untuk menentukan bagaimana kedepannya dapat menghasilkan uap panas bertekanan (*steam*) dengan biaya produksi yang rendah. Aspek fluktuasi harga minyak, ketersediaan dan kebutuhan energi listrik, ambang batas emisi yang diizinkan pemerintah, peningkatan produksi nikel dan target penghematan biaya produksi telah menjadi tantangan besar yang dihadapi PT. Vale Indonesia.

Penelitian yang akan dilakukan ini akan khusus mengulas tentang studi perancangan operasi strategi dam menghasilkan uap panas bertekanan atau *steam* dengan biaya yang optimal. Hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan standar operasi untuk menjalankan *steam generation* yang dimiliki PT. Vale Indonesia.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah yang akan diangkat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana merancang model matematis untuk strategi operasi boiler yang optimal di PT. Vale Indonesia pada saat musim hujan (Januari - September) dan musim kemarau (Oktober - Desember).
- b. Membandingkan biaya aktual histori operasi boiler dengan biaya operasi boiler hasil dari perhitungan optimasi model matematis.

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, maka tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Menentukan model dan biaya operasi dari Boiler di PT. Vale Indonesia yang optimal.
- b. Memberikan rekomendasi berupa data kuantitatif kepada Management Utilities Departement dalam pengambilan keputusan untuk menentukan baseline biaya dan operasi boiler yang paling optimal.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya sebagai berikut:

- a. Type Boiler yang digunakan dalam PT. Vale Indonesia yaitu high voltage electric boiler (HVEB), Packed Boiler (PB Boiler), Babcock and Wilcox (BW Boiler) dan Waste Heat Recovery Boiler (WHRB)
- b. Operasi boiler dibedakan 2 kondisi yaitu pada saat musim hujan dan musim kemarau karena melihat dari ketersediaan listrik dari PLTA yang digunakan untuk electric boiler dalam proses pembakaran.
- c. Pemakaian air untuk boiler tidak diperhitungkan karena air berlimpah dan tidak sebagai kendala dalam pengoperasian boiler.
- d. Data dari variabel *physical availability boiler* adalah rata-rata dari perhitungan tahun 2019 dan diasumsikan bahwa nilai *availability boiler* deterministik dan digunakan dalam perhitungan model matematis untuk tahun-tahun berikutnya.

- e. Perhitungan Water Management dari PLTA tidak dibahas mendalam dalam penulisan ini.
- f. Dalam penulisan ini tidak memperhitungkan emisi dari masing-masing Boiler.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

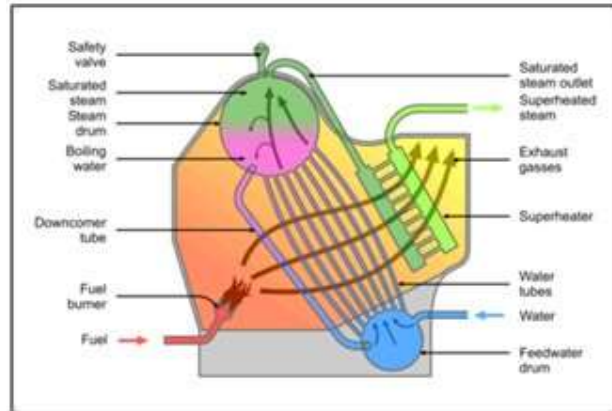
TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab kajian pustaka ini akan dibahas tentang teori pendukung penulisan studi kasus tentang scenario operasi boiler untuk mendukung produksi nikel. Studi kasus ini dilakukan untuk mengetahui operasi boiler yang paling efektif dan rendah biaya. Dalam melakukan studi kasus, metode optimasi yang digunakan dalam menentukan scenario operasi boiler yang rendah biayanya dengan menggunakan metode Mixed Integer Programming.

Sebelum menjelaskan tentang mixed integer programming, kita akan bahas tentang tipe-tipe boiler yang digunakan PT. Vale Indonesia dalam menghasilkan uap panas bertekanan dalam membantu proses pengeringan dan calcinasi didalam memproduksi bijih nikel.

2.1. Boiler atau Pembangkit Uap Panas Bertekanan.

Boiler merupakan sebuah alat untuk menciptakan uap air yang merupakan bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas atau steam. Proses perubahan air menjadi uap terjadi dengan memanaskan air yang berada didalam pipa-pipa dengan memanfaatkan panas dari hasil pembakaran bahan bakar. Pembakaran dilakukan secara kontinyu didalam ruang bakar dengan mengalirkan bahan bakar dan udara dari luar. Uap yang dihasilkan boiler adalah uap *superheat* dengan tekanan dan temperatur yang tinggi. Jumlah produksi uap tergantung pada luas permukaan pemindah panas, laju aliran, dan panas pembakaran yang diberikan. Boiler yang konstruksinya terdiri dari pipa-pipa berisi air disebut dengan *water tube boiler*. (wilcox, 2014)



Gambar 2.1. Water tube boiler

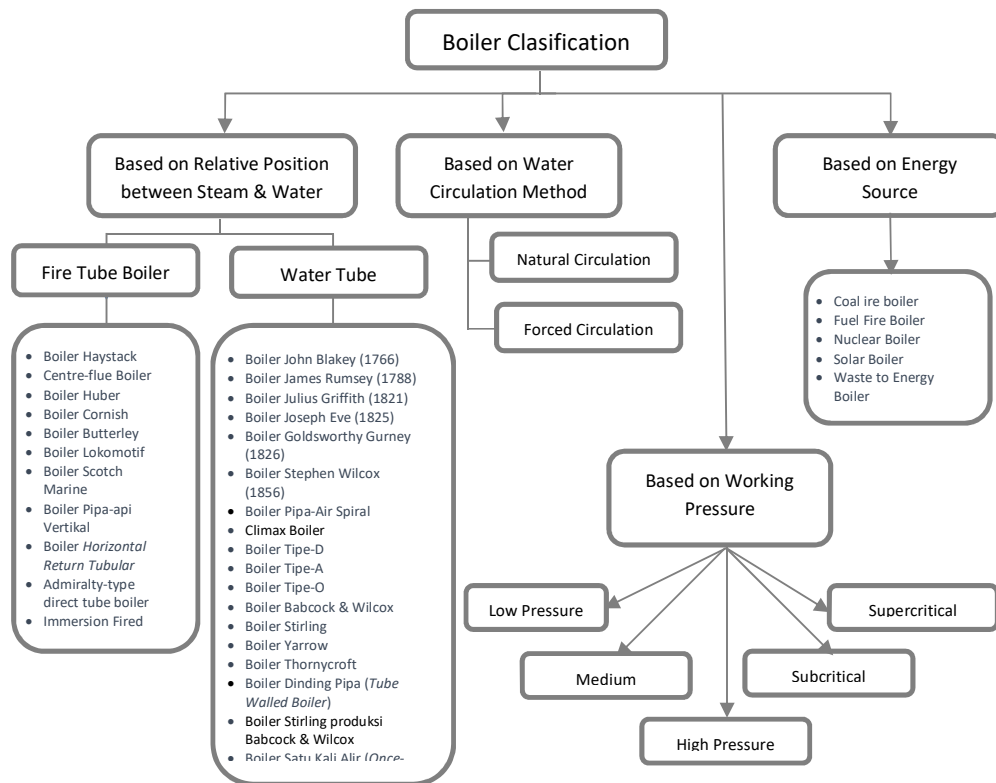
Pada boiler pipa air di atas misalnya, sumber panas didapatkan dari pembakaran bahan bakar di dalam *furnace* atau ruang bakar boiler. Energi panas ini sebagian akan terpancar secara radiasi ke pipa-pipa evaporator sehingga memanaskan pipa-pipa tersebut. Panas yang terserap oleh permukaan pipa akan secara konduksi berpindah ke sisi permukaan dalam pipa. Di dalam pipa, mengalir air yang terus-menerus menyerap panas tersebut. Proses penyebaran panas antar molekul air di dalam aliran ini terjadi secara konveksi. Perpindahan panas konveksi antar molekul air, seakan-akan menciptakan aliran fluida tersendiri terlepas dengan aliran air di dalam pipa-pipa boiler.

Gas hasil pembakaran yang mengandung energi panas akan terus mengalir mengikuti bentuk boiler hingga ke sisi keluaran. Di sepanjang perjalanan, panas yang terkandung di dalam gas buang akan diserap oleh permukaan *tubing* boiler dan diteruskan secara konduksi ke air di dalam pipa. Secara bertahap, air akan berubah fase menjadi uap basah (*saturated steam*) dan dapat berlanjut hingga menjadi uap kering (*superheated steam*). (wilcox, 2014)



Gambar 2.2. Pipa-pipa Boiler

Untuk mengklasifikasikan boiler, kita hanya bisa melakukannya dengan melihat dari berbagai sudut pandang. Berbagai sudut pandang tersebut bergantung atas desain tiga komponen penyusun boiler yakni unsur air, uap air, serta ruang bakar. Untuk lebih jelasnya mari kita bahas satu-persatu.



Gambar 2.3. Diagram klasifikasi boiler

Dari beberapa tipe boiler yang dimiliki PT. Vale Indonesia, 8 boiler yang dimiliki mempunyai tipe Water-Tube Boiler dan satu yang berbeda tipe yaitu electric boiler dimana dalam ruang bakarnya tidak menggunakan api tetapi menggunakan listrik sebagai pemanasnya.

Boiler pipa-air memiliki desain berkebalikan dengan boiler pipa-api. Boiler ini mensirkulasikan air melewati saluran-saluran pipa dengan sumber panas berasal dari ruang bakar (furnace). Sebuah tanki air yang biasa disebut dengan steam drum, menjadi salah satu karakteristik boiler pipa-air. Steam drum berfungsi sebagai tanki air yang dijaga levelnya untuk memastikan selalu ada air tersirkulasi ke pipa-pipa air. Selain itu steam drum juga berfungsi untuk memisahkan uap air basah dengan air. Uap air basah yang keluar dari steam drum biasanya akan dipanaskan lebih lanjut untuk menghasilkan uap panas lanjut (superheated steam).

Desain boiler pipa-air yang populer dilengkapi dengan pipa-pipa air yang didesain menjadi dinding ruang bakar (wall-tube). Air dari steam drum turun melewati pipa bernama downcomer ke sebuah pipa header yang terhubung dengan semua ujung bawah pipa wall-tube. Ujung wall-tube yang lain yang berada di bagian atas ruang bakar terhubung langsung dengan steam drum. Di bagian wall-tube inilah terjadi perubahan fase dari air menjadi uap air. Sistem pipa-air ini menghasilkan sirkulasi air tertutup antara steam drum–downcomer–wall-tube– dan kembali ke steam drum. Dari steam drum hanya uap air basah saja yang akan keluar.

Boiler pipa-air sekalipun memiliki desain yang sedikit lebih kompleks daripada boiler pipa-api, namun boiler pipa-air cenderung lebih mampu menghasilkan kualitas uap air yang lebih tinggi (lebih superheated). Oleh karena itulah boiler pipa-air lebih cocok diaplikasikan pada industri-industri besar yang lebih menuntut kualitas uap air tinggi seperti pembangkit listrik tenaga uap.

Berdasarkan desain yang berbeda-beda boiler pipa-air yang dimiliki PT. vale Indonesia dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

- Waste Heat Recovery Boiler (WHRB)
- Packed Boiler (PB)
- Boiler Babcock & Wilcox (BW Boiler)

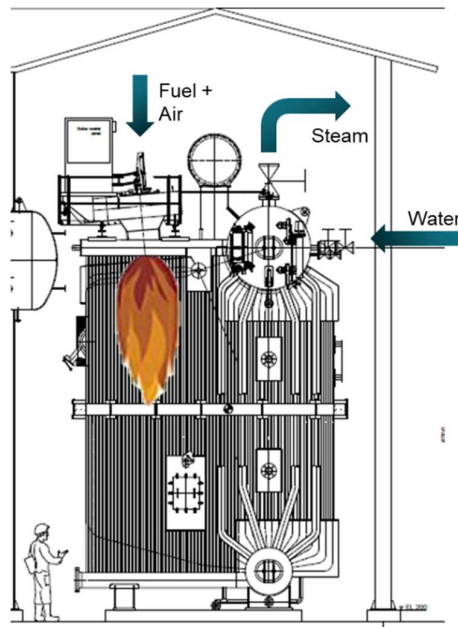
2.1.1. Waste Heat Recovery Boiler

Satu waste heat recovery boiler disuplai setiap diesel generator untuk memanfaatkan gas buang panas dari mesin diesel untuk menghasilkan uap. Setiap waste heat recovery boiler akan menghasilkan 2,1 Ton/jam uap panas bertekanan pada 1240 kpa (g) ke sistem uap ketika generator diesel terkait berada pada beban penuh. Waste heat recovery boiler adalah jenis sirkulasi alami masing-masing dengan steam drum, down comers, waterheader, dan bagian tabung generator yang bersirip dan dapat dilepas. waste heat recovery boiler dirancang untuk boiler ASME dan kode bejana tekan yang memiliki tekanan desain 1500 kpa (g). Setiap boiler memiliki dua katup pengaman pada setiap boiler yang diatur masing-masing pada 1310 kpa (g) dan 1380 kpa (g).

Laju produksi uap dari setiap waste heat recovery boiler dapat dikontrol secara independen dengan mengatur damper. damper ini dapat dikontrol secara lokal atau kontrol jarak jauh dari panel kontrol diesel dan di setiap panel kontrol auxiliary mesin. Status terbuka untuk (atau tutup) dari setiap damper ditunjukkan pada panel kontrol diesel dan pada setiap panel kontrol auxiliary mesin. Dua soot blower yang dipasok dengan masing-masing waste heat boiler juga dapat dikontrol secara lokal atau jarak jauh dari panel kontrol diesel. Setiap waste heat boiler dilengkapi dengan panel kontrol lokal yang menampung semua kontrol starter motor, panel alarm, dan indikasi status. Semua alarm dikelompokkan menjadi kesalahan WHB alarm umum yang dinaikkan pada panel kontrol auxiliary mesin terkait dan panel kontrol diesel jarak jauh. Asalkan waste heat boiler panas, dapat dimulai (atau dihentikan) dengan membuka (atau menutup) damper, namun, damper tidak dapat mengisolasi ketel untuk keperluan perawatan. (Holland, 1993)

2.1.2. Packed Boiler

Disebut boiler paket sebab sudah tersedia sebagai paket yang lengkap. Pada saat dikirim ke pabrik, hanya memerlukan pipa steam, pipa air, suplai bahan bakar dan sambungan listrik untuk dapat beroperasi. Paket boiler biasanya merupakan tipe shell and tube dengan rancangan fire tube dengan transfer panas baik radiasi maupun konveksi yang tinggi.



Gambar 4.4. Packed boiler

Ciri-ciri dari *packaged boilers* adalah:

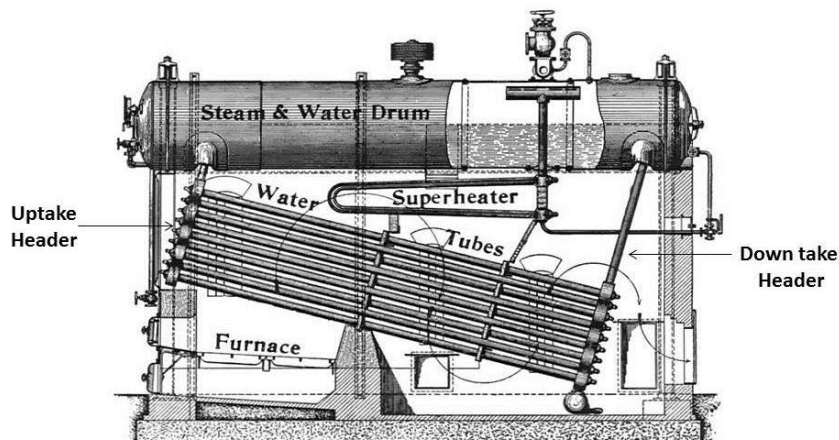
- Kecilnya ruang pembakaran dan tingginya panas yang dilepas menghasilkan penguapan yang lebih cepat.
- Banyaknya jumlah pipa yang berdiameter kecil membuatnya memiliki perpindahan panas konvektif yang baik.
- Sistem *forced* atau *induced draft* menghasilkan efisiensi pembakaran yang baik.
- Sejumlah lintasan/*pass* menghasilkan perpindahan panas keseluruhan yang lebih baik.
- Tingkat efisiensi termisnya yang lebih tinggi dibandingkan dengan *boiler* lainnya.

Boiler tersebut dikelompokkan berdasarkan jumlah *pass* nya – yaitu berapa kali gas pembakaran melintasi boiler. Ruang pembakaran ditempatkan sebagai lintasan pertama setelah itu kemudian satu, dua, atau tiga set pipa api. Boiler yang

paling umum dalam kelas ini adalah unit tiga *pass*/lintasan dengan dua set *fire-tube*/ pipa api dan gas buangnya keluar dari belakang boiler. (Jason, 2016)

2.1.3. BW Boiler

Sesuai dengan namanya, boiler Babcock & Wilcox dikembangkan oleh sebuah firma dengan nama yang sama dengan boiler tersebut. Desain boiler ini dikembangkan dan dipatenkan di pertengahan abad kesembilanbelas. Boiler ini memiliki karakteristik digunakannya dua macam tanki air yakni tanki steam drum di bagian atas dengan jumlah yang selalu lebih banyak daripada tanki kedua yakni tanki air yang ada di bagian bawah boiler. Karakteristik desain tersebut membuat BW Boiler dapat diklasifikasikan berdasarkan jumlah tanki air, yaitu tiga tanki dengan dua *steam drum* dan satu tanki air, empat tanki dengan tiga *steam drum* dan satu tanki air, serta lima tanki berupa tiga *steam drum* di bagian atas dan dua tanki air di bagian bawah boiler. Yang dimiliki PT. Vale Indonesia adalah satu steam drum dan satu tanki air dibawahnya. Semakin banyak jumlah tanki, menandakan kemampuan memproduksi uap air yang semakin tinggi. Namun demikian boiler ini sudah kuno dan memiliki nilai efisiensi yang relatif lebih rendah daripada boiler-boiler modern. (Wilcox, 2014)



Babcock and Wilcox Boiler

Gambar 5.5. BW Boiler

Sistem kerja BW Boiler lebih rumit dibandingkan dengan boiler lain yang dimiliki PT. Vale Indonesia karena boiler ini sebenarnya adalah part dari PLTU yang memerlukan uap panas bertekanan yang lebih kering dan pressure yang tinggi, system kerja BW Boiler sebagai berikut:

1. Air demineralized (air tanpa kandungan mineral atau air murni) di pompa ke boiler dari condenser dengan pompa melalui pipa economizer. Di economizer, air menerima panas tetapi belum menguap karena fasanya masih berupa air
2. Air tersebut masuk ke steam drum dan diteruskan ke seluruh water tube evaporator melalui pipa downcomer untuk diubah fasanya menjadi uap jenuh (saturated steam) dan kembali lagi ke boiler drum.
3. Uap di boiler drum dialirkan (uap melalui saluran dibagian atas, sedangkan air dibagian bawah) ke superheater tube yang berada paling dekat dengan sumber panas untuk mengubah uap jenuh menjadi uap panas lanjut yang bersifat kering (superheated steam)
4. Superheated steam dialirkan ke process plant atau customer.
5. Udara pembakaran dipaksa masuk menggunakan forced draft fan yang kemudian dilewatkan ke preheater. Di preheater udara dipaksakan untuk menaikkan temperaturnya guna mempermudah proses pembakaran oleh burner. Udara terpanaskan ini lalu dialirkan menuju burner. Pada burner terjadi proses pembakaran yang menghasilkan panas didalam ruang bakarnya. Panas yang dihasilkan ditransfer ke air didalam evaporator tube untuk mengubah fasanya menjadi uap, termasuk superheater tube untuk menghasilkan superheated steam. Gas buang hasil pembakaran dialirkan keluar melalui cerobong, setelah melalui economizer. Dieconomizer panas gas buang dimanfaatkan untuk memanaskan air umpan

2.1.4. Electric Boiler

High Voltage Electrode Boiler merupakan teknologi pembangkitan *steam* yang menggunakan energi listrik sebagai sumber tenaga pembangkitan *steam*. *High*

Voltage Electrode Boiler menghasilkan uap bertekanan tinggi melalui proses mengalir arus listrik langsung melalui air konduktif yang disemprotkan ke batang *electrode* didalam *boiler*. Arus listrik bertegangan tinggi berubah menjadi energi panas yang besar pada air tersebut sehingga air menjadi *steam* bertekanan tinggi dalam waktu yang sangat cepat dan tidak menghasilkan emisi.

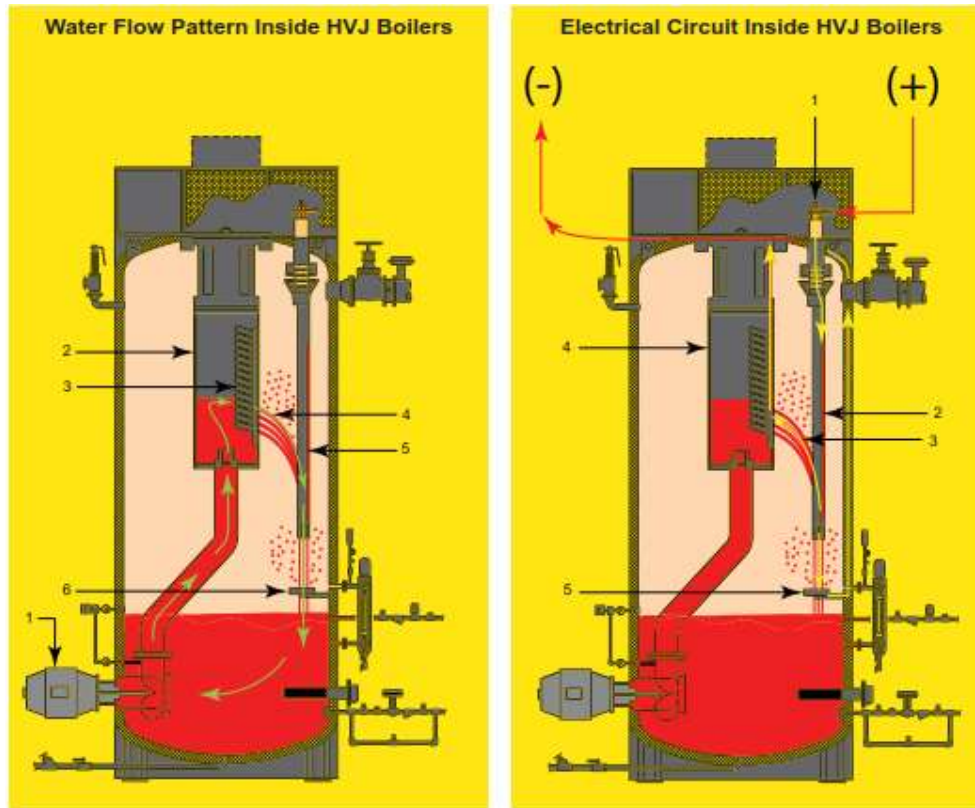
Terdapat 3 jenis *High Voltage Electrode Boiler* yang telah diterapkan di dunia yaitu *High Voltage Jet (HVJ) with Boiler Circulation Pump (BCP) VFD control*, *High Voltage Jet (HVJ) with Mechanical Shield Design* dan *High Voltage Electrode Boiler (HVEB) with Submerged Electrode*. *HVJ with BCP VFD control* menghasilkan *steam* dengan kapasitas tertentu tergantung besarnya *flow rate* air umpan yang dipompa dari *reservoir water* didalam *boiler* oleh *variable speed VFD boiler circulating pump*. Air dari *boiler circulating pump* masuk ke *center header* yang terdiri dari *nozzle – nozzle* statis yang seluruh lubangnya terbuka dan mengarah ke *electrode*. Tipe *HVJ with Mechanical Shield Design* berbeda dengan *boiler HVJ with VFD control* dalam hal besarnya *flow rate* air umpan ditentukan oleh *cylinder hydraulic* yang mengatur jumlah *nozzle* yang terbuka dan tertutup oleh gerakan *cylinder* tersebut. Posisi *nozzle* dan *electrode* dari tipe *mechanical shield design* relatif sama dengan tipe *HVJ with VFD control*. Sementara *High Voltage Electrode Boiler (HVEB) with submerged electrode* adalah tipe yang juga menggunakan *VFD boiler circulation pump* namun tidak memiliki *center nozzle* dan *electrode* yang menerima air dari *nozzle*. *Electrode* pada tipe ini terendam dalam *upper reservoir* didalam *boiler* tersebut. *VFD boiler circulation pump* mengatur *level water* pada *upper reservoir* tersebut.

Kesamaan dari tiga tipe *High Voltage Electrode Boiler* tersebut selain sama sama membutuhkan suplai *voltage* yang besar serta *power* yang cukup besar untuk menghasilkan *steam* bertekanan tinggi, juga membutuhkan air dengan kadar konduktivitas yang tinggi, *zero* oksigen, *low hardness* 0-5 ppm, pH yang relatif basa. Kadar konduktivitas air yang tinggi diperlukan untuk membuat air dapat menjadi sangat konduktif bagi arus listrik yang mengalir melaluinya sehingga konversi energi listrik menjadi panas yang menguapkan air efisien. Air dengan kadar *zero* oksigen agar melindungi *boiler*, *deaerator* dan *blowdown* dari korosi

yang disebabkan oksigen terlarut di air proses tersebut. Kadar *hardness* yang rendah dibutuhkan agar tidak terjadi *scalling* pada *nozzle* yang berdampak pada menurunnya *flow rate*. Kadar PH yang relatif basa adalah untuk melindungi internal *High Voltage Electrode Boiler* tidak korosi. Namun kadar basa PH tidak boleh terlalu tinggi agar tidak memicu tingginya *alkalinity* air yang menyebabkan semakin banyaknya *scale*.

Deaerator tank diperlukan untuk menghasilkan air umpan dengan kadar oksigen terlarut yang sangat kecil. *Deaerator* juga menjadi *reservoir* tempat air bercampur dengan bahan *water treatment* menaikkan *PH water*. Fungsi *reservoir deaerator tank* juga sebagai media penampung *make up water* yang merupakan jenis *Softened Water* atau *Reverse Osmosis Water*. *Blowdown tank* diperlukan untuk mengurangi kadar *solid particle* terlarut (TDS& TSS) didalam boiler. Fungsi *blowdown* tersebut sangat dibutuhkan agar partikel *dissolved solid* yang bermuatan positif di air tidak excess sehingga bisa berdampak kepada *over water conductivity*. Kelebihan kadar konduktivitas air dapat menimbulkan *arcing* yang dapat membuat *boiler vessel* rusak atau cacat. *Boiler Feed Pump* diperlukan untuk mengisi reservoir *HVJ boiler* yang kapasitasnya di atur agar relatif sama dengan *steam* yang dihasilkan *HVJ boiler* tersebut. *Chemical Feed Boiler Packages* digunakan sebagai *injector chemical* untuk *conductivity booster*. *Chemical Feed Deaerator* digunakan sebagai *injector* untuk *chemical PH & Alkalinity booster*.

Electric Boiler yang ada di PT. Vale Indonesia yaitu teknologi *HVJ with BCP VFD control* berkapasitas 22 ton/jam. Tinjauan proses pembangkitan *steam* dengan teknologi ini dijelaskan dibawah ini.



Gambar 6.6. Electric Boiler

Gambar dibagian kiri:

Air dari bagian bawah di internal HVJ dipompa oleh Boiler Circulation Pump (BCP) 1* ke nozzle header. 2* Aliran air di nozzle header kemudian mengalir secara gravitasi ke tiap nozzle di header tersebut sehingga 3* membuat air dipercepat (*jet water*). 4* Air yang keluar dari nozzle diarahkan ke electrode rod strike plate yang diberi tegangan listrik 5*. Sisa air yang tidak menguap selama proses transfer nozzle ke electrode rod strike plate kemudian jatuh ke counter electrode 6*, sisa air yang tidak menguap selama proses transfer electrode ke counter electrode akan jatuh kembali ke bagian bawah internal HVJ.

Gambar dibagian kanan:

Rangkaian listrik di koneksi dengan electrode rod di bagian atas HVJ. Saat beroperasi, arus listrik melewati electrode rod 1* melintasi electrode rod strike plate 2*, arus listrik mengalir melewati air 3* sementara arus listrik mengalir

melalui *nozzle header 4**. Pada akhirnya arus mengalir melalui *boiler vessel shell* ke *neutral line*. Karena air '*resist*' aliran arus listrik, uap dihasilkan. Arus listrik kemudian mengalir ke sebagai bagian air yang tidak menguap di sirkuit listrik pertama kemudian ke *counter electrode* sebagai sirkuit listrik kedua.^{5*} sehingga menghasilkan uap yang optimum. Sekitar 3% air yang mengalir di sirkuit listrik kedua tersebut menjadi uap. (Hutabarat, 2018)

2.2. Riset Operasi

Riset operasi sudah banyak digunakan untuk membantu mengatasi berbagai masalah yang dihadapi oleh industri untuk menentukan strategi operasi yang optimal dengan biaya produksi yang terendah (Walker 1988). Riset operasional dapat digambarkan sebagai suatu pendekatan ilmiah dalam pengambilan keputusan yang melibatkan operasi-operasi dalam system organisasi. Penggambaran tersebut masih bersifat umum, sehingga untuk lebih memahami segi unik dan riset operasional mungkin lebih baik bila dilihat dari sifat-sifat khas dan istimewa.

Berdasarkan namanya riset operasional melibatkan riset pada operasi jadi riset operasional diterapkan pada masalah-masalah tentang bagaimana dalam suatu organisasi. Yang dimaksud dengan organisasi disini sangatlah luas dapat berupa organisasi, industry, militer, agen militer, jasa, dan sebagainya. Pendekatan yang digunakan pada riset operasional adalah pendekatan dengan metode ilmiah. Pendekatan ini biasanya dimulai dengan dilakukannya observasi dan formulasi masalah, kemudian dilanjutkan dengan membuat permodelan (biasanya berbentuk model matematis yang menyatakan esensi dari keadaan yang sebenarnya yang akan dianalisa. Selanjutnya dicari solusi optimal berdasarkan model yang dibuat dan dilakukan penerapan solusi yang diperoleh untuk memecahkan masalah. (Jong, 2014)

Dorongan awal munculnya kegiatan-kegiatan riset operasional adalah perang dunia II. Sebenarnya istilah riset operasional ini terdapat sebagai akibat dari "riset pada operasi militer" yang dilakukan selama perang tersebut. Kelompok ahli-ahli matematika, ekonomi, dan ahli-ahli disiplin ilmu lain-lainnya disatukan untuk menganalisa berbagai masalah operasi militer. Kelompok-kelompok ini dibentuk di

Inggris dan Amerika Serikat dimana angkatan laut AS (US navy)memperkerjakan lebih dari 70orang analis. Berbagai bentuk masalah dapat dipecahkan dengan baik, seperti dimana harus ditempatkan instalasi radar, bagaimana menemukan lokasi kalam selam lawan, bagaimana menempatkan bom-bom yang dipicu dengan gelombang radio dari jarak jauh dilaut sekeliling Jepang. (jong, 2014)

Walaupun istilah riset operasional ini baru ditemukan setelah perang dunia II, tetapi sebenarnya pendekatan-pendekatan ilmiah yang digunakan sebagian telah diciptakan sebelumnya, seperti hasil kerja Taylor dan Gantt.

Penerapan riset operasional dalam perang dunia II dicirikan oleh suatu pendekatan kelompok terhadap masalah-masalah operasional, yang diawali di Inggris sebagai contoh Profesor PMS Blackett ditugaskan untuk menganalisa masalah kordinasi radar didaeraha perang. Kelompok yang dibentuk oleh blackett ini terdiri dari ahli psikologi, fisika, matematika, perwira AD dan ahli survei. Pendekatan ahli kelompok gabungan ini kemudian juga diikuti oleh Amerika Serikat.

Kesuksesan riset operasional selama perang dunia II tersebut menarik industry-industri pasca perang di Inggris dan Amerika Serikat untuk menerapkannya dalam pemecahan masalah-masalah manajerial dan operasional yang dialaminya. Salah satu perkembangan riset operasional pasca perang yang cukup terkenal adalah temuan salah satu metode riset operasional oleh George Dantzig. Beliau sangat dikenal akan temuannya yang berupa pengembangan pemrograman linier yang merupakan metode riset operasional yang sangat luas digunakan. Dantzig ini sering disebut sebagai “bapak Pemrograman Linier”. Disamping pemrograman linier perkembangan awal riset operasional lainnya adalah dibidang statistika pengendalian mutu, pemrograman dinamis, Analisa queue, dan pengendalian persediaan.

Perkembangan riset operasional saat ini mencakup penyempurnaan terhadap metoda-metoda yang telah ada dan juga penemuan Teknik-teknik analisis baru seperti pemrograman geometris, simulasi dan goal programming. Tetapi bagaimanapun juga perkembangan metodologi riset operasional ini tergantung pada ilmu computer dan perkembangan computer. Sebagian besar masalah yang

dipecahkan dengan Teknik riset operasional biasanya skala besar dan memerlukan perhitungan-perhitungan penting berulang-ulang untuk menganalisisnya. Hal ini akan sangat melelahkan bila diselesaikan secara manual, sehingga ketergantungan perkembangan riset operasional terhadap perkembangan computer tidak dapat di remahkan.

Salah satu hal yang sangat penting dan banyak memberikan bantuan dalam bidang riset operasional adalah model. Suatu model adalah suatu penyajian sederhana dari suatu keadaan nyata. Grafik, rumus, bagan dan juga gambar adalah contoh bentuk model.

Model memainkan suatu peranan penting dalam bidang riset operasional. Rumus-rumus dan persamaan biasa digunakan untuk menyajikan beberapa proses dan operasi tertentu guna mendiskripsikannya untuk tujuan analisi. Model matematis ini digunakan untuk membentuk fungsi-fungsi yang dapat digunakan untuk memperkirakan keadaan proses produksi dimasa datang atau menjelaskan bagaimana biaya produksi berubah dengan berubahnya tingkat produksi.

Model selain rumus dan persamaan terkadang juga digunakan dalam bidang riset operasional. Model-model ini berhubungan dengan bidang industrial engineering. Untuk penyelesaian studi kasus dalam penulisan ini yang akan dibahas hanya terbatas pada metode Integer Programming.

2.2.1. Integer Programming.

Salah satu asumsi Teknik LP adalah divisibility atau fractionality. Dengan kata lain setiap variable model dapat terjadi pada semua nilai non negative suatu nilai solusi yang kontinyu. Dalam situasi keputusan tertentu asumsi ini tidak realistic dan tidak dapat diterima. Misalnya suatu solusi yang memerlukan 2.29 boiler yang beroperasi adalah tidak mempunyai makna praktis. Dalam kasus ini 2 atau 3 boiler yang dapat beroperasi (bukan 2.29). Masih banyak masalah lain dalam bidang industri dan bisnis yang memerlukan nilai bulat untuk variable modelnya. Integer programming adalah suatu Linier Programming dengan tambahan persyaratan bahwa semua atau beberapa variable bernilai bulat non negative tetapi tidak perlu bahwa parameter model juga bernilai bulat.

Ada banyak kasus dalam masalah integer programming yang membatasi variable model bernilai nol atau satu. Dalam kasus demikian pengambilan keputusan hanya memiliki dua pilihan yaitu menerima atau menolak suatu usulan kegiatan. Penerimaan atau penolakan yang sifatnya parsial tidak diperbolehkan. Jika variable keputusan bernilai satu, kegiatan diterima dan jika variable bernilai nol kegiatan ditolak.

Dalam masalah integer programming jika model mengharapkan semua variable basis bernilai integer (bulat positif atau nol) dinamakan pure integer programming. Jika model hanya mengharapkan variable-variabel tertentu bernilai integer dinamakan mixed integer programming. Dan jika model hanya mengharapkan nilai nol atau satu untuk variabelnya dinamakan zero one integer programming.

Tampaknya cukup untuk mendapatkan solusi bulat dari masalah LP dengan menggunakan metode simplek biasa dan kemudian membulatkan nilai-nilai pecah solusi optimum. Bukan tugas yang mudah untuk membulatkan nilai-nilai pecahan variable yang menjamin tetap memenuhi kendala dan tidak menyimpang cukup jauh dari solusi pembulatan yang tepat. Karena itu perlu prosedur yang sistematis untuk mendapatkan solusi bulat optimum terhadap masalah itu.

Suatu pendekatan yang sederhana dan kadang-kadang praktis untuk menyelesaikan integer programming adalah dengan membulatkan nilai variable keputusan yang diperoleh melalui LP. Pendekatan ini mudah dan praktis dalam hal usaha, waktu dan biaya yang diperlukan untuk memperoleh suatu solusi. Bahkan pendekatan pembulatan dapat merupakan cara yang sangat efektif untuk masalah integer programming yang besar dimana biaya-biaya hitungan sangat tinggi atau untuk nilai-nilai solusi variable keputusan sangat besar. Contohnya pembulatan nilai solusi jumlah pensil yang harus diproduksi dari 12250.2 menjadi 12250.0 semestinya dapat diterima. Namun demikian sebab utama kegagalan pendekatan ini adalah bahwa solusi yang diperoleh mungkin bukan solusi integer optimum yang sesungguhnya. Dengan kata lain solusi pembulatan dapat lebih jelek dibandingkan solusi integer optimum yang sesungguhnya atau mungkin merupakan solusi tak layak. Ini membawa konsekuensi besar jika jumlah produk-produk seperti pesawat

angkutan komersil atau kapal perang yang arus diproduksi dibulatkan ke bilangan bulat terdekat.

Suatu metode yang serupa dengan pendekatan pembulatan adalah prosedur trial and error. Dengan menggunakan cara ini pengambilan keputusan mengamati solusi integer dan memilih solusi yang mengoptimalkan nilai fungsi tujuan, metode ini sangat tidak efektif jika masalahnya melibatkan sejumlah besar kendala dan variable. Terlebih lagi, memeriksa kelayakan setiap solusi yang dibulatkan banyak memakan waktu.

Dalam studi kasus optimalisasi operasi strategi boiler untuk mendapatkan biaya produksi (Fixed & variable cost) yang paling rendah melibatkan 2 variabel yaitu jumlah dari produksi uap panas bertekanan dan boiler yang beroperasi (0/1) maka dalam penyelesaiannya digunakan metode Mixed integer programming. Model Integer Linear programming ini juga digunakan dalam menyelesaikan kasus optimalisasi pemanfaatan gas buang untuk mencapai pengurangan biaya total dalam industri besi dan baja (zhang, 2009), dapat juga untuk menentukan unit pembangkit listrik mana yang harus menghentikan produksi untuk diperiksa secara teratur untuk keamanan (Canto, 2011), merencanakan lima tahun kegiatan pemanenan dan pendistribusian atau penjadwalan pengiriman produk untuk meminimalkan biaya (Preiss, 2018), komitmen atau perencanaan unit yang beroperasi dalam operasi sistem tenaga dan kontrol. Tujuan dari masalah komitmen unit adalah untuk meminimalkan produksi biaya generator untuk memasok beban (Guan, 2012).

Mixed integer programming problem terjadi ketika beberapa variabel dalam model anda bernilai nyata (dapat mengambil nilai fraksional) dan beberapa variabel bernilai integer. Karena itu modelnya "mixed". Ketika fungsi obyektif dan batasan semuanya dalam bentuk linier, maka itu adalah mixed integer linear program (MILP). Dalam bahasa umum, MIP sering dianggap MILP, meskipun program integer non linier (MINLP) juga terjadi, dan jauh lebih sulit untuk dipecahkan. Seperti yang akan anda lihat nanti, teknik MILP efektif tidak hanya untuk masalah mixed, tetapi juga untuk masalah integer murni, masalah biner murni, atau bahkan kombinasi variabel nilai integer dan biner.

Mixed integer program sering muncul dalam konteks apa yang tampaknya menjadi program linier. Namun itu dapat berlaku untuk variabel integer, menyelesaikan LP, kemudian membulatkan variabel integer ke nilai integer terdekat, mari kita lihat bagaimana variabel integer muncul dalam konteks LP.

Either or constraint

Either or constraint muncul ketika kita memiliki pilihan antara dua kendala, hanya satu yang harus dipilih. Sebagai contoh, batas produksi mesin finishing logam dalam program linear perusahaan sepeda Acme adalah $X_1 + X_2 \leq 4$. Misalkan kita memiliki pilihan antara menggunakan mesin finishing logam asli, atau yang kedua yang memiliki kendala terkait $X_1 + 1.5 X_2 \leq 6$. Kita dapat menggunakan mesin asli atau yang kedua, tetapi tidak keduanya. Bagaimana kita memodelkan situasi ini?

Petunjuk penting terletak dalam mengamati apa yang terjadi jika Anda menambahkan angka positif yang besar (sebut saja M) di sisi kanan < kendala, $X_1 + X_2 \leq 4 + M$. ini sekarang mengatakan $X_1 + X_2 \leq$ sangat besar angka, sehingga nilai X_1 dan X_2 apa pun akan membedakan kendala ini. Dengan kata lain, kendala dihilangkan. Jadi apa yang kita inginkan dalam salah satu atau contoh kita adalah sebagai berikut:

either	$\begin{array}{l} x_1 + x_2 \leq 4 \\ x_1 + 1.5x_2 \leq 6 + M \end{array}$	← only this constraint holds
or	$\begin{array}{l} x_1 + x_2 \leq 4 + M \\ x_1 + 1.5x_2 \leq 6 \end{array}$	← only this constraint holds

Kita dapat mencapai efek yang setara dengan memperkenalkan variabel biner tunggal (sebut saja y), dan menggunakannya dalam dua kendala, yang keduanya termasuk dalam model sebagai berikut

- (1) $x_1 + x_2 \leq 4 + My$
- (2) $x_1 + 1.5x_2 \leq 6 + M(1-y)$

Sekarang jika $y = 0$ maka hanya kendala 1 yang berlaku dan jika $y = 1$ hanya kendala 2 yang berlaku, persis jenis salah satu atau perilaku yang kita inginkan.

Kelemahannya, tentu saja, adalah bahwa program linier telah dikonversi ke program integer mixed yang lebih sulit untuk dipecahkan.

K out of N Constraints Must Hold

Ini adalah generalisasi dari salah satu atau situasi yang digambarkan di atas. Sebagai contoh, kita mungkin ingin memegang 3 dari 5 constraints. Ini ditangani dengan memperkenalkan variabel biner $N, y_1 \dots y_N$, satu untuk setiap kendala sebagai berikut:

$$f_1(x) \leq b_1 + My_1$$

...

$$f_N(x) \leq b_N + My_N$$

Dan termasuk batasan tambahan berikut:

$$\sum_{i=1}^N y_i = N - k$$

Batasan akhir berfungsi sebagai berikut: karena kita ingin k batasan untuk menahan, harus ada batasan N-k yang tidak berlaku, sehingga batasan ini memastikan bahwa N-k dari variabel biner mengambil nilai sehingga nilai M yang terkait dihidupkan, sehingga menghilangkan kendala.

Functions having N Discrete Values

Terkadang Anda memiliki sumber daya yang tersedia hanya dalam ukuran diskrit tertentu. Misalnya mesin finishing logam dapat berupa kesetaraan yang memiliki 3 pengaturan $X_1 + X_2 = 4$ atau 6 atau 8. Ini dapat ditangani dengan memasukkan satu variabel biner untuk masing-masing nilai sisi kanan. Di mana ada sisi kanan diskrit N, model menjadi:

$$f(x) = \sum_{i=1}^N b_i y_i \text{ and } \sum_{i=1}^N y_i = 1$$

Ini memastikan bahwa tepat salah satu nilai sisi kanan dipilih. Dalam contoh mesin finishing logam, modelnya adalah;

$$x_1 + x_2 = 4y_1 + 6y_2 + 8y_3$$

$$y_1 + y_2 + y_3 = 1$$

and y_1, y_2, y_3 binary.

Fixed Charges and set up cost.

Biaya tetap atau biaya pengaturan timbul ketika ada semacam biaya awal tetap terkait dengan penggunaan jumlah variabel apa pun, bahkan jumlah kecil. Misalnya jika Anda ingin menggunakan jumlah berapapun pada jenis baru dari finishing logam untuk perusahaan ABC, maka Anda dikenakan biaya pengaturan satu kali untuk membeli dan memasang peralatan baru yang diperlukan. Biaya tetap dan biaya pengaturan sering terjadi dalam praktik, sehingga penting untuk dapat memodelkannya. Secara matematis, biaya pengaturan dimodelkan sebagai berikut:

$$f(x_j) = \begin{cases} 0 & \text{if } x_j = 0 \\ K + c_j x_j & \text{if } x_j > 0 \end{cases}$$

Di mana K adalah biaya tetap. Ini mengatakan bahwa tidak ada biaya sama sekali jika sumber daya yang diwakili oleh X_j tidak digunakan, tetapi jika itu digunakan, maka kami menemukan baik biaya tetap K dan biaya biasa yang terkait dengan penggunaan X_j , diwakili oleh $C_j X_j$.

Fungsi objektif juga harus diubah. Menjadi;

Minimalkan $Z = f(X_j) +$ (fungsi objektif lainnya)

Perhatikan minimalisasi: mengatur biaya hanya menarik dalam konteks minimisasi biaya. Jika ini adalah maksimisasi biaya (konsep yang aneh) maka kita tentu saja akan selalu menanggung biaya pengaturan dengan memastikan bahwa setiap sumber daya selalu digunakan. Model akhir memperkenalkan variabel biner y menentukan apakah biaya pengaturan terjadi:

$$\text{Minimize } Z = [K y + c_j x_j] + (\text{rest of objective function})$$

subject to:

$$x_j - M y \leq 0$$

other constraints

$$y \text{ binary}$$

Ini berperilaku sebagai berikut. Jika $X_j > 0$, maka kendala pertama memastikan bahwa $y = 1$, sehingga muatan tetap dalam fungsi objektif diterapkan dengan benar. Namun, jika $X_j = 0$ maka y bisa menjadi 0 atau 1 kendala pertama tidak cukup membatasi dalam hal ini. Kami ingin y menjadi nol dalam hal ini sehingga biaya pengaturan tidak diterapkan secara tidak adil, dan sesuatu dalam model sebenarnya memengaruhi y menjadi nol. Bisakah kamu melihat apa itu? Ini adalah tujuan minimalisasi. Mengingat pilihan bebas dalam hal ini antara mengeluarkan biaya pengaturan atau tidak, tujuan minimalisasi jelas akan memilih untuk tidak melakukannya. Karenanya kita memiliki perilaku yang ingin kita contohkan. Namun, sekali lagi, kami telah mengonversi program linier ke program linier mixed

If then constraint

Jika $f(X_1, X_2, \dots, X_n) > 0$ dipenuhi maka konstrain $g(X_1, X_2, \dots, X_n) \geq 0$ juga harus dipenuhi, namun jika $f(X_1, X_2, \dots, X_n) > 0$ tidak dipenuhi maka konstrain $g(X_1, X_2, \dots, X_n) \geq 0$ juga tidak dipenuhi. Permasalahan ini diselesaikan dengan formulasi konstrain:

$$\begin{aligned} -g(x_1, x_2, \dots, x_n) &\leq My \\ f(x_1, x_2, \dots, x_n) &\leq M(1 - y) \\ y &= 0 \text{ atau } 1 \end{aligned}$$

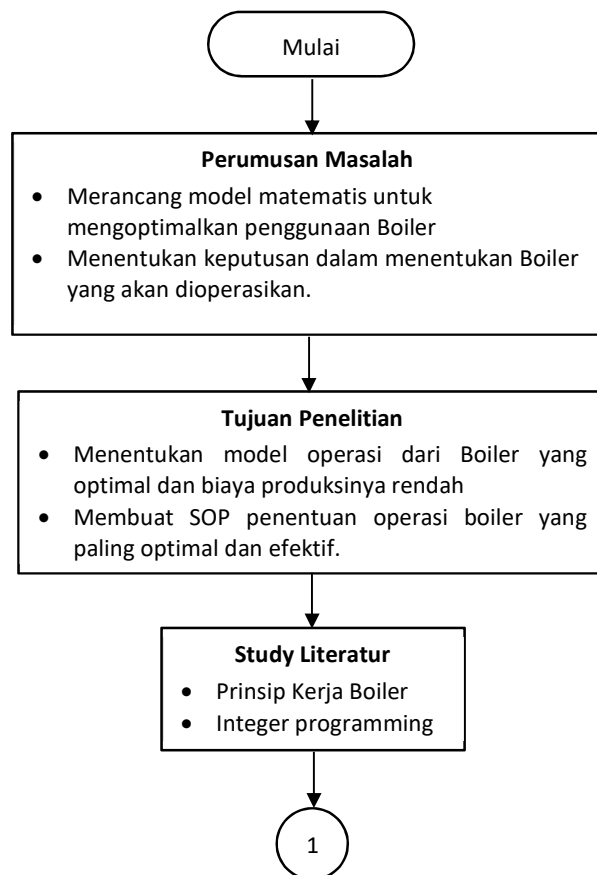
M nilai positif yang besar sehingga $f \leq M$ dan $-g \leq M$ yang berlaku untuk semua nilai X_1, X_2, \dots, X_n yang memenuhi konstrain yang lain

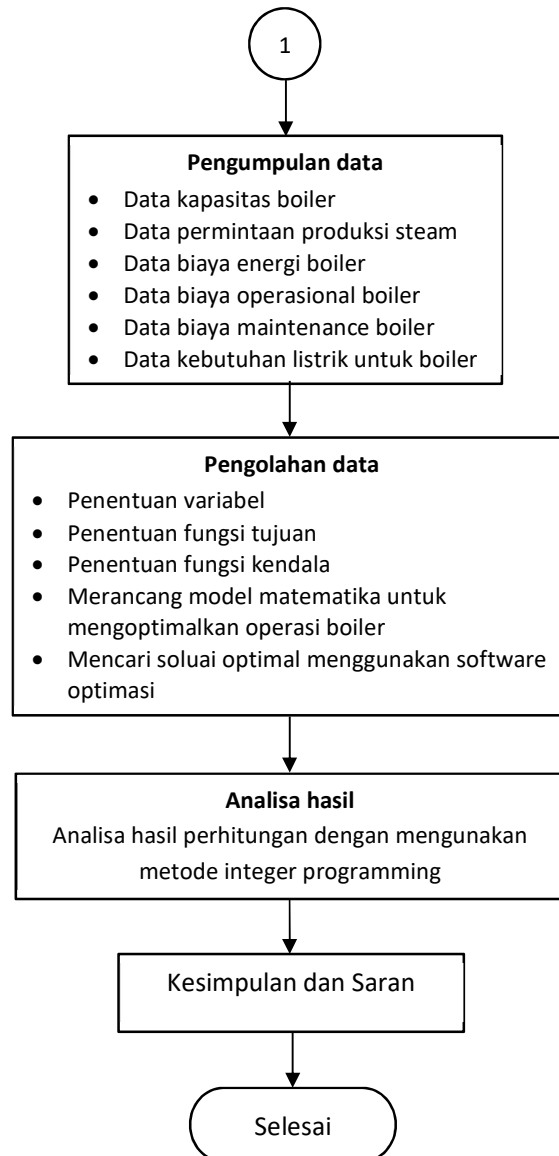
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Jenis penelitian ini adalah penelitian yang berdasarkan penelitian lapangan (field research) yaitu penelitian yang objeknya mengenai operasional yang terjadi pada pembangkit uap bertekanan. Sehingga penelitian ini juga bisa disebut penelitian case based report (CBR) dengan pendekatan riset operasi atau permodelan matematis.

Penelitian ini digunakan untuk meneliti analisis biaya terhadap keputusan penentuan scenario operasi boiler.

3.1. Diagram Alir penelitian.





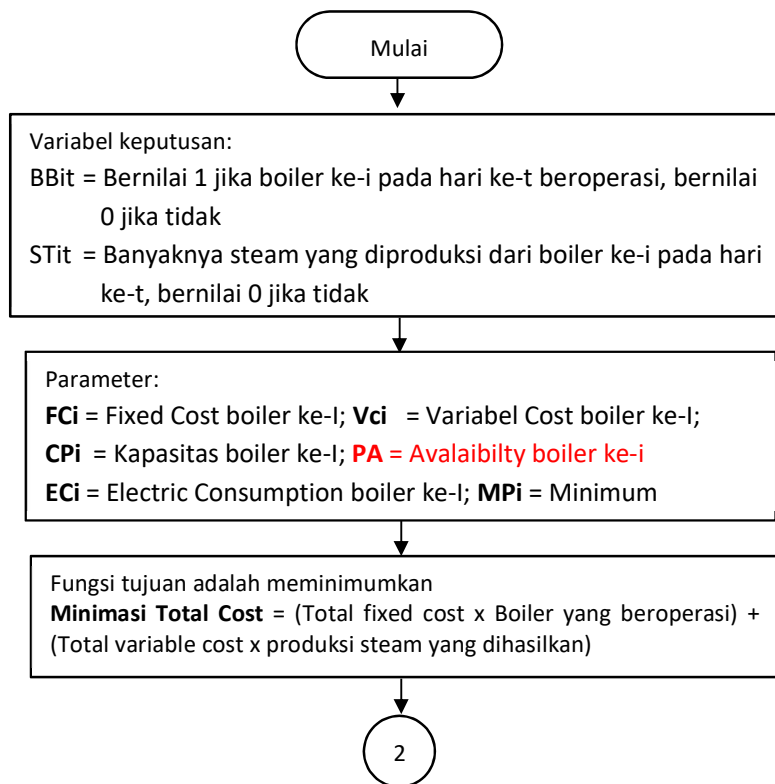
Gambar 1.1. Diagram alir penelitian

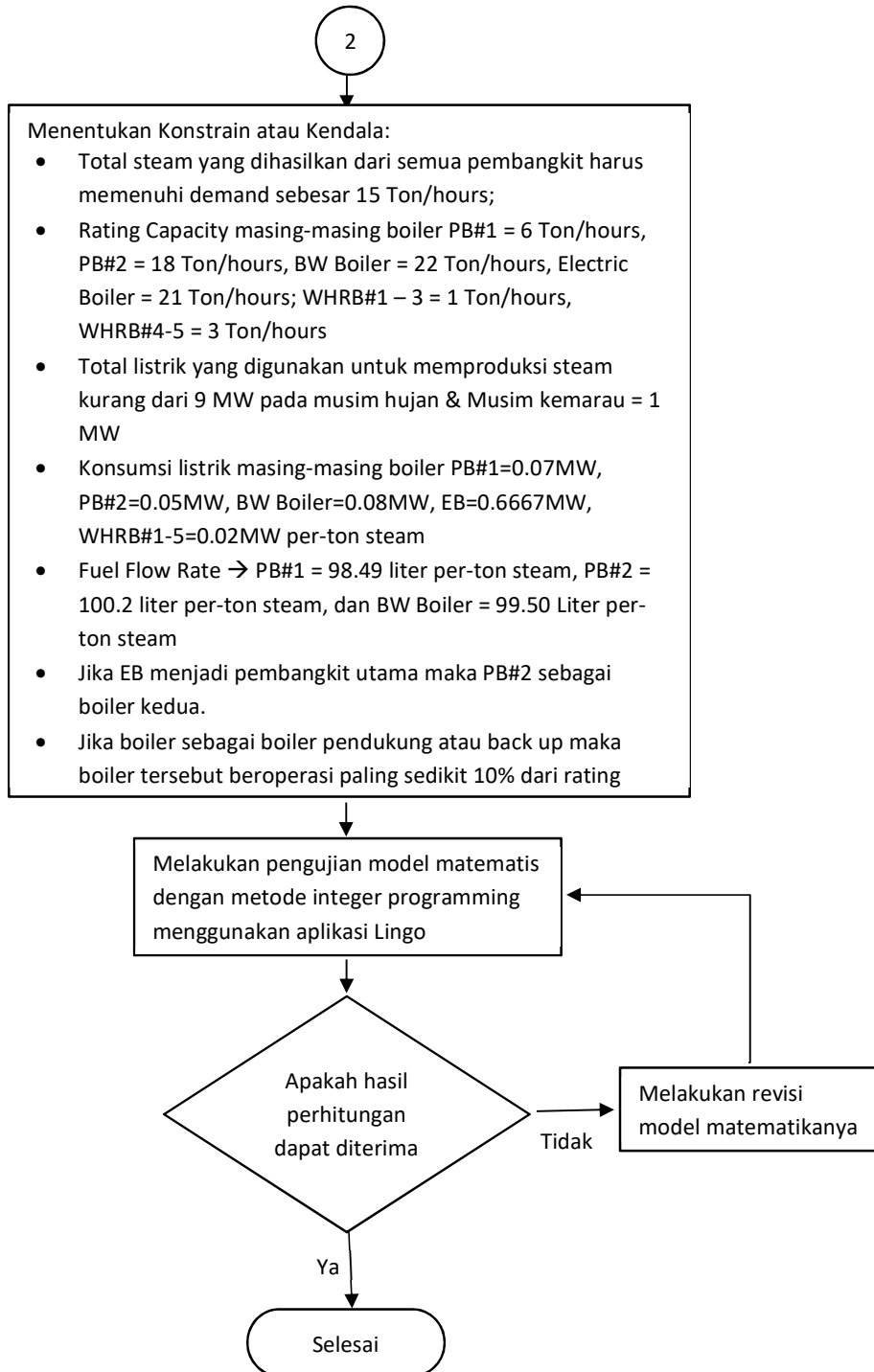
3.2. Diagram alir penentuan model matematis menggunakan integer programming.

Dalam membuat model matematis penentuan operasi strategi pembangkit uap panas bertekanan dibedakan menjadi 2 kondisi yaitu musim hujan dan musim kemarau. Pada saat musim kemarau di bulan Oktober – Desember tinggi permukaan

danau towuti turun dibawah 317.80 mAsl sehingga tidak mencukupi power untuk boiler lebih dari 1 MW seperti dijelaskan pada bab 1.

Kondisi musim hujan dan kemarau didaerah terbagi menjadi 2 yaitu musim hujan dibulan januari sampai dengan September dimana kalau kita hitung berdasarkan hari yaitu 273 hari sedangkan di musim hujan di bulan oktober sampai dengan desember yaitu 92 hari. Karena WHRB memanfaatkan gas buang dari PLTD dan gas buang dari PLTD tersebut terdapat kandungan NOx yang melebihi ambang batas yang ditentukan oleh pemerintah maka masing-masing PLTD hanya boleh beroperasi maksimal 1000 jam per-tahun. Dengan Batasan tersebut WHRB hanya dapat beroperasi maksimal 41 hari di saat kemarau. Berikut ini diagram alir penentuan model matematis untuk operasi boiler di 2 musim.





Gambar 2.2. Diagram alir model matematis

3.3. Analisa Minimasi biaya

Setelah mendapatkan nilai variable keputusan dan memasukkan nilai tersebut ke persamaan fungsi tujuan dari minimasi biaya operasi boiler menggunakan integer programming maka dilakukan analisa minimasi biaya dengan melakukan perbandingan antara hasil dari optimasi dengan aktual biaya.

Dalam membandingkan biaya operasi boiler ini dengan penjumlahan biaya di dua kondisi yaitu musim hujan atau musim kemarau atau biaya operasi boiler dalam 1 tahun. Jika biaya operasi boiler hasil dari model optimasi yang dilakukan mempunyai perbedaan yang signifikan dengan actual biaya produksi tahun 2019 dimana di tahun 2019 sudah menggunakan electric boiler maka diperlukan review dan perbaikan model optimasi untuk mendapatkan minimasi biaya operasi boiler. Dan jika hasil perhitungan dari model matematis atau optimasi mendekati biaya actual 2019 maka tahap berikutnya memberikan rekomendasi ke PT. Vale Indonesia untuk operasi boiler yang optimal.

Rekomendasi ini bertujuan atau berfungsi sebagai panduan manajemen department utilities dalam penentuan operasi boiler kedepannya untuk 2 kondisi kemarau dan musim hujan. Sehingga penentuan keputusan manajemen untuk operasi boiler tidak hanya melihat dari ketersediaan bahan bakar tetapi juga dengan melihat variable lainnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

PERMODELAN DAN ANALISA HASIL

Didalam sistem produksi PT. Vale Indonesia selalu berusaha agar semua proses dapat berjalan lancar dan sesuai dengan perencanaannya. Begitu juga dengan sistem pembangkit uap panas bertekanan di Departement Utilities. Boiler memegang peranan penting dalam proses penyediaan uap panas bertekanan untuk membantu dalam proses peleburan nikel di department Process Plant. Kebutuhan uap panas bertekanan dibangkitkan dari beberapa boiler yang mempunyai tipe Waste Heat Recovery Boiler, Packed Boiler, BW Boiler dan Electric Boiler seperti dijelaskan pada bab 2.

Untuk mendapatkan biaya operasi boiler yang optimal dari proses produksi uap panas bertekanan diperlukan suatu model matematika untuk penentuan strategi operasi boiler dengan tetap menjaga kehandalan system operasi uap panas bertekanan. Penentuan model matematika atau suatu optimasi operasi boiler ini menggunakan software lingo. Lingo adalah software yang dapat digunakan untuk menyelesaikan persoalan pemograman linear. Menggunakan software lingo ini mampu memudahkan dalam menyelesaikan masalah integer programming dengan variabel. Prinsip kerja utama software lingo ini adalah dengan memasukkan data, menyelesaikannya dan menaksirkan kebenarannya serta kelayakan data berdasarkan hasil yang telah diselesaikan.

Terdapat beberapa tahapan untuk menentukan nilai optimal dalam pengoperasian boiler menggunakan lingo, yaitu :

- a. Menentukan model matematika berdasarkan data yang ada (menentukan variable keputusan, fungsi tujuan, dan batasan atau fungsi kendala)
- b. Menentukan formulasi program untuk lingo
- c. Membaca hasil yang telah diperhitungkan dengan lingo

4.1. Variabel Keputusan.

Langkah pertama dalam membuat model matematika untuk optimasi operasi boiler di PT. Vale Indonesia yaitu dengan menentukan variable keputusan. Dimana variabel keputusan itu merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi nilai dari tujuan. Variabel keputusan dalam model matematika ini menggunakan mixed integer programming yaitu beberapa variabelnya bernilai bukan integer dan yang lainnya bernilai 0 atau 1. Dalam model matematika untuk operasi boiler pada musim hujan maupun kemarau variable yang digunakan sama.

Variabel yang bernilai bukan integer yaitu jumlah produksi uap panas bertekanan dari boiler yang beroperasi sedangkan yang bernilai 0 atau 1 menentukan boiler yang beroperasi. Karena dalam operasi boiler terdapat 2 kondisi yang membedakan yaitu musim hujan dan kemarau maka ini dibedakan dengan menentukan bulan atau hari. Untuk waktu atau hari di musim hujan yaitu bulan januari - september atau hari ke-1 sampai dengan hari ke-273, sedangkan musim kemarau dari oktober hingga desember atau hari ke-274 sampai dengan hari ke-365. Dibawah ini ditunjukkan indek, parameter, variabel keputusannya:

Indek

i = Boiler ke- i

$i = 1$, PB#1; $i = 2$, PB#2; $i = 3$, BW Boiler; $i = 4$, EB; $i = 5$, WHRB#1;

$i = 6$, WHRB#2; $i = 7$, WHRB#3; $i = 8$, WHRB#4; $i = 9$, WHRB#5;

t = Hari

Parameter:

FC_i = Fixed Cost boiler ke- i

VC_i = Variabel Cost boiler ke- i

CP_i = Kapasitas boiler ke- i

PA_i = Availability boiler ke- i

EC_i = Electric Consumption boiler ke- i

MP_i = Minimum Production boiler ke- i

Variabel:

BB_{it} = Bernilai 1 jika boiler ke- i pada hari ke- t beroperasi, bernilai 0 jika tidak

ST_{it} = Banyaknya steam yang diproduksi dari boiler ke-i pada hari ke-t, bernilai 0 jika tidak

4.2. Fungsi Objektif.

Fungsi tujuan dalam optimasi ini untuk membuat perencanaan sistem produksi uap bertekanan dengan meminimumkan total biaya operasi dari beberapa boiler yang dimiliki PT. Vale Indonesia. Dalam meminimumkan total biaya produksi yaitu dengan meminimalkan pengoperasian boiler yang menggunakan bahan bakar fosil dan memaksimalkan electric boiler dimana menggunakan electrode listrik untuk ruang bakarnya.

Dengan mendapatkan biaya produksi boiler yang paling optimum yaitu dengan memperhitungkan *fixed* dan *variable cost* masing-masing boiler. Dimana *fixed cost* boiler akan timbul jika boiler beroperasi sedangkan besarnya *variabel cost* ditentukan dari berapa banyak boiler dalam memproduksi uap panas bertekanan. Fungsi tujuan untuk model ini:

Minimasi Total Cost = (Total fixed cost x Boiler yang beroperasi) + (Total variable cost x produksi steam yang dihasilkan)

Sehingga model matematikanya:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^9 \sum_{t=1}^{365} FC_i BB_{it} + \sum_{i=1}^9 \sum_{t=1}^{365} VC_i ST_{it} \dots\dots\dots (1)$$

Dalam fungsi tujuan diatas hasilnya dipengaruhi oleh 2 parameter yaitu fixed cost (FC) dan variable cost (VC) dari masing-masing boiler. Data parameter fixed cost tersebut diambil dari data actual rata-rata biaya operasi boiler tahun 2017–2019. Data *fixed* dan *variabel cost* dari masing-masing boiler pada tabel dibawah.

Tabel 4.5. Fixed dan variabel cost

Boiler	Fixed Cost	Variabel Cost
	\$ per-year	\$ per-Ton Steam
WHRB#1	7834.4	0.0
WHRB#2	7644.9	0.0
WHRB#3	7331.5	0.0
WHRB#4	10069.6	0.0
WHRB#5	10115.0	0.0
PB#1	45754.0	59.4
PB#2	51398.7	67.1
BW Boiler	103627.8	62.0
EB	28824.3	9.2

Data variabel cost WHRB#1 – 5 bernilai 0 karena dalam proses pembakaran WHRB tidak memerlukan bahan bakar atau hanya memanfaatkan panas dari gas buang PLTD dalam ruang bakarnya sehingga tidak ada variabel cost.

4.3. Kendala atau konstrain

Penelitian ini digunakan untuk menentukan strategi operasi boiler dengan mengembangkan model mixed integer programming dengan menggunakan software lingo. Ada kendala atau konstrain yang harus diperhatikan dalam mendapatkan biaya operasi yang optimal dari memodelkan strategi operasi boiler. Batasan dan model matematika untuk operasi boiler akan dijelaskan secara detail dibawah ini.

Kemampuan atau kapasitas masing-masing boiler dalam memproduksi uap panas bertekanan sebagai berikut: PB#1 = 6 ton/jam, PB#2 = 18 ton/jam, BW Boiler = 22 ton/jam, Electric Boiler = 21 ton/jam, WHRB#1 - 3 kapasitas masing-masing 1 ton/jam, dan WHRB#4 dan 5 kapasitas masing-masing 3 ton/jam. Dalam model kapasitas ini satuannya diubah dalam satuan hari yaitu dengan mengalikan jumlah jam dalam 1 hari (24 jam). Masing-masing boiler tidak mampu berproduksi melebihi kapasitasnya sehingga persamaan dari konstrain ini adalah:

$$ST_{it} \leq CP_i \quad \forall i, t \dots\dots\dots(2)$$

Permintaan uap panas bertekanan dari kustomer (dryer, kiln, dan area sulfur) secara detail sudah dijelaskan pada bab 1 dimana dalam penelitian ini besar permintaan uap panas bertekanan diambil data 2019 atau data saat ini yaitu rata-rata 15 ton/jam. Permintaan kustomer perhari = 15 Ton/jam x 24 jam = 360 Ton sehingga persamaan dari konstrain ini adalah:

$$\sum_{i=1}^9 ST_{it} \geq 360 \quad \forall t \dots\dots\dots (3)$$

Pada Musim hujan ketersediaan listrik PT. Vale Indonesia tercukupi dari PLTA yang dimiliki sehingga Electric Boiler mendapatkan supply listrik untuk memproduksi uap panas bertekanan meskipun tidak semua dipermintaan uap panas bertekanan dibangkitkan dari Electric Boiler karena hanya mendapatkan supply listrik untuk boiler sebesar 9 MW. Kebutuhan listrik masing masing-boiler untuk memproduksi 1 Ton uap bertekanan memerlukan listrik sebesar PB#1 = 0.07MW, PB#2 = 0.05MW, BW Boiler = 0.04MW, EB = 0.66MW, dan WHRB#1 – 5 masing-masing memerlukan 0.02 per-ton uap panas bertekanan sehingga persamaan dari konstrain ini adalah:

$$\sum_{i=1}^9 EC_i + ST_{it} \leq 9 * 24 \quad t = 1,2, \dots, 273 \dots\dots\dots (4)$$

Pada Musim kemarau ketersediaan listrik PT. Vale Indonesia tidak tercukupi dari PLTA sehingga Electric Boiler tidak mendapatkan supply listrik untuk memproduksi uap panas bertekanan. Kebutuhan listrik masing masing-boiler untuk memproduksi 1 Ton, sehingga persamaan dari konstrain ini adalah:

$$\sum_{i=1}^9 EC_i + ST_{it} \leq 1 * 24 \quad t = 274,275, \dots, 365 \dots\dots\dots (5)$$

Sesuai dengan komitmen dengan kustomer setiap tahun Departement Utilities diberikan waktu untuk shutdown total boilernya selama 2 hari. Kesempatan

shutdown total untuk boiler tersebut digunakan untuk perbaikan atau PM Check yang mengharuskan semua boiler shutdown. Selain perbaikan di boiler juga dilakukan perbaikan di line distribusi steam ke kostumer karena perbaikan line distribusi utama membutuhkan terhentinya pasokan uap panas bertekanan. Dari uraian diatas *physical availability* dari sistem produksi steam yang diminta kustomer selama 2 hari dari 274 hari di musim hujan atau 99.27%. Dari perhitungan *physical availability* dari boiler didapatkan *availability* seperti berikut ini PB#1 = 81.3%, PB#2 = 86.3%, BW Boiler = 82.5%, EB = 95.0%, WHRB#1 = 51.7%, WHRB#2 = 82.3%, WHRB#3 = 86.1%, WHRB#4 = 92.9%, WHRB#5 = 93.5% detail perhitungan ini bisa lihat pada lamipran 3. Dari data diatas maka persamaan dari konstrain tersebut.

$$\sum_{i=1}^{273} \sum_{t=1}^9 PA_i ST_{it} \geq 0.992 * 360 \dots\dots\dots (6)$$

Pada musim kemarau kustomer mengharapkan tidak ada total shutdown untuk boiler dan *availability* dari system produksi uap panas bertekanan adalah 100%. Dengan memperhitungkan *physical availability* dari masing-masing seperti pada persamaan 6 maka persamaan dari konstrain tersebut.

$$\sum_{i=274}^{365} \sum_{t=1}^9 PA_i ST_{it} \geq 1 * 360 \dots\dots\dots (7)$$

Ada batasan dari boiler jika beroperasi yaitu boiler dalam memproduksi uap panas bertekanan paling sedikit:

- PB#1 → 0 ≥ X₁ ≥ 0.6
- PB#2 → 0 ≥ X₂ ≥ 1.8
- BW Boiler → 0 ≥ X₃ ≥ 2.2
- EB → 0 ≥ X₄ ≥ 2
- WHRB#1 → 0 ≥ X₅ ≥ 1
- WHRB#2 → 0 ≥ X₆ ≥ 1
- WHRB#3 → 0 ≥ X₇ ≥ 1
- WHRB#4 → 0 ≥ X₈ ≥ 3
- WHRB#5 → 0 ≥ X₉ ≥ 3

Sehingga persamaan constraint ini:

$$ST_{it} \leq M * BB_{it} \quad \forall t, i \dots\dots\dots(8)$$

$$MP_i - ST_{it} \leq M * (1 - BB_{it}) \quad \forall t, i \dots\dots\dots (9)$$

M merupakan bilangan besar dimana pada model menggunakan angka 10.000.

Untuk menjaga kehandalan system produksi uap bertekanan, selalu dua boiler yang beroperasi meskipun boiler kedua hanya beroperasi pada titik minimum dari kapasitasnya. Jika boiler pertama mengalami gangguan atau kerusakan maka boiler kedua menggantikan boiler pertama sehingga supply uap bertekanan ke kustomer tidak terganggu. Jika EB menjadi pembangkit utama maka PB#2 sebagai boiler kedua dan jika PB#2 menjadi pembangkit utama maka PB#1 sebagai boiler backup. Sehingga persamaan dari kendala atau konstrain ini adalah:

$$BB_{2t} \geq BB_{4t} \quad \forall t \dots\dots\dots(10)$$

$$BB_{2t} \geq BB_{1t} \quad \forall t \dots\dots\dots(11)$$

Pada musim hujan, ketersediaan listrik dari pembangkit listrik tenaga air dapat mencukupi dari permintaan electric boiler sehingga pada musim hujan penggunaan boiler listrik dioptimalkan. Sedangkan pada musim kemarau tidak ada listrik yang tersedia untuk boiler listrik dan selama musim kemarau PLTD dioperasikan untuk meningkatkan ketersediaan listrik tetapi PLTD hanya diperbolehkan beroperasi 1000 jam per-tahun karena emisi NOX dari PLTD melebihi pemerintah ambang. Karena WHRB memanfaatkan panas gas buang dari PLTD maka saat itu WHRB juga dapat beroperasi hanya 1000 jam atau 41 hari pertahunnya dan dioperasikan pada awal musim kemarau.

$$\sum_{i=5}^9 ST_{it} \leq 0 \quad t = 1,2, \dots, 273 \dots\dots\dots (11)$$

$$\sum_{i=5}^9 ST_{it} \leq 0 \quad t = 314,315, \dots, 365 \dots\dots\dots (12)$$

4.4. Analisa hasil

Untuk mendapatkan hasil optimasi dari operasi boiler dalam hal ini menggunakan software atau aplikasi perangkat lunak Lingo. Dimana software Lingo adalah software yang dapat digunakan untuk menyelesaikan persoalan pemograman linear. Menggunakan software lingo ini mampu memudahkan dalam menyelesaikan masalah integer programming dengan variabel. Prinsip kerja utama software lingo ini adalah dengan memasukkan data, menyelesaikannya dan menaksirkan kebenarannya serta kelayakan data berdasarkan hasil yang telah diselesaikan.

Dari hasil Analisa ini dibedakan menjadi dua model matematis yaitu operasi boiler pada saat musim hujan selama 9 bulan (january – september) dan saat musim kemarau selama 3 bulan (oktober – desember).

4.4.1. Hasil Analisa Musim Hujan.

Pada musim hujan listrik dari PLTA dapat mencukupi kebutuhan listrik untuk proses peleburan nikel. Begitu juga kebutuhan listrik untuk electric boiler sehingga pada bulan Januari sampai dengan September produksi uap bertekanan dapat memaksimalkan electric boiler dengan biaya paling rendah dibandingkan biaya operasi boiler yang menggunakan bahan bakar fosil.

Model matematis untuk oprtimasi operasi boiler pada saat musim hujan dengan menggunakan model matematis dengan 2 variabel keputusan, 4 variabel simpangan, dan 6 kendala. Dari data yang didapat dan model matematis yang dibangun dari kendala-kendala dilapangan maka didapatkan hasil optimal dari operasi boiler dengan minimum biaya operasi yang didapat dari tujuan pada kendala.

Hasil perhitungan dari model matematis operasi boiler menggunakan Lingo dengan metode mixed integer programming adalah nilai variable keputusan untuk mendapatkan nilai biaya operasi boiler yang terendah. Model matematis dari program Lingo hingga pemeriksaan error pada persamaan dalam proses Lingo dapat dilihat pada lampiran 7 dan 8. Hasil dari variable keputusan dari model matematis di tunjukan pada tabel dibawah.

Tabel 4.2.6 Bauran komposisi operasi boiler pada musim hujan hasil optimasi model matematis

No	Variabel Keputusan	Boiler	Produksi Uap Panas bertekanan Ton per-hari
1	ST_1	Packed Boiler#1	-
2	ST_2	Packed Boiler#2	43.2
3	ST_3	BW Boiler	-
4	ST_4	Electric Boiler	316

Berdasarkan perhitungan produksi uap bertekanan menggunakan software lingo maka dalam 9 bulan yang paling optimal untuk skenario operasi boiler yaitu dengan mengoperasikan electric boiler dan menghasilkan uap panas bertekanan sebesar 316 Ton per-hari dengan menggunakan listrik sebanyak 8 MW. Karena permintaan dari kostumer adalah 15 ton per-jam atau 360 ton perhari uap panas bertekanan selama 9 bulan maka berdasarkan hasil perhitungan menggunakan lingo kekurangan produksi uap panas bertekanan dipenuhi oleh packed boiler#2 dengan jumlah produksi 43.2 ton per-hari.

Dari hasil perhitungan lingo untuk produksi uap bertekanan yang diproduksi dari electric boiler dan packed boiler#2 maka akan diketahui biaya operasi dari boiler pada saat musim hujan atau pada saat ketersediaan listrik dari PLTA cukup yaitu sebesar \$1,689,012.

4.4.2. Hasil Analisa Musim Kemarau.

Pada musim kemarau listrik dari PLTA tidak mencukupi kebutuhan listrik untuk proses peleburan nikel. Begitu juga kebutuhan listrik untuk electric boiler sehingga pada bulan Oktober sampai dengan Desember electric boiler tidak dapat beroperasi dan kebutuhan uap panas bertekanan di bangkitkan dari boiler dengan bahan bakar fosil

Model matematis untuk oprtimasi operasi boiler pada saat musim kemarau dengan menggunakan model matematis dengan 2 variabel keputusan, 9 variabel simpangan, dan 6 kendala. Dari data yang didapat dan model matematis yang dibangun dari kendala-kendala dilapangan maka didapatkan hasil optimal dari operasi boiler dengan minimum biaya operasi yang didapat dari tujuan pada kendala.

Hasil perhitungan dari model matematis operasi boiler menggunakan Lingo dengan metode mixed integer programming adalah nilai variable keputusan untuk mencapai sasaran dengan biaya operasi boiler dengan terendah. Model matematis dari program Lingo hingga pemeriksaan error pada persamaan dalam proses Lingo dapat dilihat pada lampiran 7 dan 8. Hasil dari variable keputusan dari model matematis di tunjukan pada tabel dibawah.

Tabel 4.3.7Bauran komposisi operasi boiler pada musim kemarau hasil optimasi model matematis

No	Variabel Keputusan	Boiler	Produksi Uap Panas bertekanan <i>ton per-hari</i>	Keterangan
1	ST_1	Packed Boiler#1	14.4	
2	ST_2	Packed Boiler#2	144 345.6	- Pada saat back up WHRB 41 hari - Setelah WHRB tidak beroperasi
3	ST_3	BW Boiler	-	
4	ST_4	Electric Boiler	-	
5	ST_5	WHRB#1	24	
6	ST_6	WHRB#2	24	
7	ST_7	WHRB#3	24	
8	ST_8	WHRB#4	72	
9	ST_9	WHRB#5	72	

Berdasarkan perhitungan produksi uap bertekanan menggunakan software lingo maka dalam 3 bulan yang paling optimal untuk skenario operasi boiler yaitu dengan mengoperasikan WHRB selama 1000 jam atau 41 hari dan menghasilkan uap panas bertekanan sebesar 216 ton per-hari. Karena permintaan dari kostumer adalah 360 ton per-hari uap panas bertekanan selama 3 bulan maka berdasarkan hasil perhitungan menggunakan lingo kekurangan produksi uap panas bertekanan saat WHRB beroperasi dipenuhi oleh packed boiler#2 dengan jumlah produksi 144 ton per-hari. Karena WHRB tidak dapat beropersi lebih dari 1000 jam maka packed boiler#2 menjadi boiler utama dan berproduksi sebesar 360 ton per-hari.

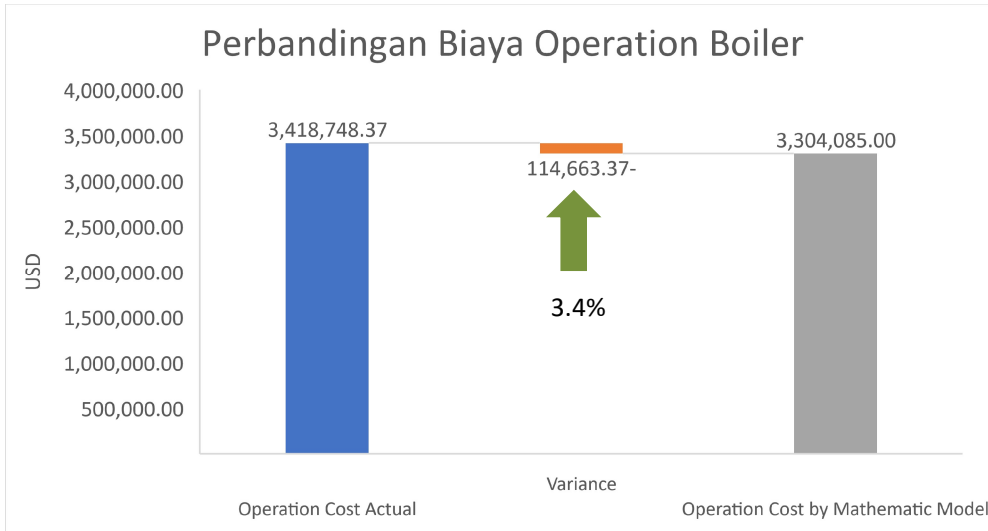
Dari hasil perhitungan lingo untuk produksi uap bertekanan pada saat kemarau atau pada saat kekurangan persediaan listrik maka akan diketahui biaya operasi dari boiler yaitu sebesar \$ 1,615,073.

4.4.3. Hasil Analisa Minimasi biaya

Setelah mendapatkan nilai variable keputusan dan memasukan nilai tersebut ke persamaan fungsi tujuan dari minimasi biaya operasi boiler menggunakan mixed integer programming maka dilakukan analisa minimasi biaya dengan melakukan perbandingan antara hasil dari optimasi dengan aktual biaya.

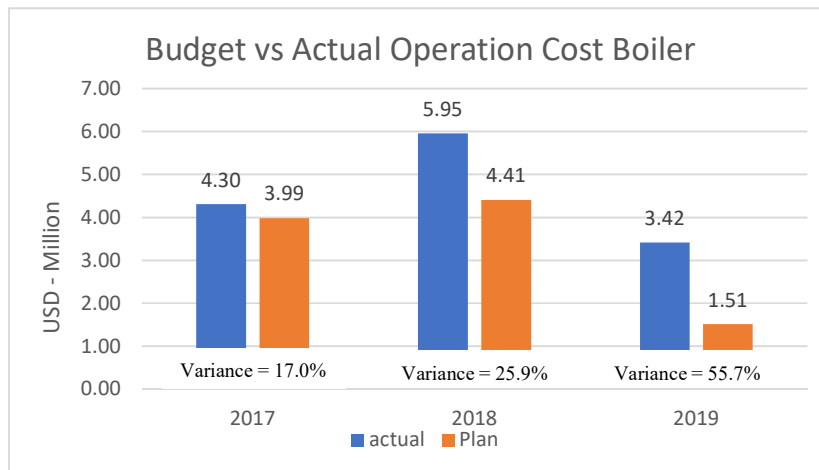
Dalam membandingkan biaya operasi boiler ini dengan penjumlahan biaya didua kondisi yaitu musim hujan atau musim kemarau atau biaya operasi boiler dalam 1 tahun. Biaya operasi yang didapat dari perhitungan lingo dengan metode mixed integer programming pada saat musim hujan adalah \$1,689,012 dan biaya operasi boiler pada saat musim kemarau adalah \$ 1,615,073 sehingga total dalam setahun biaya operasi boiler yang paling minimum adalah \$3,304,085.

Jika kita bandingkan dengan nilai actual biaya operasi boiler tahun 2019 dengan hasil perhitungan model matematis menggunakan model matematis bahwa perhitungan dengan model matematis mendekati 3.4% dari actual operasi boiler dan perbandingan biaya operasi boiler dapat dilihat pada graph dibawah ini.



Gambar 4.1. Perbandingan aktual biaya operasi dengan hasil model optimasi

Hasil dari optimasi operasi boiler dengan model matematis tersebut lebih mendekati dari aktual operasi boiler dibandingkan dengan penentuan budget tahun 2017 sampai 2019. Perbandingan budget dengan aktual biaya operasi boiler tahun 2017 sampai dengan 2019 ditunjukkan pada dibawah.



Gambar 4.2. Perbandingan budget dengan aktual biaya operasi

Dimana penentuan budget pada grafik diatas menunjukkan bahwa budget Tahun 2017 sampai dengan 2019 mempunyai perbedaan yang sangat signifikan jika dibandingkan dengan aktual biaya produksi operasi boiler yaitu diatas 10%.

Perbedaan yang signifikan ini karena hanya memperhitungkan dari permintaan uap panas dari kostumer dan availability dari setiap boiler dianggap 100% semua. Sedangkan hasil perhitungan cost dari model matematis dapat lebih mendekati dengan actual karena memperhitungkan beberapa konstrain dalam pengoperasian boiler

Meskipun kondisi, permintaan uap, ketersediaan listrik, physical availability, environment, dan kapabilitas boiler di tahun 2019 sama dengan model matematis tetapi biaya operasi boiler masih ada perbedaan 3.4%. Perbedaan biaya tersebut disebabkan dari komposisi atau penugasan boiler yang beroperasi dan perhitungan fixed cost yang berbeda.

Biaya operasi boiler aktual 2019 ini didapat dari bauran komposisi boiler yang beroperasi dan jumlah uap panas yang diproduksi. Dari biaya aktual operasi boiler didapat dari bauran komposisi boiler yang beroperasi sebagai berikut Electric Boiler sebagai boiler utama dengan berproduksi rata-rata 312 ton/hari dan didukung atau dibantu Packed Boiler#1, Packed Boiler#2, dan BW Boiler secara bergantian dengan produksi 48 ton/hari dimusim hujan. Dari komposisi penugasan operasi boiler dimusim hujan memerlukan biaya operasi sebesar \$ 1,841,172 atau mulai bulan Januari sampai dengan September.

Untuk dimusim kemarau terbagi menjadi 2 bagian yaitu dimana pada saat WHRB bisa dioperasikan bauran komposisi operasi boiler yaitu WHRB#1 – 5 beropersi maksimum dengan berproduksi WHRB#1–3 masing-masing berproduksi sebanyak 24 ton/hari dan WHRB#4 dan 5 berproduksi masing-masing 72 ton/hari dan kurang produksi uap bertekanan diback up oleh PB#2 dengan produksi sebanyak 144 ton/jam. Dan setelah WHRB melampau batas operasi yang ditentukan pemerintah maka permintaan uap bertekanan diproduksi dari PB#2 dan didukung oleh BW Boiler. Dari komposisi penugasan boiler yang beroperasi diatas memerlukan biaya operasi sebesar \$ 1,575,575 selama musim hujan atau mulai bulan Oktober sampai dengan Desember. Sehingga total biaya operasi boiler dalam setahun adalah \$ 3,416,747. Dari actual data komposisi penugasan boiler yang beroperasi tahun 2019 bisa lihat pada lampiran 6.

Selain itu dalam perhitungan fixed cost operasi boiler aktual juga berbeda dengan model matematis. Dimana pada model matematis fixed cost akan timbul jika boiler beroperasi. Sedangkan aktual fixed cost muncul meskipun boiler tidak beroperasi karena PM Check maintenance secara aktual tidak berdasarkan *running hour* boiler tetapi *time base*. Dimana dalam *time base* tersebut preventive maintenance dilihat dari kalender. Misalnya PM 3 bulanan akan dilakukan tiap 3 bulan meskipun boiler tidak beroperasi sehingga akan muncul fixed cost. Di tabel ditunjukkan actual fixed cost dan variable cost 2019. Secara detail data biaya fixed dan variable cost tahun 2019 pada lampiran 2.

Tabel 4.4.8 Data biaya *fixed dan variable cost* tahun 2019

Boiler	Fixed Cost	Variabel Cost
PB#1	\$ 13,116	\$ 25,765
PB#2	\$ 62,266	\$ 1,958,161
BW Boiler	\$ 152,601	\$ 389,608
EB	\$ 55,084	\$ 718,115
WHRB	\$ 44,033	\$ -
Total	\$ 327,100	\$ 3,091,649
Total Operation Cost Boiler	\$ 3,418,748	

4.5. Analisa Sensitivitas

Analisis sensitivitas digunakan untuk menentukan bagaimana perbedaan nilai atau parameter variabel terhadap solusi optimal yang didapat berdasarkan beberapa asumsi yang diberikan. Analisa ini digunakan dalam batas-batas tertentu yang bergantung pada satu atau lebih variabel input, seperti efek perubahan nilai dari fixed dan variable cost terhadap komposisi bauran supply boiler.

Tujuan lain dari analisa sensitivitas adalah untuk mempelajari mengenai perubahan nilai parameter model dalam batasan tertentu tanpa mengubah solusi optimal. Apabila parameter mengalami perubahan melewati batas, maka dapat berakibat pada perubahan solusi optimal dan jika perubahan parameter tidak mempunyai pengaruh besar terhadap solusi, maka dapat dikatakan solusi relative intensif nilai parameter tersebut.

Dalam analisa sensitivitas ini dilakukan mencakup beberapa pertimbangan yaitu:

1. Sensitivitas solusi optimal terhadap nilai parameter dari fungsi tujuan.
2. Sensitivitas solusi optimal terhadap kendala nilai sisi kanan.

Tabel 4.5.9 Hasil analisa sensitivitas

Variable	Objective Coefficient Ranges			Remarks
	Current Coef	Allowable Increase	Allowable Decrease	
FC_1	125.00	INFINITY	42	
FC_2	140.00	13,428	INFINITY	
FC_3	283.00	INFINITY	33	
FC_4	78.00	13,311	INFINITY	
FC_5	21.46	172	INFINITY	Fixed Cost USD/day
FC_6	20.94	172	INFINITY	
FC_7	20.08	172	INFINITY	
FC_8	27.58	518	INFINITY	
FC_9	27.71	518	INFINITY	
VC_1	64.63	INFINITY	62.40	
VC_2	65.75	68.00	INFINITY	
VC_3	65.29	INFINITY	61.60	
VC_4	9.21	65.30	INFINITY	
VC_5	0.00	57.50	INFINITY	Variable Cost USD/Ton Steam
VC_6	0.00	57.70	INFINITY	
VC_7	0.00	58.10	INFINITY	
VC_8	0.00	62.20	INFINITY	
VC_9	0.00	62.20	INFINITY	

Constrain	RightHand Side Ranges			Remarks
	Current RHS	Allowable Increase	Allowable Decrease	
1	15.0	17.2	14.00	Steam Demand
2	9.0	INFINITY	8.00	Kebutuhan Listrik -Wet Season
3	1.0	INFINITY	0.80	Kebutuhan Listrik -Dry Season
4	99.2	INFINITY	INFINITY	Physical Availability - Wet Season
5	100.0	INFINITY	INFINITY	Physical Availability - Dry Season
6	1,000.0	1,024.0	977.00	Emmision Limitation

Pada table 4.5 terdapat batasan dari nilai parameter fungsi tujuan dan nilai sisi kanan konstrain terhadap solusi optimal dalam hal ini ada bauran supply boiler yang beroperasi. Penjelasan hasil Analisa sensitivitas diatas akan dijabarkan pada point berikut:

1. Objective coefficient ranges

Kolom variable menunjukkan nilai dari variable keputusan, kolom current coef menunjukkan koefisien dari fungsi tujuan. Nilai allowable decrease dan allowable increase untuk menentukan batasan tertentu untuk nilai dari parameter variable keputusan agar tidak mengubah nilai optimalnya. Nilai parameter atau koefisien X adalah fixed cost sedangkan Y adalah variable cost.

Pada variable keputusan X_1 apabila koefisien variable diturunkan hingga sebesar 42 dan dinaikkan sebesar nilai berapapun tidak mengubah nilai optimal hasil dari variable keputusan, apabila X_2 koefisien variable diturunkan hingga sebesar nilai berapapun dan dinaikkan sebesar 13,428 tidak mengubah nilai optimal hasil dari variable keputusan, koefisien variable X_3 diturunkan hingga sebesar 33 dan dinaikkan sebesar nilai berapapun tidak mengubah nilai optimal hasil dari variable keputusan, koefisien variable X_4 diturunkan hingga sebesar nilai berapapun dan dinaikkan sebesar 13,311 tidak mengubah nilai optimal hasil dari variable keputusan, koefisien variable X_5 , X_6 , dan X_7 diturunkan hingga sebesar nilai berapapun dan dinaikkan sebesar 172 tidak mengubah nilai optimal hasil dari variable keputusan, sedangkan koefisien variable X_8 , dan X_9 diturunkan hingga sebesar nilai berapapun dan dinaikkan sebesar 518 tidak mengubah nilai optimal hasil dari variable keputusan.

Pada variable keputusan Y_1 apabila koefisien variable diturunkan hingga sebesar 62.40 dan dinaikkan sebesar nilai berapapun tidak mengubah nilai optimal hasil dari variable keputusan, apabila Y_2 koefisien variable diturunkan hingga sebesar nilai berapapun dan dinaikkan sebesar 68 tidak mengubah nilai optimal hasil dari variable keputusan, koefisien variable Y_3 diturunkan hingga sebesar 61.60 dan dinaikkan sebesar nilai berapapun tidak mengubah nilai optimal hasil dari variable keputusan, koefisien variable X_4 diturunkan hingga sebesar nilai berapapun dan dinaikkan sebesar 65.30 tidak mengubah nilai

optimal hasil dari variable keputusan, koefisien variable X_5 , X_6 , dan X_7 diturunkan hingga sebesar nilai berapapun dan dinaikkan masing-masing sebesar 57.5, 57.7, 58.1 tidak mengubah nilai optimal hasil dari variable keputusan, sedangkan koefisien variable X_8 , dan X_9 diturunkan hingga sebesar nilai berapapun dan dinaikkan sebesar 62.2 tidak mengubah nilai optimal hasil dari variable keputusan.

2. Right hand side ranges

Nilai rentang kenaikan pada sisi kanan (RHS) yang ditunjukkan dari hasil analisa sensitivitas pada fungsi kendala atau konstrain. Pada konstrain 1 yaitu permintaan uap panas bertekanan hanya memiliki range sangat kecil yaitu turun 1 Ton/jam atau naik 2.2 Ton/jam dari permintaan saat ini sudah mengubah nilai optimal dari variable keputusan, dari konstrain 2 sampai dengan 6 apabila nilai batas dinaikkan sebarangpun tidak mengubah nilai optimal dari variable keputusan. Sedangkan untuk konstrain 2 sampai dengan 3 jika diturunkan lebih dari masing-masing 8 dan 0.8 akan mengubah nilai optimal dari variable keputusan dan konstrain 4 dan 5 jika diturunkan sebarangpun nilainya akan tidak mengubah nilai optimal dari variable keputusan. Untuk konstrain 6 mempunyai range yang sangat kecil yaitu apabila dinaikkan 1,024 dan diturunkan 977 sudah mengubah nilai optimal dari variable keputusan.

Tabel analisa sensitivitas diatas merupakan batasan kenaikan atau penurunan dari nilai parameter keputusan tujuan dan RHS pada fungsi kendala sehingga dapat diketahui seberapa jauh dampak perubahan tersebut terhadap bauran dari operasi boiler dan tidak mengubah nilai optimalnya.

4.5.1. Analisa sensitivitas parameter kehandalan boiler.

Analisis sensitivitas terhadap parameter kehandalan boiler merupakan analisis yang dilakukan untuk mengetahui akibat dari perubahan parameter-parameter kehandalan masing-masing boiler terhadap perubahan bauran operasi boiler dalam meentukan biaya oprasinya. Dengan melakukan analisis sensitivitas

maka akibat yang mungkin terjadi dari perubahan-perubahan tersebut dapat diketahui dan diantisipasi sebelumnya.

Fungsi dilakukannya analisis sensitivitas parameter kehandalan boiler adalah untuk mengantisipasi adanya perubahan-perubahan berikut:

1. Adanya penurunan kehandalan masing-masing boiler.
2. Perubahan jadwal perawatan boiler
3. Perubahan strategi produksi perusahaan

Tabel 4.6.10 Hasil analisa sensitivitas parameter kehandalan boiler pada musim hujan

Boiler		Physical Availability	Bauran Komposisi Operasi Boiler				Biaya Operasi USD
			PB#1	PB#2	BWB	EB	
PB#1	Eksisting	81.3%	0	1	0	1	1,689,012.0
	-5%	77.2%	0	1	0	1	1,689,012.0
	-10%	73.2%	0	1	0	1	1,689,012.0
	-20%	65.0%	0	1	0	1	1,689,012.0
	-30%	56.9%	0	1	0	1	1,689,012.0
	-40%	48.8%	0	1	0	1	1,689,012.0
	-50%	40.7%	0	1	0	1	1,689,012.0
PB#2	Eksisting	86.3%	0	1	0	1	1,689,012.0
	-5%	82.0%	0	1	0	1	1,689,012.0
	-10%	77.7%	0	1	0	1	1,689,012.0
	-20%	69.0%	0	1	0	1	1,689,012.0
	-30%	60.4%	0	1	0	1	1,689,012.0
	-40%	51.8%	0	1	0	1	1,689,012.0
	-50%	43.2%	0	1	0	1	1,689,012.0
BWB	Eksisting	82.5%	0	1	0	1	1,689,012.0
	-5%	78.4%	0	1	0	1	1,689,012.0
	-10%	74.3%	0	1	0	1	1,689,012.0
	-20%	66.0%	0	1	0	1	1,689,012.0
	-30%	57.8%	0	1	0	1	1,689,012.0
	-40%	49.5%	0	1	0	1	1,689,012.0
	-50%	41.3%	0	1	0	1	1,689,012.0
EB	Eksisting	95.0%	0	1	0	1	1,689,012.0
	-5%	90.3%	0	1	0	1	1,689,012.0
	-10%	85.5%	0	1	0	1	1,770,402.0
	-20%	76.0%	0	1	0	1	2,298,293.0
	-30%	66.5%	0	1	0	1	2,826,184.0
	-40%	57.0%	0	1	0	1	3,354,076.0

	-50%	47.5%	1	1	0	1	3,872,063.0
--	------	-------	---	---	---	---	-------------

Hasil analisa sensitivitas parameter kehandalan boiler pada musim hujan di tabel 4.6 menunjukkan bawah perubahan parameter kehandalan turun sampai 50% dari kondisi kehandalan boiler saat ini pada boiler PB#1, PB#2 dan BW boiler tidak mengubah komposisi bauran supply boiler dan tidak ada perubahan biaya produksi. Dengan cara yang sama untuk parameter kehandalan EB diturunkan seperti pada tabel 4.6 dan mengalami perubahan operasi boiler di musim hujan, adapun perubahan tersebut:

1. Penurunan parameter kehandalan EB 10% dari eksisting mengubah operasi boiler yaitu 9 hari dari 273 hari di musim hujan EB hanya dapat berproduksi 2 ton/jam dan PB#2 mengambil alih sebagai boiler utama selama 9 hari dan berproduksi 13 ton/jam dan biaya produksi meningkat menjadi \$ 1.77 juta.
2. Penurunan parameter kehandalan EB 20% dari eksisting mengubah operasi boiler yaitu 39 hari dari 273 hari di musim hujan EB hanya dapat berproduksi 2 ton/jam dan PB#2 mengambil alih sebagai boiler utama selama 39 hari dan berproduksi 13 ton/jam dan biaya produksi meningkat menjadi \$ 2.29 juta.
3. Penurunan parameter kehandalan EB 30% dari eksisting mengubah operasi boiler yaitu 79 hari dari 273 hari di musim hujan EB hanya dapat berproduksi 2 ton/jam dan PB#2 mengambil alih sebagai boiler utama selama 79 hari dan berproduksi 13 ton/jam dan biaya produksi meningkat menjadi \$ 2.82 juta.
4. Penurunan parameter kehandalan EB 40% dari eksisting mengubah operasi boiler yaitu 96 hari dari 273 hari di musim hujan EB hanya dapat berproduksi 2 ton/jam dan PB#2 mengambil alih sebagai boiler utama selama 96 hari dan berproduksi 13 ton/jam dan biaya produksi meningkat menjadi \$ 3.35 juta.
5. Penurunan parameter kehandalan EB 50% dari eksisting mengubah operasi boiler yaitu PB#1 sebagai boiler utama dengan maksimal kapasitas produksi yaitu 6 ton/jam dan dibackup dengan EB beroperasi maksimal 7 ton/jam karena penurunan parameter kehandalan 50% dari eksisting dan PB#2 sebagai boiler yang ketiga untuk mencukupi permintaan uap panas bertekanan sebesar 2 ton/jam sehingga biaya produksi meningkat menjadi \$ 3.8 juta pada musim hujan.

Tabel 4.7.11 Hasil analisa sensitivitas parameter kehandalan boiler pada musim kemarau

Boiler		Physical Availability	Bauran Komposisi Operasi Boiler								Biaya Operasi USD	
			PB#1	PB#2	BWB	EB	WB#1	WB#2	WB#3	WB#4		WB#5
PB#1	Eksisting	81.3%	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1,615,073.0
	-5%	77.2%	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1,615,073.0
	-10%	73.2%	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1,615,073.0
	-20%	65.0%	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1,615,073.0
	-30%	56.9%	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1,615,073.0
	-40%	48.8%	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1,615,073.0
	-50%	40.7%	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1,615,073.0
PB#2	Eksisting	86.3%	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1,615,073.0
	-5%	82.0%	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1,615,073.0
	-10%	77.7%	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1,615,073.0
	-20%	69.0%	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1,615,735.0
	-30%	60.4%	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1,615,735.0
	-40%	51.8%	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1,615,735.0
	-50%	43.2%	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1,615,735.0
BWB	Eksisting	82.5%	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1,615,073.0
	-5%	78.4%	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1,615,073.0
	-10%	74.3%	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1,615,073.0
	-20%	66.0%	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1,615,073.0
	-30%	57.8%	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1,615,073.0
	-40%	49.5%	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1,615,073.0
	-50%	41.3%	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1,615,073.0
EB	Eksisting	95.0%	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1,615,073.0
	-5%	90.3%	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1,615,073.0
	-10%	85.5%	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1,615,073.0
	-20%	76.0%	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1,615,073.0
	-30%	66.5%	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1,615,073.0
	-40%	57.0%	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1,615,073.0
	-50%	47.5%	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1,615,073.0
WHRB#1	Eksisting	52.0%	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1,615,073.0
	-5%	49.4%	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1,615,073.0
	-10%	46.8%	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1,615,073.0
	-20%	41.6%	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1,615,073.0
	-30%	36.4%	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1,615,073.0
	-40%	31.2%	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1,615,073.0
	-50%	26.0%	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1,615,073.0
WHRB#2	Eksisting	82.0%	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1,615,073.0

	-5%	77.9%	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1,615,073.0
	-10%	73.8%	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1,615,073.0
	-20%	65.6%	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1,615,073.0
	-30%	57.4%	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1,615,073.0
	-40%	49.2%	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1,615,073.0
	-50%	41.0%	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1,615,073.0
WHRB#3	Eksisting	86.0%	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1,615,073.0
	-5%	81.7%	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1,615,073.0
	-10%	77.4%	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1,615,073.0
	-20%	68.8%	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1,615,073.0
	-30%	60.2%	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1,615,073.0
	-40%	51.6%	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1,615,073.0
	-50%	43.0%	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1,615,073.0
WHRB#4	Eksisting	92.0%	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1,615,073.0
	-5%	87.4%	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1,615,073.0
	-10%	82.8%	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1,615,073.0
	-20%	73.6%	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1,615,073.0
	-30%	64.4%	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1,615,073.0
	-40%	55.2%	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1,615,073.0
	-50%	46.0%	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1,615,073.0
WHRB#5	Eksisting	93.0%	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1,615,073.0
	-5%	88.4%	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1,615,073.0
	-10%	83.7%	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1,615,073.0
	-20%	74.4%	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1,615,073.0
	-30%	65.1%	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1,615,073.0
	-40%	55.8%	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1,615,073.0
	-50%	46.5%	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1,615,073.0

Hasil analisa sensitivitas parameter kehandalan boiler pada musim kemarau di tabel 4.7. Pada boiler PB#1, BW boiler, EB, dan WHRB menunjukkan bawah perubahan parameter kehandalan turun sampai 50% dari kondisi kehandalan boiler saat ini tidak mengubah komposisi bauran supply boiler dan tidak ada perubahan biaya produksi.

Tetapi pada penurunan parameter kehandalan PB#2 mulai dari 20% dari kondisi eksisting sudah mengubah operasi boiler. Perubahan operasi boiler yaitu WHRB sebagai boiler utama 41 of 92 day dan back up dengan PB#1 berproduksi sebanyak 6 ton/jam, setelah WHRB tidak dapat beroperasi atau melebihi 1000 jam

yang dibatasi oleh pemerintah karena emisi PLTD melebihi ambang batas yang ditentukan pemerintah atau mulai hari 43 di musim kemarau PB#2 menjadi boiler utama dengan produksi 9 ton/jam dan PB#1 sebagai back up dengan produksi 6 ton/jam.

4.5.2. Analisa sensitivitas strategi perusahaan.

Untuk menjaga kehandalan sistem produksi uap panas bertekanan perusahaan mempunyai strategi operasi yaitu dengan memberikan waktu shutdown total selama 2 hari untuk perawatan boiler dan pipa distribusi uap panas bertekanan. Shutdown total 2 hari dilakukan pada dibulan pebruari atau musim hujan setiap tahunnya.

Sehingga dari perhitungan target kehandalan sistem produksi uap panas bertekanan pada musim hujan adalah 99.2% sedangkan pada musim kemarau 100% sesuai dengan permintaan kostumer atau process plant department. Di tabel 4.5 menunjukkan bahwa apabila perusahaan mengubah strateginya dengan mengubah waktu shutdown total atau nilai parameter kehandalan pada sisi kanan (RHS) dipindah ke musim kemarau maka akan ada penurunan biaya operasi boiler sebesar \$3.5 ribu atau penurunan sebesar 1.1%. Perubahan ini tidak signifikan untuk penghematan biaya produksi sehingga shutdown total dapat dilakukan di musim hujan atau kemarau.

Tabel 4.8.12 Biaya produksi dengan perubahan parameter kehandalan

Parameter Kehandalan		Wet Season	Dry Season
		100.0%	100.0%
Wet Season	99.2%		3,304,085.00
Dry Season	99.2%	3,268,261.00	

Dengan perkembangan perusahaan di tahun 2024 PT. Vale Indonesia mempunyai target dengan menaikkan produksi dari 80 KT nikel menjadi 90 KT nikel per-tahun. Rencana menaikkan produksi ini dengan menambah tungku peleburan, dryer dan kiln masing-masing sebanyak 1 unit. Dengan penambahan

beberapa peralatan produksi peleburan nikel bertambah juga permintaan listrik dan uap panas bertekanan.

Tabel 4.9.13 Perhitungan ketersediaan listrik.

Power Generation & Load	Power Scenario		
	1	2	3
Larona PLTA	181	181	181
Balambano PLTA	115	115	115
Karebbe PLTA	101	101	101
Total PLTA - Generated	396.5	396.5	396.5
Transmission Line Losses (1%)	4.0	4.0	4.0
Hydro Aux Load	0.5	0.5	0.5
PLN from Hydro	5.0	5.0	5.0
Government from Hydro	3.0	3.0	3.0
Total Hydro Power Deducted	12.5	12.5	12.5
Total Power Delivered to Plant site	384.0	384.0	384.0
MBDG	0.0	0.0	0.0
Catterpillar Generator	0.0	0.0	0.0
Total Thermal Power Generation	0.0	0.0	0.0
Total Power Generation	384.0	384.0	384.0
Furnace	300.0	300.0	300.0
Auxiliary Load	45.0	45.0	45.0
PLN Sorowako	2.7	2.7	2.7
CCP#2	6.5	6.5	6.5
Electric Boiler	13.3	9.0	0.0
Spinning Reserve for Furnace Bandwitch	20.0	20.0	20.0
Total Load at Plantsite	387.5	383.2	374.2
Power Available for RKEF	-3.5	0.8	9.8
RKEF Load 77 MW	-80.5	-76.2	-67.2

Pada tabel 4.9. merupakan rencana kebutuhan listrik di tahun 2024, terlihat bahwa PT. Vale Indonesia akan kekurangan listrik sehingga Electric Boiler tidak dapat beroperasi jika tidak ada penambahan power plant.

Dari model matematik yang sudah dibuat dilakukan simulasi atau analisa biaya operasi boiler dengan penambahan permintaan uap panas bertekanan dan EB beroperasi atau tidak beroperasi yang disebabkan karena kekurangan listrik.

Tabel 4.10.14 Perhitungan biaya produksi uap bertekanan mengoperasikan EB dan tidak.

Steam Demand	Biaya produksi uap bertekanan - USD	
	EB beroperasi	EB tidak beroperasi
15 ton/jam	3,304,085.00	8,152,314.00
16 ton/jam	3,844,277.00	8,729,144.00
17 ton/jam	4,450,282.00	9,304,254.00
18 ton/jam	5,056,287.00	9,888,038.00
19 ton/jam	5,697,971.00	10,459,980.00
20 ton/jam	6,308,846.00	11,085,590.00

Dari tabel 4.10 terlihat sangat signifikan perbedaan biaya produksi dengan menggunakan EB dan hanya mengoperasikan boiler yang menggunakan bahan bakar fosil.

BAB V

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Studi optimasi operasi strategi boiler ini dilakukan untuk mendapatkan biaya operasi boiler optimum dengan melakukan pengembangan model mixed integer programming melalui pendekatan permintaan produksi, kehandalan boiler, faktor lingkungan, dan biaya produksi (fixed dan variable cost). Ada beberapa kesimpulan berdasarkan hasil yang diperoleh dari pemodelan dengan melihat dari 2 musim yaitu musim kemarau dan musim hujan:

1. Pengembangan model matematis operasi boiler dimusim hujan dengan metode mixed integer programming menghasilkan biaya operasi yang paling optimum atau paling rendah. Biaya operasi boiler yang optimum ini didapat dari bauran komposisi boiler yang beroperasi dan jumlah uap panas yang diproduksi. Berdasarkan hasil optimasi, untuk mendapatkan biaya yang optimum maka bauran komposisi boiler yang beroperasi adalah Electric Boiler sebagai boiler utama dengan memproduksi rata-rata 13 ton/jam atau 87.5% dan diback up oleh Packed Boiler#2 dengan produksi 2 ton/jam atau 12.5% dari total 15 ton/jam permintaan uap panas bertekanan oleh customer atau department process plant. Dari komposisi bauran operasi boiler diatas memerlukan biaya operasi sebesar \$ 1,689,012 selama musim hujan atau mulai bulan Januari sampai dengan September.
2. Hasil perhitungan model matematis dimusim kemarau menggunakan metode mixed integer programming terbagi menjadi 2 bagian yaitu dimana pada saat WHRB bisa dioperasikan tetapi hanya maksimal 1000 jam atau 41 hari dan yang kedua tanpa WHRB. Dimana WHRB memanfaatkan gas buang PLTD, dan PLTD yang dimiliki PTVI melebihi ambang batas emisi NOx yang ditentukan pemerintah sehingga hanya diperbolehkan beroperasi 1000 jam per-tahun. Pada 41 hari dimusim kemarau bauran komposisi operasi boiler yaitu WHRB#1 – 5 beropersi maksimum dengan memproduksi WHRB#1 – 3 masing-

- masing memproduksi sebanyak 1 ton/jam dan WHRB#4 & 5 memproduksi masing-masing 3 ton/jam dan kurang produksi uap bertekanan diback up oleh PB#2 dengan produksi sebanyak 6 ton/jam. Dan setelah WHRB melampaui batas operasi yang ditentukan pemerintah maka permintaan uap bertekanan diproduksi dari PB#2. Dari komposisi bauran operasi boiler diatas memerlukan biaya operasi sebesar \$ 1,615,073 selama musim hujan atau mulai bulan Oktober sampai dengan Desember.
3. Dari perbandingan nilai actual biaya operasi boiler tahun 2019 dengan hasil perhitungan model matematis menggunakan model matematis bahwa perhitungan dengan model matematis mendekati 3.4% dari actual operasi boiler. Dimana penentuan budget mulai tahun 2017 sampai dengan 2019 mempunyai perbedaan yang sangat signifikan jika dibandingkan dengan actual biaya produksi operasi boiler yaitu diatas 10%.

5.2. Saran

Dari hasil pengembangan model matematis tersebut membuktikan bahwa penggunaan electric boiler sangatlah membantu dalam pengurangan biaya operasi dan penurunan emisi. Sehingga ketersediaan listrik diharapkan cukup untuk kebutuhan electric boiler dengan menambahkan power plant dengan biaya produksi rendah seperti PLTA.

Studi optimasi model ini masih merupakan pendekatan karena parameter operasi hanya dianalisa dan diprediksi dengan beberapa pendekatan yang berdasarkan histori data atau praktik dilapangan. Faktor fluktuasi harga bahan bakar, aktifitas perawatan boiler, ketersediaan pekerja belum dianalisa secara detail. Faktor-faktor tersebut dapat menciptakan peluang untuk melakukan analisa atau melakukan optimasi secara lebih lanjut sehingga dapat menghasilkan studi yang lebih detail atau lebih mendekati dengan actual operasi.

DAFTAR PUSTAKA

1. Winston, Wayne, L. (2001), "*Operations Research Applications and Algorithms*. Thomson Learning".
2. Alexander Schrijver (1998) "*Theory Of Linear And Integer Programming*", West Sussex PO19 IUD, England
3. Asoke Kumar Bhunia (2010), "*Advanced Optimization and Operations Research*", Springer Optimization and Its Applications.
4. Aminudin (2005), "*Prinsip-prinsip Riset Operasi Winston*", Penerbit Erlangga, Jakarta
5. Jong Jek Siang (Edisi 2), "*Riset Operasi dalam pendekatan Algoritmis*", Penerbit Andi Yogyakarta.
6. Sri Mulyono (2016), "*Riset Operasi*", Penerbit Mitra Wacana Media
7. Ricky Hutabarat (2018), "*Study Perancangan Peralatan Penunjang Utama pada Sistem Pembangkitan Uap New High Voltage Electric Boiler 22 Ton/jam yang Diimplementasikan di PT. Vale Indonesia*", Thesis Master, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
8. Internet Artikel Teknologi, "*Klasifikasi Boiler*" entry from artikel-teknologi, info@artikel-teknologi.com
9. Internet Artikel Teknologi, "*Prinsip Kerja Boiler*" entry from artikel-teknologi , info@artikel-teknologi.com
10. LINDO Systems Inc, (2003), "Optimization Modeling with Lingo".
11. Canto (2011), "Using 0/1 mixed integer linear programming to solve a reliability-centered problem of power plant preventive maintenance scheduling", Springer Science+Business Media.
12. Walker¹ and Preiss² (1988), "Operational Planning Using Mixed Integer Programming", The Forestry Chronicle 1988.64:485-488.
13. Bienstock, Mattia, "Using mixed-integer programming to solve power grid blackout problems", Discrete Optimization 4 (2007) 115–141

14. Kong, Qi, Li, dan Zhang,” An MILP model for optimization of byproduct gases in the integrated iron and steel plant”, *Applied Energy* 87 (2010) 2156–2163
15. El-Harrouti, EL kafazi, Bannari, Amar, dan Abouabdillah,” Solving energy transportation cost using mixed integer non-linear programming”, 2018 IEEE
16. Shivhare, JeganJose, dan Kumanan,” Field Service Scheduling using Mixed Integer Programming”, *Production and Industrial Engineering* 2015
17. Chaturvedi, Bhattacharya, dan Parikh,” Transmission planning for Indian power grid: a mixed integer programming approach”, *Intl. Trans. in Op. Res.* 6 (1999) 465±482
18. Bienstock, Mattia,” Using mixed-integer programming to solve power grid blackout problems”, *Discrete Optimization* 4 (2007) 115–141

Lampiran 1. Biaya Fixed dan Variabel Cost

Cost Center (selection)	CC Description	Cost Element (selection)	CE Description	Total Cost	CC Group	CC Owner	CEG Description	CEG All Ops.
5509201UA3	ELECTRIC BOILERS	S353022013	Floculante	18,000.00	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UA3	ELECTRIC BOILERS	S353026002	Blocking materials	10,000.00	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UA3	ELECTRIC BOILERS	S353024001	Electric devices and parts	18,000.00	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UM3	B & W BOILER	S353022010	Material for Filters	2,493.00	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UM3	B & W BOILER	S353023006	Automation equipment spare parts and com	2,475.00	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UM3	B & W BOILER	S353025001	Melting and metallization materials	3,582.00	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UM3	B & W BOILER	S353022013	Floculante	9,000.00	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UM3	B & W BOILER	S353026002	Blocking materials	5,000.00	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UM3	B & W BOILER	S353029010	Protection & Safety equipments	1,800.00	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UM3	B & W BOILER	S353029003	Hygien/Domestic	1,800.00	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UM3	B & W BOILER	S353024002	Electric wires	6,493.75	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UM3	B & W BOILER	S353024004	Panels / centers of control / Instrument	6,493.75	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UM3	B & W BOILER	S353021007	High Sulfur Fuel Oil (HSFO)	256,324.31	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	HSFO HSD & OTHER FUELS
5509201UM3	B & W BOILER	S353021001	Diesel oil	495,980.68	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	HSFO HSD & OTHER FUELS
5509201UM3	B & W BOILER	S353034001	Consulting services	30,000.00	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SERVICES AND CONTRACT	SERVICES AND CONTRACT
5509201UB3	WASTE HEAT BOILERS	S353022010	Material for Filters	1,200.00	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UB3	WASTE HEAT BOILERS	S353025001	Melting and metallization materials	2,400.00	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UB3	WASTE HEAT BOILERS	S353022013	Floculante	2,400.00	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES HSD & OTHER FUELS
5509201UB3	WASTE HEAT BOILERS	S353021099	Other fuel/industrial gases	1,200.00	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES HSD & OTHER FUELS
5509201UB3	WASTE HEAT BOILERS	S353026002	Blocking materials	6,000.00	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UB3	WASTE HEAT BOILERS	S353029010	Protection & Safety equipments	550.00	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UB3	WASTE HEAT BOILERS	S353029003	Hygien/Domestic	550.00	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UB3	WASTE HEAT BOILERS	S353024001	Electric devices and parts	2,400.00	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UB3	WASTE HEAT BOILERS	S353024002	Electric wires	2,400.00	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UB3	WASTE HEAT BOILERS	S353024004	Panels / centers of control / Instrument	2,400.00	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UB3	WASTE HEAT BOILERS	S353024099	Other electric and electronic materials	2,400.00	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES

5509201UB3	WASTE HEAT BOILERS	S353022023	Sand	500.00	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UB3	WASTE HEAT BOILERS	S353022024	Cement, Concrete and Related	500.00	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UC3	PACKAGE BOILER #1	S353022013	Floculante	2,250.00	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UC3	PACKAGE BOILER #1	S353026002	Blocking materials	6,000.00	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UC3	PACKAGE BOILER #1	S353024001	Electric devices and parts	2,600.00	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UC3	PACKAGE BOILER #1	S353024002	Electric wires	2,600.00	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UC3	PACKAGE BOILER #1	S353024004	Panels / centers of control / Instrument	2,600.00	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UC3	PACKAGE BOILER #1	S353024099	Other electric and electronic materials	1,600.00	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UC3	PACKAGE BOILER #1	S353021001	Diesel oil	23,507.24	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	HSD & OTHER FUELS
5509201UD3	PACKAGE BOILER #2	S353022010	Material for Filters	3,400.00	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UD3	PACKAGE BOILER #2	S353022013	Floculante	15,000.00	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UD3	PACKAGE BOILER #2	S353021099	Other fuel/industrial gases	1,100.00	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	HSD & OTHER FUELS
5509201UD3	PACKAGE BOILER #2	S353026002	Blocking materials	7,000.00	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UD3	PACKAGE BOILER #2	S353024001	Electric devices and parts	1,500.00	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UD3	PACKAGE BOILER #2	S353024002	Electric wires	1,500.00	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UD3	PACKAGE BOILER #2	S353024004	Panels / centers of control / Instrument	1,500.00	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UD3	PACKAGE BOILER #2	S353024099	Other electric and electronic materials	1,500.00	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UD3	PACKAGE BOILER #2	S353022023	Sand	750.00	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UD3	PACKAGE BOILER #2	S353022024	Cement, Concrete and Related	750.00	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UD3	PACKAGE BOILER #2	S353021007	High Sulfur Fuel Oil (HSFO)	343,655.73	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	HSFO HSD & OTHER FUELS
5509201UD3	PACKAGE BOILER #2	S353021001	Diesel oil	140,041.60	Maint & Ops. Utilities	KASMAN	SUPPLIES	HSD & OTHER FUELS
5509201UC1	UTILITIES THERMAL PLANT MAINTENANCE OH	S353012009	Overtime - Base labour hourly	108,000.00	Maint & Ops. Utilities	PAMRIH PAMMU	EMPLOYMENT COSTS	EMPLOYMENT COSTS
5509201UC1	UTILITIES THERMAL PLANT MAINTENANCE OH	S353012004	Overtime	28,500.00	Maint & Ops. Utilities	PAMRIH PAMMU	EMPLOYMENT COSTS	EMPLOYMENT COSTS
5509201UC1	UTILITIES THERMAL PLANT MAINTENANCE OH	S353022013	Floculante	1,100.00	Maint & Ops. Utilities	PAMRIH PAMMU	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UC1	UTILITIES THERMAL PLANT MAINTENANCE OH	S353026002	Blocking materials	5,000.00	Maint & Ops. Utilities	PAMRIH PAMMU	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UC1	UTILITIES THERMAL PLANT MAINTENANCE OH	S353029001	Safety Supplies	5,000.00	Maint & Ops. Utilities	PAMRIH PAMMU	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES

5509201UC1	UTILITIES THERMAL PLANT MAINTENANCE OH	S353029005	Uniforms	5,000.00	Maint & Ops. Utilities	PAMRIH PAMMU	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UC1	UTILITIES THERMAL PLANT MAINTENANCE OH	S353029003	Hygien/Domestic	1,650.00	Maint & Ops. Utilities	PAMRIH PAMMU	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UC1	UTILITIES THERMAL PLANT MAINTENANCE OH	S353023007	Telecommunications equipment spare parts	2,000.00	Maint & Ops. Utilities	PAMRIH PAMMU	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UC1	UTILITIES THERMAL PLANT MAINTENANCE OH	S353024001	Electric devices and parts	2,000.00	Maint & Ops. Utilities	PAMRIH PAMMU	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UC1	UTILITIES THERMAL PLANT MAINTENANCE OH	S353024002	Electric wires	2,000.00	Maint & Ops. Utilities	PAMRIH PAMMU	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UC1	UTILITIES THERMAL PLANT MAINTENANCE OH	S353037004	Meals	5,000.00	Maint & Ops. Utilities	PAMRIH PAMMU	SERVICES AND CONTRACT	SERVICES AND CONTRACT
5509201UC1	UTILITIES THERMAL PLANT MAINTENANCE OH	S353037002	Out company training - domestic	3,000.00	Maint & Ops. Utilities	PAMRIH PAMMU	SERVICES AND CONTRACT	SERVICES AND CONTRACT
5509201UC1	UTILITIES THERMAL PLANT MAINTENANCE OH	S353031006	Rental of aircrafts	1,000.00	Maint & Ops. Utilities	PAMRIH PAMMU	SERVICES AND CONTRACT	SERVICES AND CONTRACT
5509201UC1	UTILITIES THERMAL PLANT MAINTENANCE OH	S353037009	Taxis	1,000.00	Maint & Ops. Utilities	PAMRIH PAMMU	SERVICES AND CONTRACT	SERVICES AND CONTRACT
5509201UC1	UTILITIES THERMAL PLANT MAINTENANCE OH	S353032010	Telephone/fax	2,000.00	Maint & Ops. Utilities	PAMRIH PAMMU	SERVICES AND CONTRACT	SERVICES AND CONTRACT
5509201UC1	UTILITIES THERMAL PLANT MAINTENANCE OH	S353051004	Training travel expenses	2,000.00	Maint & Ops. Utilities	PAMRIH PAMMU	SERVICES AND CONTRACT	SERVICES AND CONTRACT
5509201UC1	UTILITIES THERMAL PLANT MAINTENANCE OH	S353036001	Maintenance services of mining equipment	92,000.00	Maint & Ops. Utilities	PAMRIH PAMMU	SERVICES AND CONTRACT	SERVICES AND CONTRACT
5509201UG8	AUXILIARY MAINTENANCE EQUIPMENT	S353021002	Other fuel oils	1,200.00	Maint & Ops. Utilities	PAMRIH PAMMU	SUPPLIES	HSD & OTHER FUELS
5509201UG8	AUXILIARY MAINTENANCE EQUIPMENT	S353022010	Material for Filters	1,200.00	Maint & Ops. Utilities	PAMRIH PAMMU	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UG8	AUXILIARY MAINTENANCE EQUIPMENT	S353025001	Melting and metallization materials	3,600.00	Maint & Ops. Utilities	PAMRIH PAMMU	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UG8	AUXILIARY MAINTENANCE EQUIPMENT	S353022013	Floculante	1,800.00	Maint & Ops. Utilities	PAMRIH PAMMU	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES

5509201UG8	AUXILIARY MAINTENANCE EQUIPMENT	S353024001	Electric devices and parts	1,800.00	Maint & Ops. Utilities	PAMRIH PAMMU	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UG8	AUXILIARY MAINTENANCE EQUIPMENT	S353024002	Electric wires	1,800.00	Maint & Ops. Utilities	PAMRIH PAMMU	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UG8	AUXILIARY MAINTENANCE EQUIPMENT	S353024001	Electric devices and parts	15,000.00	Maint & Ops. Utilities	PAMRIH PAMMU	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UG8	AUXILIARY MAINTENANCE EQUIPMENT	S353024001	Electric devices and parts	13,000.00	Maint & Ops. Utilities	PAMRIH PAMMU	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UG8	AUXILIARY MAINTENANCE EQUIPMENT	S353024001	Electric devices and parts	20,000.00	Maint & Ops. Utilities	PAMRIH PAMMU	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES
5509201UG8	AUXILIARY MAINTENANCE EQUIPMENT	S353024001	Electric devices and parts	10,000.00	Maint & Ops. Utilities	PAMRIH PAMMU	SUPPLIES	OTHER SUPPLIES

Lampiran 2. Aktual Biaya Fixed dan Variabel Cost Operasi Boiler 2019

Summary biaya operasi boiler 2019

Boiler	Fixed Cost	Variabel Cost
PB#1	\$ 13,116	\$ 25,765
PB#2	\$ 62,266	\$ 1,958,161
BW Boiler	\$ 152,601	\$ 389,608
EB	\$ 55,084	\$ 718,115
WHRB	\$ 44,033	\$ -
Total	\$ 327,100	\$ 3,091,649
Total Operation Cost Boiler	\$ 3,418,748	

Detail biaya operasi masing-masing boiler 2019

1 S I P	Cost Centers: Actual / Plan / Variance				
Date:	17. 02. 2020				
Requested by:	FOU5886				
Controlling Area	ACAS	Controlling Area - Asia			
Fiscal Year	2019				
From Period	1				
To Period	12				
Plan Version	0				
Cost Center Group	5509201UA3	ELECTRIC BOILERS			
Cost Element Group	S353	ALL S353			
Cost Elements	Act. Costs	Plan Costs	Var.(Abs.)	Var.(%)	Cost Elements
S353021003 Natural gas	69.93		69.93		S353021003 Natural gas
S353021005 Lubricant oils	38.07		38.07		S353021005 Lubricant oils
S353021006 Grease	11.58		11.58		S353021006 Grease
S353022013 Floculante		18,000.00	18,000.00-	100.00-	S353022013 Floculante
S353023012 Light and semi-	43.32		43.32		S353023012 Light and semi-
S353024001 Electric device	8,529.81	20,000.00	11,470.19-	57.35-	S353024001 Electric device
S353024005 Electronic devi	2,741.52		2,741.52		S353024005 Electronic devi
S353025001 Melting metal m	16.49		16.49		S353025001 Melting metal m
S353026002 Blocking materi	1,330.19	20,000.00	18,669.81-	93.35-	S353026002 Blocking materi
S353029006 Other chemical	44.10		44.10		S353029006 Other chemical
S353029099 Other materials	34,122.14		34,122.14		S353029099 Other materials
S353036002 Maint serv ind	7,120.66		7,120.66		S353036002 Maint serv ind
S353036099 Other maint ser	511.89		511.89		S353036099 Other maint ser
S353037004 Meals	464.11		464.11		S353037004 Meals
S353038099 Other support a	39.96		39.96		S353038099 Other support a
* Debit	55,083.77	58,000.00	2,916.23-	5.03-	* Debit

1SI P	Cost Centers: Actual / Plan / Variance			
Date:	17. 02. 2020			
Requested by:	FOU5886			
Controlling Area	ACAS	Controlling Area - Asia		
Fiscal Year	2019			
From Period	1			
To Period	12			
Plan Version	0			
Cost Center Group	5509201UC3	PACKAGE BOILER #1		
Cost Element Group	S353	ALL S353		

Cost Elements	Act. Costs	Plan Costs	Var.(Abs.)	Var.(%)	Cost Elements
S353021001 Diesel oil	25,746.13	23,367.94	3,934.49-	16.84-	S353021001 Diesel oil
S353021005 Lubricant oils	19.12		19.12		S353021005 Lubricant oils
S353022013 Floculante		2,250.00	2,250.00-	100.00-	S353022013 Floculante
S353023012 Light and semi-	209.52		209.52		S353023012 Light and semi-
S353024001 Electric device		1,600.00	1,600.00-	100.00-	S353024001 Electric device
S353024002 Electric wires		1,600.00	1,600.00-	100.00-	S353024002 Electric wires
S353024004 Panels / center		1,600.00	1,600.00-	100.00-	S353024004 Panels / center
S353024099 Other electric		1,600.00	1,600.00-	100.00-	S353024099 Other electric
S353026002 Blocking materi	12,553.96	6,000.00	6,553.96	109.23	S353026002 Blocking materi
S353029006 Other chemical	14.50		14.50		S353029006 Other chemical
S353035012 Port operat hip	34.88		34.88		S353035012 Port operat hip
S353036099 Other maint ser	223.64		223.64		S353036099 Other maint ser
S353037004 Meals	79.52		79.52		S353037004 Meals
* Debit	13,116.02	38,017.94	5,449.35-	14.33-	* Debit

1SI P	Cost Centers: Actual / Plan / Variance			
Date:	17. 02. 2020			
Requested by:	FOU5886			
Controlling Area	ACAS	Controlling Area - Asia		
Fiscal Year	2019			
From Period	1			
To Period	12			
Plan Version	0			
Cost Center Group	5509201UB3	WASTE HEAT BOILERS		
Cost Element Group	S353	ALL S353		

Cost Elements	Act. Costs	Plan Costs	Var.(Abs.)	Var.(%)	Cost Elements
S353012009 Overtime - Base	354.22		354.22		S353012009 Overtime - Base
S353021003 Natural gas	574.87		574.87		S353021003 Natural gas
S353021005 Lubricant oils	19.10		19.10		S353021005 Lubricant oils
S353021099 Other fuel/ind		1,200.00	1,200.00-	100.00-	S353021099 Other fuel/ind
S353022010 Material for Fi		1,200.00	1,200.00-	100.00-	S353022010 Material for Fi
S353022013 Floculante		2,400.00	2,400.00-	100.00-	S353022013 Floculante
S353022022 Ventilation Sup	674.16		674.16		S353022022 Ventilation Sup
S353022023 Sand		500.00	500.00-	100.00-	S353022023 Sand
S353022024 Cement, Concret		500.00	500.00-	100.00-	S353022024 Cement, Concret
S353024001 Electric device	1,359.08	2,400.00	1,040.92-	43.37-	S353024001 Electric device
S353024002 Electric wires		2,400.00	2,400.00-	100.00-	S353024002 Electric wires
S353024004 Panels / center		2,400.00	2,400.00-	100.00-	S353024004 Panels / center
S353024005 Electronic devi	3,700.92		3,700.92		S353024005 Electronic devi
S353024099 Other electric	1,420	2,400.00	2,400.00-	100.00-	S353024099 Other electric
S353025001 Melting metal m	2,247.19	2,400.00	152.81-	6.37-	S353025001 Melting metal m
S353025003 Tools	21.12		21.12		S353025003 Tools
S353026002 Blocking materi	31,123.17	6,000.00	25,123.17	418.72	S353026002 Blocking materi
S353029001 Safety Supplies	136.34		136.34		S353029001 Safety Supplies
S353029003 Hygien/Domestic		550.00	550.00-	100.00-	S353029003 Hygien/Domestic
S353029006 Other chemical	88.43		88.43		S353029006 Other chemical
S353029010 Protection & Sa		550.00	550.00-	100.00-	S353029010 Protection & Sa
S353032012 Postage deliv c	56.22		56.22		S353032012 Postage deliv c
S353035099 Other oper outs	680.85		680.85		S353035099 Other oper outs
S353036002 Maint serv ind	775.52		775.52		S353036002 Maint serv ind
S353036099 Other maint ser	2,069.65		2,069.65		S353036099 Other maint ser
S353037004 Meals	76.25		76.25		S353037004 Meals
S353041099 Other federal t	206.62		206.62		S353041099 Other federal t
* Debit	44,032.97	24,900.00	17,712.67	71.14	* Debit

1 S I P	Cost Centers: Actual / Plan/ Variance			
Date:	17. 02. 2020			
Requested by:	FOU5886			
Controlling Area	ACAS	Controlling Area - Asia		
Fiscal Year	2019			
From Period	1			
To Period	12			
Plan Version	0			
Cost Center Group	5509201UD3	PACKAGE BOLLER #2		
Cost Element Group	S353	ALL S353		

Cost Elements	Act. Costs	Plan Costs	Var.(Abs.)	Var.(%)	Cost Elements
S353021001 Diesel oil	1,955,506.51	139,211.64	1,058,148.87	760.10	S353021001 Diesel oil
S353021003 Natural gas	740.69		740.69		S353021003 Natural gas
S353021005 Lubricant oils	79.20		79.20		S353021005 Lubricant oils
S353021007 High Sulfur Fue	2,654.01	383,035.83	380,381.82	99.31-	S353021007 High Sulfur Fue
S353021099 Other fuel/ind		1,000.00	1,000.00-	100.00-	S353021099 Other fuel/ind
S353022010 Material for Fi		3,400.00	3,400.00-	100.00-	S353022010 Material for Fi
S353022013 Floculante		15,000.00	15,000.00-	100.00-	S353022013 Floculante
S353022023 Sand		750.00	750.00-	100.00-	S353022023 Sand
S353022024 Cement, Concret		750.00	750.00-	100.00-	S353022024 Cement, Concret
S353023012 Light and semi-	441.80		441.80		S353023012 Light and semi-
S353023099 Other spare par	1,646.47		1,646.47		S353023099 Other spare par
S353024001 Electric device	8,839.35	1,200.00	7,639.35	636.61	S353024001 Electric device
S353024002 Electric wires		1,200.00	1,200.00-	100.00-	S353024002 Electric wires
S353024004 Panels / center		1,200.00	1,200.00-	100.00-	S353024004 Panels / center
S353024005 Electronic devi	7,394.98		7,394.98		S353024005 Electronic devi
S353024099 Other electric		1,200.00	1,200.00-	100.00-	S353024099 Other electric
S353025001 Melting metal m	4,468.15		4,468.15		S353025001 Melting metal m
S353025004 Measure and cal	5,648.76		5,648.76		S353025004 Measure and cal
S353026002 Blocking materi	5,190.29	7,000.00	1,809.71-	25.85-	S353026002 Blocking materi
S353029001 Safety Supplies	896.96		896.96		S353029001 Safety Supplies
S353029006 Other chemical	13,285.31		13,285.31		S353029006 Other chemical
S353029015 Hygiene / Domes	108.86		108.86		S353029015 Hygiene / Domes
S353029099 Other materials	679.45		679.45		S353029099 Other materials
S353032012 Postage deliv c	205.31		205.31		S353032012 Postage deliv c
S353035099 Other oper outs	5,423.65		5,423.65		S353035099 Other oper outs
S353036002 Maint serv ind	5,507.99		5,507.99		S353036002 Maint serv ind
S353036099 Other maint ser	1,507.65		1,507.65		S353036099 Other maint ser
S353037004 Meals	114.89		114.89		S353037004 Meals
S353038099 Other support a	2.76		2.76		S353038099 Other support a
S353041099 Other federal t	83.76		83.76		S353041099 Other federal t
* Debit	62,266.28	554,947.47	707,333.33	127.46	* Debit

1SI P	Cost Centers: Actual / Plan/ Variance			
Date:	17. 02. 2020			
Requested by:	FOU5886			
Controlling Area	ACAS	Controlling Area - Asia		
Fiscal Year	2019			
From Period	1			
To Period	12			
Plan Version	0			
Cost Center Group	5509201UMB	B & W BOILER		
Cost Element Group	S353	ALL S353		

Cost Elements	Act. Costs	Plan Costs	Var.(Abs.)	Var.(%)	Cost Elements
S353021001 Diesel oil	389,608.20	493,041.53	143,158.83-	29.04-	S353021001 Diesel oil
S353021003 Natural gas	225.46		225.46		S353021003 Natural gas
S353021005 Lubricant oils	180.06		180.06		S353021005 Lubricant oils
S353021006 Grease	122.17		122.17		S353021006 Grease
S353021007 High Sulfur Fue		286,251.31	877,467.93	306.54	S353021007 High Sulfur Fue
S353022010 Material for Fi		2,475.00	2,475.00-	100.00-	S353022010 Material for Fi
S353022013 Floculante		9,000.00	9,000.00-	100.00-	S353022013 Floculante
S353023001 Mining equipmen	23,772.83		23,772.83		S353023001 Mining equipmen
S353023006 Automation equi		2,475.00	2,475.00-	100.00-	S353023006 Automation equi
S353023012 Light and semi-	196.84		196.84		S353023012 Light and semi-
S353023099 Other spare par	1,501.29		1,501.29		S353023099 Other spare par
S353024002 Electric wires		2,400.00	2,400.00-	100.00-	S353024002 Electric wires
S353024004 Panels / center		2,400.00	2,400.00-	100.00-	S353024004 Panels / center
S353024005 Electronic devi	8,100.63		8,100.63		S353024005 Electronic devi
S353025001 Melting metal m	602.74	1,200.00	597.26-	49.77-	S353025001 Melting metal m
S353026002 Blocking materi	26,809.71	5,000.00	21,809.71	436.19	S353026002 Blocking materi
S353029001 Safety Supplies	1,049.89		1,049.89		S353029001 Safety Supplies
S353029003 Hygien/Domestic		600.00	600.00-	100.00-	S353029003 Hygien/Domestic
S353029006 Other chemical	4,203.93		4,203.93		S353029006 Other chemical
S353029010 Protection & Sa		600.00	600.00-	100.00-	S353029010 Protection & Sa
S353029015 Hygiene / Domes	11.16		11.16		S353029015 Hygiene / Domes
S353029099 Other materials	22,254.35		22,254.35		S353029099 Other materials
S353032012 Postage deliv c	159.64		159.64		S353032012 Postage deliv c
S353035099 Other oper outs	69,448.72	30,000.00	39,448.72	131.50	S353035099 Other oper outs
S353036010 Maintenance ser	12,549.32-		12,549.32-		S353036010 Maintenance ser
S353036099 Other maint ser	687.08		687.08		S353036099 Other maint ser
S353037004 Meals	527.83-		527.83-		S353037004 Meals
S353038008 Build cle maint	4,810.55		4,810.55		S353038008 Build cle maint
S353038012 Freight service	447.11		447.11		S353038012 Freight service
S353038099 Other support a	338.82		338.82		S353038099 Other support a
S353041099 Other federal t	75.73		75.73		S353041099 Other federal t
S353051001 Domestic travel	679.04		679.04		S353051001 Domestic travel
* Debit	152,600.60	835,442.84	830,759.70	99.44	* Debit

Lampiran 3. Produksi dan Permintaan Uap Panas Bertekanan

Tahun	Bulan	Produksi Uap (Ton/Jam)									
		BW Boiler	WHRB#1	WHRB#2	WHRB#3	WHRB#4	WHRB#5	PB#1	PB#2	EB	total
2010	January	0.0	0.0	0.9	0.8	2.6	0.0	0.0	11.3		15.65
	February	0.0	0.2	0.8	0.8	3.1	0.0	0.2	11.0		16.12
	March	0.0	0.6	0.4	0.3	2.9	0.0	1.4	11.9		17.41
	April	0.0	0.1	0.2	0.6	2.2	0.0	0.1	11.2		14.43
	May	0.0	0.2	0.3	0.3	1.4	0.0	0.6	10.8		13.79
	June	0.0	0.5	0.8	0.7	1.5	0.0	0.4	12.5		16.61
	July	0.0	0.2	0.4	0.4	1.4	0.0	0.0	13.0		15.29
	August	0.0	0.2	0.1	0.0	0.6	0.0	0.4	14.7		16.08
	September	0.0	0.1	0.3	0.1	1.3	0.0	0.1	14.1		15.97
	October	0.0	0.7	0.7	0.7	2.1	2.1	1.0	11.8		19.15
	November	0.0	0.6	0.6	0.6	1.8	1.8	1.9	10.0		17.40
	December	0.0	0.6	0.6	0.6	1.8	1.8	0.2	9.6		15.06
Average Steam Production Annual											16.08
2011	January	0.0	0.5	0.8	0.4	2.7	2.6	0.4	9.8		17.13
	February	0.0	0.5	0.5	0.5	1.8	1.9	3.2	9.7		18.15
	March	0.0	0.5	0.0	0.5	1.9	1.9	0.7	8.9		14.60
	April	0.0	0.5	0.0	0.4	1.7	2.0	2.6	8.6		15.85
	May	1.0	0.5	0.2	0.1	1.9	1.7	2.5	8.0		15.93
	June	2.1	0.6	0.1	0.0	1.9	1.9	2.2	8.1		16.77
	July	0.6	0.4	0.0	0.0	1.9	2.2	1.2	11.6		17.97
	August	0.0	0.4	0.0	0.0	0.9	1.7	0.5	12.8		16.33
	September	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	15.5		17.32
	October	0.0	0.9	0.9	0.9	2.8	2.8	1.5	7.7		17.77
	November	0.2	0.6	0.6	0.6	1.8	1.8	1.1	9.2		15.91
	December	4.4	0.4	0.4	0.4	1.1	1.1	0.7	5.5		13.93
Average Steam Production Annual											16.47
2012	January	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	10.5		11.13
	February	0.4	0.0	0.0	0.0	0.1	2.3	0.0	9.4		12.22
	March	3.6	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.4	8.6		12.77
	April	1.9	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	1.1	10.7		13.85
	May	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	16.0		17.17
	June	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.2	16.9		17.48
	July	2.4	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.6	14.3		17.46
	August	1.6	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	1.7	13.7		17.13
	September	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	16.8		17.92
	October	1.1	1.0	1.0	1.0	3.0	3.0	1.6	5.6		17.43

	November	0.3	1.0	1.0	1.0	2.9	2.9	1.8	8.0		18.83
	December	0.4	1.0	1.0	1.0	2.9	2.9	1.2	8.3		18.76
Average Steam Production Annual											16.01
2013	January	2.8	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	1.0	13.2		17.57
	February	1.6	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	2.7	13.1		17.49
	March	0.2	0.1	0.1	0.1	0.5	0.3	3.6	12.2		17.12
	April	2.8	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	3.2	12.3		18.53
	May	0.7	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.7	13.0		14.71
	June	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	14.2		18.15
	July	0.3	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.2	15.1		15.87
	August	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	16.0		16.72
	September	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	14.5		15.08
	October	6.0	1.0	1.0	1.0	3.1	3.1	0.0	2.3		17.72
	November	6.8	1.1	1.1	1.1	3.2	3.2	0.0	0.0		16.32
	December	2.9	1.1	1.1	1.1	3.4	3.4	0.0	3.7		16.88
Average Steam Production Annual											16.85
2014	January	2.8	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	1.0	12.2		16.61
	February	1.9	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	2.9	11.4		16.27
	March	0.2	0.1	0.1	0.1	0.6	0.3	3.5	11.5		16.33
	April	2.9	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	2.7	12.7		18.48
	May	0.7	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	1.1	12.5		14.65
	June	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	13.4		17.56
	July	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.2		14.45
	August	0.6	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.4	14.0		15.30
	September	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.6		14.18
	October	5.0	1.0	1.0	1.0	3.1	3.1	0.0	2.5		16.95
	November	6.4	1.0	1.0	1.0	3.1	3.1	0.0	0.0		15.75
	December	0.0	1.1	1.1	1.1	3.4	3.4	0.0	5.6		15.81
Average Steam Production Annual											16.03
2015	January	10.8	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9		15.85
	February	5.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	9.8		15.61
	March	6.5	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.7	8.0		15.38
	April	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	8.4		8.94
	May	0.6	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.5	9.6		11.04
	June	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	3.0	9.8		13.14
	July	0.0	0.0	0.2	0.0	0.5	0.3	0.7	10.4		12.09
	August	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.1		10.59
	September	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.1		11.52
	October	0.2	0.9	0.9	0.9	2.7	2.7	0.2	5.0		13.57
	November	5.9	0.7	0.7	0.7	2.1	2.1	0.0	1.9		13.91
	December	0.7	0.6	0.6	0.6	1.9	1.9	0.0	6.6		12.94

Average Steam Production Annual											12.88
2016	January	0.0	0.6	0.6	0.6	2.1	2.2	0.0	4.4		10.53
	February	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	6.8		10.51
	March	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.8		10.11
	April	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.7		10.13
	May	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.1		9.94
	June	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.9		9.93
	July	2.6	0.0	0.2	0.1	0.1	0.3	0.0	6.6		9.86
	August	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	9.4		10.00
	September	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.5		9.71
	October	0.5	0.8	0.8	0.8	2.5	2.5	0.0	2.8		10.88
	November	4.4	0.6	0.6	0.6	1.9	1.9	0.0	0.0		10.01
	December	0.0	0.9	0.9	0.9	2.6	2.6	0.0	2.7		10.42
Average Steam Production Annual											10.17
2017	January	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.8		9.43
	February	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.7		9.52
	March	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.2		9.66
	April	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.8		9.06
	May	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.3		10.22
	June	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	9.5		9.97
	July	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	7.9		11.04
	August	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0		11.46
	September	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.8		10.59
	October	0.0	0.9	0.9	0.9	2.6	2.6	0.0	1.3		9.26
	November	1.0	0.9	0.9	0.9	2.7	2.7	0.0	0.0		9.06
	December	0.5	0.9	0.9	0.9	2.6	2.6	0.0	2.5		10.95
Average Steam Production Annual											10.02
2018	January	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7		11.45
	February	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.1		10.15
	March	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.9		10.06
	April	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.7		9.69
	May	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.9		10.27
	June	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.6		9.91
	July	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	6.5		10.29
	August	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	4.6		8.03
	September	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	6.8		7.49
	October	0.0	0.8	0.8	0.8	2.3	2.3	0.0	2.6		9.60
	November	0.0	0.8	0.8	0.8	2.3	2.3	0.4	2.3		9.64
	December	2.4	0.8	0.8	0.8	2.3	2.3	0.5	0.0		9.85
Average Steam Production Annual											9.70
2019	January	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	5.5	12.8	14.76

February	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	12.7	14.81
March	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	12.9	14.70
April	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	12.9	14.77
May	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	12.8	14.72
June	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	12.1	14.50
July	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	12.8	14.30
August	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	12.9	14.30
September	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	12.2	14.90
October	0.0	1.0	1.0	1.0	3.0	3.0	0.0	5.2	0.0	14.20
November	0.0	1.0	1.0	1.0	3.0	3.0	0.0	5.7	0.0	14.70
December	0.0	1.0	1.0	1.0	3.0	3.0	0.0	5.4	0.0	14.40
Average Steam Production Annual										14.59

Lampiran 4. Kebutuhan Listrik Untuk Boiler

Tahun	Bulan	Konsumsi Listrik (MW)									
		BWBoiler	WHRB#1	WHRB#2	WHRB#3	WHRB#4	WHRB#5	PB#1	PB#2	EB	total
2015	January	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2		1.00
	February	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5		0.95
	March	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.5		0.87
	April	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7		0.69
	May	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8		0.86
	June	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.8		1.00
	July	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8		0.90
	August	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8		0.84
	September	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8		0.92
	October	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.4		0.60
	November	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1		0.74
	December	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5		0.70
Average Power Consumption Annual										0.84	
2016	January	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4		0.47
	February	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5		0.83
	March	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8		0.81
	April	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8		0.81
	May	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7		0.79
	June	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8		0.79
	July	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5		0.75
	August	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8		0.76
	September	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8		0.77
	October	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.2		0.41
	November	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.46
	December	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.2		0.37
Average Power Consumption Annual										0.67	
2017	January	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5		0.75
	February	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5		0.76
	March	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7		0.77
	April	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5		0.72
	May	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7		0.82
	June	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8		0.79
	July	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6		0.88
	August	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6		0.92
	September	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5		0.85
	October	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1		0.26
	November	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0		0.24

	December	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.2		0.40
Average Power Consumption Annual											0.68
2018	January	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4		0.92
	February	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8		0.81
	March	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8		0.81
	April	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8		0.77
	May	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8		0.82
	June	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6		0.79
	July	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5		0.82
	August	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4		0.64
	September	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5		0.60
	October	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2		0.35
	November	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2		0.35
	December	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.36
Average Power Consumption Annual											0.67
2019	January	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	8.5	9.1
	February	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	8.5	9.0
	March	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	8.6	8.9
	April	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	8.6	8.9
	May	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	8.5	8.7
	June	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	8.1	8.3
	July	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	8.5	8.7
	August	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	8.6	8.8
	September	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	8.1	8.3
	October	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.4	0.0	0.6
	November	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.5	0.0	0.6
	December	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.4	0.0	0.6
Average Power Consumption Annual											6.71

Lampiran 5. Perhitungan Physical Availability Boiler 2019

	Week	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual	
P.Boiler #1	Planned Down Time Hour	8.00	8.00	8.00	504.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	592.00	
	Total Operating Hours	744.00	672.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	8760.00	
	Actual Plan Outage hrs	16.00	21.00	10.00	623.00	19.00	12.00	15.00	14.00	38.00	10.00	48.00	10.00	836.00	
	Force outage by Maintenance	124.00	23.00	15.00	0.00	265.00	15.00	86.00	34.00	90.00	78.00	24.00	45.00	799.00	
	Force outage by Operation	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	Total Down Time Hours	140.00	44.00	25.00	623.00	284.00	27.00	101.00	48.00	128.00	88.00	72.00	55.00	1635.00	
	Availability Hours	604.00	628.00	719.00	97.00	460.00	693.00	643.00	696.00	592.00	656.00	648.00	689.00	7125.00	
	Operating Hours	604.00	628.00	719.00	97.00	460.00	693.00	643.00	696.00	592.00	656.00	648.00	689.00	7125.00	
	Planned Physical Availability	98.9%	98.8%	98.9%	30.0%	98.9%	98.9%	98.9%	98.9%	98.9%	98.9%	98.9%	98.9%	98.9%	93.2%
	Physical Availability	81.2%	93.5%	96.6%	13.5%	61.8%	96.3%	86.4%	93.5%	82.2%	88.2%	90.0%	92.6%	81.3%	
	Number of external trip/failure	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Number of internal trip/failure	1	2	1	0	3	1	1	1	4	1	1	1	17	
MTBF	12.58	12.83	16.26	17.07	13.06	14.82	16.02	17.20	14.26	15.07	15.77	16.49	16.49		
P.Boiler #2	Planned Down Time Hour	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	504.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	592.00	
	Total Operating Hours	744.00	672.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	8760.00	
	Actual Plan Outage hrs	8.00	8.00	9.00	8.00	8.00	168.00	672.00	210.00	8.00	8.00	8.00	8.00	1123.00	
	Force outage by Maintenance	15.00	13.75	0.00	37.75	3.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	70.20	
	Force outage by Operation	0.00	1.72	0.00	0.00	1.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.74	

	Total Down Time Hours	23.00	23.47	9.00	45.75	12.72	168.00	672.00	210.00	8.00	8.00	8.00	8.00	1195.94
	Availability Hours	721.00	648.53	735.00	674.25	731.28	552.00	72.00	534.00	712.00	736.00	712.00	736.00	7564.06
	Operating Hours	721.00	648.53	735.00	674.25	731.28	552.00	72.00	534.00	712.00	736.00	712.00	736.00	7564.06
	Planned Physical Availability	98.9%	98.8%	98.9%	98.9%	98.9%	98.9%	32.3%	98.9%	98.9%	98.9%	98.9%	98.9%	93.2%
	Physical Availability	96.9%	96.5%	98.8%	93.6%	98.3%	76.7%	9.7%	71.8%	98.9%	98.9%	98.9%	98.9%	86.3%
	Number of external trip/failure	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Number of internal trip/failure	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2
	MTBF	30.04	28.53	43.84	57.89	48.75	56.42	57.42	64.83	74.72	84.95	94.83	105.06	105.06
Electric Boiler	Planned Down Time Hour	24.00	0.00	0.00	168.00	0.00	0.00	24.00	0.00	0.00	168.00	0.00	0.00	384.00
	Total Operating Hours	744.00	672.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	8760.00
	Actual Plan Outage hrs	24.00	0.00	0.00	168.00	0.00	0.00	24.00	0.00	0.00	215.00	0.00	0.00	431.00
	Force outage by Maintenance	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Force outage by Operation	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.05
	Total Down Time Hours	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Availability Hours	744.00	672.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	8760.00
	Operating Hours	720.00	672.00	744.00	552.00	744.00	720.00	720.00	744.00	720.00	528.95	720.00	744.00	8328.95
	Planned Physical Availability	96.8%	100.0%	100.0%	76.7%	100.0%	100.0%	96.8%	100.0%	100.0%	77.4%	100.0%	100.0%	95.6%
	Physical Availability	96.8%	100.0%	100.0%	76.7%	100.0%	100.0%	96.8%	100.0%	100.0%	71.1%	100.0%	100.0%	95.1%
	Number of external trip/failure	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Number of internal trip/failure	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MTBF	30.00	58.00	89.00	112.00	143.00	173.00	203.00	234.00	264.00	286.04	316.04	347.04	347.04	

BW Boiler	Planned Down Time Hour	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	336.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	336.00	336.00
	Total Operating Hours	744.00	672.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	8760.00
	Actual Plan Outage hrs	8.00	8.00	9.00	8.00	8.00	442.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	350.00	873.00
	Force outage by Maintenance	0.00	56.00	0.00	157.00	0.00	0.00	0.00	0.00	87.00	354.00	0.00	0.00	654.00
	Force outage by Operation	0.00	0.00	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
	Total Down Time Hours	8.00	64.00	17.00	165.00	8.00	442.00	8.00	8.00	95.00	362.00	8.00	350.00	1535.00
	Availability Hours	736.00	608.00	727.00	555.00	736.00	278.00	736.00	736.00	625.00	382.00	712.00	394.00	7225.00
	Operating Hours	736.00	608.00	727.00	555.00	736.00	278.00	736.00	736.00	625.00	382.00	712.00	394.00	7225.00
	Planned Physical Availability	98.9%	98.8%	98.9%	98.9%	98.9%	53.3%	98.9%	98.9%	98.9%	98.9%	98.9%	54.8%	96.2%
	Physical Availability	98.9%	90.5%	97.7%	77.1%	98.9%	38.6%	98.9%	98.9%	86.8%	51.3%	98.9%	53.0%	82.5%
	Number of external trip/failure	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Number of internal trip/failure	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	3
MTBF	30.67	28.00	43.15	36.47	46.69	50.56	60.78	71.00	59.76	63.74	71.16	75.26	75.26	

	Week	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
WHRB#1	Planned Down Time Hour	72.00	8.00	8.00	72.00	8.00	8.00	336.00	8.00	8.00	72.00	8.00	8.00	616.00
	Total Operating Hours	744.00	672.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	8760.00
	Actual Plan Outage hrs	744.00	672.00	744.00	720.00	744.00	456.00	8.00	8.00	8.00	72.00	8.00	8.00	4192.00
	Force outage by Maintenance	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Force outage by Operation	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Total Down Time Hours	744.00	672.00	744.00	720.00	744.00	456.00	8.00	8.00	8.00	72.00	8.00	8.00	4192.00
	Availability Hours	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	264.00	736.00	736.00	712.00	672.00	712.00	736.00	4568.00

Operating Hours	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	264.00	736.00	736.00	712.00	672.00	712.00	736.00	4568.00
Planned Physical Availability	90.3%	98.8%	98.9%	90.0%	98.9%	98.9%	54.8%	98.9%	98.9%	90.3%	98.9%	98.9%	93.0%
Physical Availability	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	36.7%	98.9%	98.9%	98.9%	90.3%	98.9%	98.9%	52.1%
Number of external trip/failure	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Number of internal trip/failure	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MTBF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.00	41.67	72.33	102.00	130.00	159.67	190.33	190.33

WHRB#2	Planned Down Time Hour	8.00	72.00	8.00	8.00	72.00	8.00	8.00	336.00	8.00	8.00	72.00	8.00	616.00
	Total Operating Hours	744.00	672.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	8760.00
	Actual Plan Outage hrs	8.00	72.00	8.00	8.00	156.00	8.00	8.00	336.00	8.00	8.00	96.00	8.00	724.00
	Force outage by Maintenance	230.00	3.00	93.00	45.00	0.00	385.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	756.00
	Force outage by Operation	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	36.00	16.00	3.00	55.00
	Total Down Time Hours	238.00	75.00	101.00	53.00	156.00	393.00	8.00	336.00	8.00	44.00	112.00	11.00	1535.00
	Availability Hours	506.00	597.00	643.00	667.00	588.00	327.00	736.00	408.00	712.00	700.00	608.00	733.00	7225.00
	Operating Hours	506.00	597.00	643.00	667.00	588.00	327.00	736.00	408.00	712.00	700.00	608.00	733.00	7225.00
	Planned Physical Availability	98.9%	89.3%	98.9%	98.9%	90.3%	98.9%	98.9%	54.8%	98.9%	98.9%	90.0%	98.9%	93.0%
	Physical Availability	68.0%	88.8%	86.4%	92.6%	79.0%	45.4%	98.9%	54.8%	98.9%	94.1%	84.4%	98.5%	82.5%
	Number of external trip/failure	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Number of internal trip/failure	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	1	6
	MTBF	21.08	45.96	72.75	100.54	125.04	138.67	169.33	186.33	216.00	61.29	45.08	43.01	43.01

WHRB#3	Planned Down Time Hour	8.00	8.00	72.00	8.00	8.00	72.00	8.00	8.00	336.00	8.00	8.00	72.00	616.00
	Total Operating Hours	744.00	672.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	8760.00

Actual Plan Outage hrs	8.00	8.00	168.00	8.00	8.00	96.00	8.00	8.00	523.00	8.00	8.00	8.00	859.00
Force outage by Maintenance	0.00	284.00	0.00	0.00	0.00	0.00	87.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	371.00
Force outage by Operation	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total Down Time Hours	8.00	292.00	168.00	8.00	8.00	96.00	95.00	8.00	523.00	8.00	8.00	8.00	1230.00
Availability Hours	736.00	380.00	576.00	712.00	736.00	624.00	649.00	736.00	197.00	736.00	712.00	736.00	7530.00
Operating Hours	736.00	380.00	576.00	712.00	736.00	624.00	649.00	736.00	197.00	736.00	712.00	736.00	7530.00
Planned Physical Availability	98.9%	98.8%	90.3%	98.9%	98.9%	90.0%	98.9%	98.9%	53.3%	98.9%	98.9%	90.3%	93.0%
Physical Availability	98.9%	56.5%	77.4%	98.9%	98.9%	86.7%	87.2%	98.9%	27.4%	98.9%	98.9%	98.9%	86.0%
Number of external trip/failure	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Number of internal trip/failure	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2
MTBF	30.67	23.25	35.25	50.08	65.42	78.42	61.29	71.51	74.25	84.47	94.36	104.58	104.58

WHRB#4	Planned Down Time Hour	72.00	8.00	8.00	72.00	8.00	8.00	72.00	8.00	8.00	336.00	8.00	8.00	616.00
	Total Operating Hours	744.00	672.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	8760.00
	Actual Plan Outage hrs	80.00	8.00	8.00	72.00	8.00	8.00	93.00	8.00	8.00	350.00	8.00	8.00	659.00
	Force outage by Maintenance	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Force outage by Operation	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.00	26.00	0.00	44.00
	Total Down Time Hours	80.00	8.00	8.00	72.00	8.00	8.00	93.00	8.00	8.00	368.00	34.00	8.00	703.00
	Availability Hours	664.00	664.00	736.00	648.00	736.00	712.00	651.00	736.00	712.00	376.00	686.00	736.00	8057.00
	Operating Hours	664.00	664.00	736.00	648.00	736.00	712.00	651.00	736.00	712.00	376.00	686.00	736.00	8057.00
	Planned Physical Availability	90.3%	98.8%	98.9%	90.0%	98.9%	98.9%	90.3%	98.9%	98.9%	54.8%	98.9%	98.9%	93.0%
	Physical Availability	89.2%	98.8%	98.9%	90.0%	98.9%	98.9%	87.5%	98.9%	98.9%	50.5%	95.3%	98.9%	92.0%
	Number of external trip/failure	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Number of internal trip/failure	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2
MTBF	27.67	55.33	86.00	113.00	143.67	173.33	200.46	231.13	260.79	138.23	101.68	111.90	111.90	

WHRB#5	Planned Down Time Hour	8.00	72.00	8.00	8.00	72.00	8.00	8.00	72.00	8.00	8.00	336.00	8.00	616.00
	Total Operating Hours	744.00	672.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	8760.00
	Actual Plan Outage hrs	8.00	72.00	8.00	8.00	72.00	8.00	8.00	72.00	8.00	8.00	336.00	8.00	616.00
	Force outage by Maintenance	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Force outage by Operation	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Total Down Time Hours	8.00	72.00	8.00	8.00	72.00	8.00	8.00	72.00	8.00	8.00	336.00	8.00	616.00
	Availability Hours	736.00	600.00	736.00	712.00	672.00	712.00	736.00	672.00	712.00	736.00	384.00	736.00	8144.00
	Operating Hours	736.00	600.00	736.00	712.00	672.00	712.00	736.00	672.00	712.00	736.00	384.00	736.00	8144.00
	Planned Physical Availability	98.9%	89.3%	98.9%	98.9%	90.3%	98.9%	98.9%	90.3%	98.9%	98.9%	53.3%	98.9%	93.0%
	Physical Availability	98.9%	89.3%	98.9%	98.9%	90.3%	98.9%	98.9%	90.3%	98.9%	98.9%	53.3%	98.9%	93.0%
	Number of external trip/failure	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Number of internal trip/failure	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MTBF	30.67	55.67	86.33	116.00	144.00	173.67	204.33	232.33	262.00	292.67	308.67	339.33	339.33

Lampiran 6. Penugasan Boiler yang beroperasi Tahun 2019

Running hours boiler dalam satuan hari

Month	PB#1	PB#2	BW Boiler	EB	WHRB#1	WHRB#2	WHRB#3	WHRB#4	WHRB#5
JAN	0.0	24.1	6.9	31.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FEB	0.0	6.6	21.4	28.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
MAR	0.0	25.6	5.4	31.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
APR	0.0	28.4	1.6	30.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
MAY	0.0	21.3	9.7	31.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
JUN	0.0	26.1	3.9	30.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
JUL	11.0	20.0	0.0	31.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AUG	0.0	24.6	6.4	31.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SEP	0.0	30.0	0.0	30.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
OCT	0.0	8.9	0.0	0.0	18.7	14.5	14.5	26.5	23.9
NOV	0.0	6.4	2.0	0.0	14.8	21.1	22.1	14.0	22.4
DEC	0.0	10.9	5.6	0.0	12.6	12.7	11.3	7.5	1.7
Total	11.0	233.0	62.9	273.0	46.0	48.3	47.9	48.0	48.0

Lampiran 7. Model Matematika Dengan Lingo

Model Matematis Untuk optimasi operasi boiler dengan biaya yang optimal saat musim hujan dan kemarau.

```
SETS:
Boiler /PB1, PB2, BW, EB, WHRB1, WHRB2, WHRB3, WHRB4, WHRB5 / :
FixedCost, VarCost, Capacity, Availability, ElectricConsumption,
MinProduction,
                                AllBinaryBoiler;
    Day / 1 .. 365 /: ;
    Link1 (Boiler, day) : BinaryBoiler, Steam;
ENDSETS
```

The Objective;

```
MIN = @SUM(Boiler(I) :
        @SUM(Day(L) : FixedCost(I)*AllBinaryBoiler(I) +
        VarCost(I)*Steam
        )
    );
```

!Subject to;

Kemampuan atau kapasitas masing-masing boiler dalam memproduksi uap panas bertekanan sebagai berikut: PB#1 = 6 ton/jam, PB#2 = 18 ton/jam, BW Boiler = 22 ton/jam, Electric Boiler = 21 ton/jam, WHRB#1 - 3 kapasitas masing-masing 1 ton/jam, dan WHRB#4 dan 5 kapasitas masing-masing 3 ton/jam. Dalam model kapasitas ini satuannya di ubah dalam satuan hari yaitu dengan mengalikan jumlah jam dalam 1 hari (24 jam). Masing-masing boiler tidak mampu memproduksi melebihi kapasitasnya sehingga persamaan dari konstrain ini adalah:

```
@FOR(Boiler(I) :
    @FOR(Day(L) : Steam(I,L) <= Capacity(I)
    )
);
```

Permintaan uap panas bertekanan dari kustomer (dryer, kiln, dan area sulfur) secara detail sudah dijelaskan pada bab 1 dimana dalam penelitian ini besar permintaan uap panas bertekanan diambil data 2019 atau data saat ini yaitu rata-rata 15 ton/jam. Permintaan kustomer perhari = 15 Ton/jam x 24 jam = 360 Ton sehingga persamaan dari konstrain ini adalah:

```
@FOR(Day(L) :
    @SUM(Boiler(I) : Steam(I,L)) >= 360
);
```

Pada Musim hujan ketersediaan listrik PT. Vale Indonesia tercukup dari PLTA yang dimiliki sehingga Electric Boiler mendapatkan supply listrik untuk memproduksi uap panas bertekanan meskipun tidak semua dipermintaan uap panas bertekanan dibangkitkan dari Electric Boiler karena hanya mendapatkan supply listrik untuk boiler sebesar 9 MW. Kebutuhan listrik masing masing boiler

untuk memproduksi 1 Ton uap bertekanan memerlukan listrik sebesar PB#1 = 0.07MW, PB#2 = 0.05MW, BW Boiler = 0.04MW, EB = 0.66MW, dan WHRB#1 – 5 masing-masing memerlukan 0.02 per-ton uap panas bertekanan sehingga persamaan dari konstrain ini adalah:

```
@FOR(Day(L)|L #GE# 1 #AND# L #LE# 273:
    @SUM(Boiler(I): ElectricConsumption(I)*Steam(I,L)) <= 9*24
);
```

Pada Musim kemarau ketersediaan listrik PT. Vale Indonesia tidak tercukupi dari PLTA sehingga Electric Boiler tidak mendapatkan supply listrik untuk memproduksi uap panas bertekanan. Kebutuhan listrik masing masing-masing boiler untuk memproduksi 1 Ton, sehingga persamaan dari konstrain ini adalah:

```
@FOR(Day(L)|L #GE# 274 #AND# L #LE# 365:
    @SUM(Boiler(I): ElectricConsumption(I)*Steam(I,L)) <= 1*24
);
```

Sesuai dengan komitmen dengan kustomer setiap tahun Departement Utilities diberikan waktu untuk shutdown total boilernya selama 2 hari. Kesempatan shutdown total untuk boiler tersebut digunakan untuk perbaikan atau PM Check yang mengharuskan semua boiler shutdown. Selain perbaikan di boiler juga dilakukan perbaikan di line distribusi steam ke kustomer karena perbaikan line distribusi utama membutuhkan terhentinya pasokan uap panas bertekanan. Dari uraian diatas physical availability dari sistem produksi steam yang diminta kustomer selama 2 hari dari 274 hari di musim hujan atau 99.27%. Dari perhitungan physical availability dari boiler didapatkan availability seperti berikut ini PB#1 = 81.3%, PB#2 = 86.3%, BW Boiler = 82.5%, EB = 95.0%, WHRB#1 = 51.7%, WHRB#2 = 82.3%, WHRB#3 = 86.1%, WHRB#4 = 92.9%, WHRB#5 = 93.5% detail perhitungan ini bisa lihat pada lamipran 3. Dari data diatas maka persamaan dari konstrain tersebut.

```
@SUM(Day(L)|L #GE# 1 #AND# L #LE# 273:
    @SUM(Boiler(I): Steam(I,L))) >= 0.992*360
;
```

Pada musim kemarau kustomer mengharapkan tidak ada total shutdown untuk boiler dan availability dari system produksi uap panas bertekanan adalah 100%. Dengan memperhitungkan physical availability dari masing-masing seperti pada persamaan 6 maka persamaan dari konstrain tersebut.

```
@SUM(Day(L)|L #GE# 274 #AND# L #LE# 365:
    @SUM(Boiler(I): Steam(I,L))) >= 1*360
;
```

Keandalan PB # 1, PB # 2, BW Boiler, dan EB diharapkan 100% atau 365 hari dalam satu tahun

```
@FOR(Boiler(I)|I #GE# 1 #AND# I #LE# 4:
    @SUM(Day(L): Steam(I,L)) <= Availability(I)*365*360
```

```
);
```

Keandalan WHRB#1 - 5 diharapkan 41 hari dalam satu tahun.

```
@FOR(Boiler(I)|I #GE# 5 #AND# I #LE# 9:
    @SUM(Day(L): Steam(I,L)) <= Availability(I)*41*360
);
```

Ada batasan dari boiler jika beroperasi yaitu boiler dalam memproduksi uap panas bertekanan paling sedikit:

- PB#1 $\rightarrow 0 \leq X_1 \leq 0.6$
- PB#2 $\rightarrow 0 \leq X_2 \leq 1.8$
- BW Boiler $\rightarrow 0 \leq X_3 \leq 2.2$
- EB $\rightarrow 0 \leq X_4 \leq 2$
- WHRB#1 $\rightarrow 0 \leq X_5 \leq 1$
- WHRB#2 $\rightarrow 0 \leq X_6 \leq 1$
- WHRB#3 $\rightarrow 0 \leq X_7 \leq 1$
- WHRB#4 $\rightarrow 0 \leq X_8 \leq 3$
- WHRB#5 $\rightarrow 0 \leq X_9 \leq 3$

Sehingga persamaan constraint ini:

```
@FOR(Day(L):
    @FOR(Boiler(I):
        Steam(I,L) <= 10000*BinaryBoiler(I,L)
    )
);
```

```
@FOR(Day(L):
    @FOR(Boiler(I):
        MinProduction(I) - Steam(I,L) <= 10000*(1-
        BinaryBoiler(I,L))
    )
);
```

Untuk menjaga kehandalan system produksi uap bertekanan, selalu dua boiler yang beroperasi meskipun boiler kedua hanya beroperasi pada titik minimum dari kapasitasnya. Jika boiler pertama mengalami gangguan atau kerusakan maka boiler kedua menggantikan boiler pertama sehingga supply uap bertekanan ke kustomer tidak terganggu. Jika EB menjadi pembangkit utama maka PB#2 sebagai boiler kedua dan jika PB#2 menjadi pembangkit utama maka PB#1 sebagai boiler backup. Sehingga persamaan dari kendala atau konstrain ini adalah:

```
@FOR(Day(L):
    @FOR(Boiler(I)|I #EQ# 4:
        @SUM(Boiler(M)|M#EQ#2: BinaryBoiler(M,L)) >=
        BinaryBoiler(I,L)
    )
);
```

```
@FOR(Day(L):
    @FOR(Boiler(I)|I #EQ# 2:
```

```

        @SUM(Boiler(M)|M#EQ#1: BinaryBoiler(M,L)) >=
BinaryBoiler(I,L)
    )
);

```

Pada musim hujan, ketersediaan listrik dari pembangkit listrik tenaga air dapat mencukupi dari permintaan electric boiler sehingga pada musim hujan penggunaan boiler listrik dioptimalkan. Sedangkan pada musim kemarau tidak ada listrik yang tersedia untuk boiler listrik dan selama musim kemarau PLTD dioperasikan untuk meningkatkan ketersediaan listrik tetapi PLTD hanya diperbolehkan beroperasi 1000 jam per-tahun karena emisi NOX dari PLTD melebihi pemerintah ambang. Karena WHRB memanfaatkan panas gas buang dari PLTD maka saat itu WHRB juga dapat beroperasi hanya 1000 jam atau 41 hari pertahunnya dan dioperasikan pada awal musim kemarau.

```

        @FOR(Day(L)|L #GE# 1 #AND# L #LE# 273:
            @SUM(Boiler(I)|I #GE# 5 #AND# I #LE# 9: Steam(I,L)) <=
0
    );

```

```

        @FOR(Day(L)|L #GE# 314 #AND# L #LE# 365:
            @SUM(Boiler(I)|I #GE# 5 #AND# I #LE# 9: Steam(I,L)) <=
0
    );

```

Untuk memunculkan atau menghitung fixed cost pada boiler yang beroperasi maka dibuat persamaan seperti dibawah ini:

```

@FOR(Boiler(I):
    @SUM(Day(L): BinaryBoiler(I,L)) <= 10000*AllBinaryBoiler(I)
);

```

```

Data:
MinProduction = 14.4, 43.2, 52.8, 48, 2.4, 2.4, 2.4, 4.8, 4.8;
ElectricConsumption = 0.07, 0.05, 0.08, 0.6667, 0.02, 0.02, 0.02,
0.02, 0.02;
Availability = 0.813, 0.863, 0.825, 0.95, 0.52, 0.82, 0.86, 0.92,
0.93;
Capacity = 144, 432, 528, 480, 24, 24, 24, 72, 72;
FixedCost = 125, 140, 283, 78, 21.46, 20.94, 20.08, 27.58, 27.71;
VarCost = 64.63, 65.75, 65.29, 9.21, 0, 0, 0, 0, 0;
ENDDATA
END

```