

Penambahan Waktu Tunda Kondisi Paling Rendah Level Drum untuk Mengurangi Potensi Boiler Bocor Berdasarkan Debit Alir di PT. Indonesia Power PLTU Pelabuhan Ratu

Marina Artiyasa, Yogi Listiarga, Anang Suryana
Teknik Elektro Universitas Nusa Putra Sukabumi
marina@nusaputra.ac.id

Diterima : 25 Februari 2023

Disetujui : 29 Maret 2023

Abstract— PT. PLTU Indonesia di Pelabuhan Ratu Sukabumi memiliki boiler yang terdiri dari economizer, steam drum, downcomer, coal worker, wall stirrer, superheater, heater dan valve yang terhubung ke sistem. Salah satu sistem boiler yang akan diservis adalah steam drum level. Level drum uap tidak boleh mencapai level terendah (LLL). Pada tanggal 15 Mei 2019 terjadi kebocoran water heater tepatnya di blok 1 pipa dinding air belakang dan kiri. Sensor kebocoran uap No. peningkatan intensitas 1, 2, 3 dan 5, menandakan adanya kebocoran pada water wall unit 1 boiler. Setelah dianalisa apa akar penyebabnya, penyebab utamanya adalah panas berlebih jangka pendek. Salah satu pengamatan menyangkut logika level drum. Biasanya, jika 2 dari 3 sensor level drum mencapai nilai LLL, perangkat akan mati setelah 2 detik. Namun, perlindungan level drum sebenarnya tidak aktif. Akibatnya, permukaan drum meningkat menjadi -70 mm beberapa kali selama beberapa menit tanpa unit menembak. Ini mengancam tabung ketel, terutama tabung dinding air. Telah dilakukan penelitian terhadap permasalahan tersebut dengan judul Penambahan waktu tunda level drum terendah untuk mengurangi kemungkinan kebocoran/leakage boiler berdasarkan flow rate di PT Indonesia Power Pltu Pelabuhan Ratu. Metode penelitian ini adalah mengestimasi muatan berkurangnya jumlah pengisian air per detik saat terjadi BFPT. Oleh karena itu, dilakukan pengukuran volume secara empiris pada steam drum, underflow dan water wall. Berdasarkan hasil penelitian ini, kondisi dewatering steam drum yang paling buruk adalah 0,05 m³/s. Waktu tinggal dapat diperpanjang hingga maksimal 155 detik. Jika unit tidak rusak dalam waktu 72 jam karena perbaikan kebocoran boiler, maka nilai uangnya adalah Rp 6.511.629.600, jadi penelitian ini dirasakan sangat bermanfaat.

Keywords — Debit air pengisi, BFPT, Boiler Drum, Level, Waktu tunda, Trip

I. PENDAHULUAN

PT. Indonesia Power adalah perusahaan jasa pembangkit listrik yang berkaitan dengan operasi dan pemeliharaan. Unit Pelayanan Pembangkitan PLTU Pelabuhan Ratu merupakan salah satu dari sekian banyak unit bisnis PT. Indonesia Power memiliki kapasitas 3 x 350 MW dengan menggunakan tenaga batubara. Bagian penting adalah boiler, yang meliputi economizer, steam drum, bendungan, suplai batubara, elevator pipa dinding, superheater, heater dan valve. [1]
Boiler adalah alat yang dirancang untuk membakar batubara secara sempurna dan efisien

dengan emisi serendah mungkin. Uap yang dihasilkan memenuhi persyaratan aliran, tekanan dan suhu serta energi yang dihasilkan dalam kondisi terbaik. Sistem kemudian memasok uap dengan suhu dan tekanan tinggi di bawah kendali sistem. Uap kemudian melewati generator turbin untuk menghasilkan listrik. Steam juga digunakan untuk menjalankan boiler feed pump turbin (BFPT) dan peralatan pendukung lainnya seperti pemanas air umpan dan udara pembakaran. [1]

Boiler atau Ketel beroperasi terus menerus, untuk menghasilkan uap saat dibutuhkan, bagian

paling aktif dari ketel adalah pipa uap. Economizer mengumpulkan panas dari pembakaran batu bara dengan cara konveksi seperti superheater, reheater sedangkan sekat mengumpulkan panas dengan cara radiasi .[1]

Pada tanggal 15 Mei 2019 terjadi kebocoran boiler tepatnya di unit plumbing kiri belakang 1. Sensor kebocoran boiler No. 1, 2, 3 dan 5, intensitas meningkat, menandakan kebocoran pada unit dinding boiler 1. Deteksi di tempat adalah uap yang keluar dari lubang. Dengan kondisi tersebut, boiler tidak dapat terus beroperasi dan harus dimatikan. Setelah melakukan analisis akar penyebab kesalahan, akar penyebab terlalu panas untuk waktu yang singkat. Setelah melakukan analisis kegagalan akar penyebab, akar penyebabnya adalah panas berlebih jangka pendek. Setelah melakukan analisis kegagalan akar penyebab, akar penyebabnya adalah panas berlebih jangka pendek. Salah satu penemuan tentang logika level drum . Normalnya apabila 2 dari 3 sensor level drum mencapai 'LLL', maka 2 detik setelahnya unit akan trip (MFT aktif). Namun, aktualnya proteksi level drum tersebut tidak aktif. Sehingga menyebabkan beberapa kali terjadi level drum mencapai -470 mm (terkait gangguan pada feedwater supply) selama beberapa menit tanpa unit trip. Hal ini membahayakan boiler tube khususnya waterwall tube. Metodologi dalam kajian ini adalah dengan mengestimasi laju pengurangan volume feedwater per detiknya pada saat terjadi BFPT trip. Untuk itu, dilakukan pengukuran volume secara empiris beberapa equipment yang menjadi fokus, yaitu Steam Drum, Downcomer, dan waterwall. Modifikasi Logic Level Steam Drum ini bertujuan untuk meminimalisir potensi trip unit yang berasal dari sinyal level drum LLL sehingga dapat menjaga kehandalan pembangkit.

Pertama, penelitian yang dilakukan oleh Wahyudianto Eko, Ilyas HS Mochammad (2011) di dalam risetnya yang berjudul "Perancangan Sistem Pengendalian Bertingkat Pada Steam Drum PT Indonesia Power UBP Sub Unit Perak-Grati. Surabaya". Output dari penelitian ini antara lain: 1) Telah dilakukan desain sistem untuk pengendalian 3 elemen control berbasis

PID pada Steam Drum PT. Indonesia Power UBP Subunit Perak Grati, 2) Telah dihasilkan sistem kontrol baru dari hasil desain kontrol PID 3 elemen berdasarkan metode Ziegler-Nichols diperoleh nilai $K_p = 77,34$; $T_i = 0,9375$ detik dan $T_d = 0,3821$, 3) Respon yang diberikan oleh sistem hasil rancangan telah memenuhi kriteria yang ada seperti kestabilan, maksimum overshoot = 27,7% time setling = 19 detik Sistem telah lolos dalam beberapa pengujian seperti uji respon masukan sinyal step, uji noise pengukuran [2].

Kedua, penelitian yang dilakukan oleh Herlambang, Teguh, Aprilliani Erna, Cordova, Hendra, Mardijah (2011) dalam risetnya yang berjudul "Desain Pengendalian Ketinggian Air Dan Temperatur Uap Pada Sistem Steam Drum Boiler Menggunakan Metode Sliding Mode Control (Smc)". Solusi yang didapatkan dari riset ini yaitu : 1) Rancangan sistem pengendali Sliding Mode Control (SMC) bisa diaplikasikan pada pengendalian ketinggian air dan temperatur uap pada Steam Drum boiler, 2) [3].

Ketiga, yaitu riset yang telah dilakukan oleh Hidayanto, Singgih (2016) penelitiannya berjudul "Analisis Performa Water Tube Boiler Kapasitas 115 Ton/Jam Di PT. Pertamina Refinery Unit Vi Balongan-Indramayu". Hasil dari penelitian ini adalah:

1) Kandungan O₂ pada gas buang masih relatif kecil dibandingkan dengan ukuran boiler, sehingga tidak terlalu mempengaruhi efisiensi boiler. 2) Jumlah panas yang hilang dari boiler tidak sepenuhnya mempengaruhi ukuran boiler. efisiensi boiler secara signifikan, karena masih dalam batas yang ditentukan. 3) Telah dikembangkan perangkat lunak untuk menganalisis efisiensi boiler sehingga proses analisis efisiensi boiler dapat dilakukan dengan lebih efisien [4].

Keempat, riset yang dilakukan oleh Kurniawan, Hanzen Yauri, Gunawan, Hardi, Maluegha, Benny (2015) dalam risetnya yang berjudul "Penelitian efisiensi termal boiler unit 1 PLTU Amurang. Hasil analisis efisiensi boiler PLTU Amurang 1 dengan metode tidak langsung adalah 92,33%. Jika diperlakukan dengan siklus Rankine, efisiensi termal siklus adalah 41,17% pada $T = 540$ Co, $P = 9,8$ MPa dan $P_c = 0,0085$

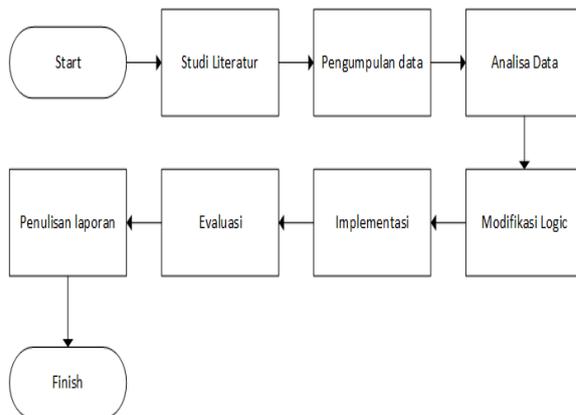
MPa. Efisiensi termal dari siklus yang diperoleh lebih rendah dari efisiensi termal yang ditentukan karena efisiensi termal dari siklus tersebut merupakan gabungan efisiensi termal dari boiler, turbin, kondensor dan pompa air umpan. . [5].

II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian atau riset ini dilakukan dalam jangka waktu 2 bulan, dimulai sejak bulan Mei s/d Juni 2022, berlokasi di PT. Indonesia Power JABAR 2 Palabuhan Ratu OMU.Kab Sukabumi.

1.1 Alur Penelitian

Adapun alur dalam melakukan penelitian tugas akhir ini sebagai berikut.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

a. Studi Literatur

Pertama, melakukan kajian bibliografi tumbuhan dengan menggunakan Piping and Instrumentation Diagram (P&ID) dan merumuskan permasalahan yang muncul serta mencari sumber untuk penelitian bibliografi, baik berupa jurnal/tesis maupun buku teks .

b. Pengumpulan Data

Pengumpulan data ini dilakukan untuk memudahkan proses penelitian. Berdasarkan referensi penelitian ini, parameter yang diperoleh meliputi parameter fluks dan volume rongga. Analisa Data

Dari data tersebut dibuatlah model matematis plant yang merepresentasikan proses yang terjadi didalam plant berdasarkan rumus volume bola dan volume silinder.

c. Modifikasi Logic

Pada tahapan ini dilakukan modifikasi logic yang terdapat pada system DCS melalui engineering workstation (EWS)

d. Implementasi

Pada tahapan ini dilakukan Download program yang telah dilakukan modifikasi logic pada sistem DCS melalui engineering work station (EWS) dan melihat respon dari hasil modifikasi logic

e. Evaluasi

Tahapan evaluasi diperlukan untuk membenahi kekurangan pada logic dan system setelah dilakukan implementasi

f. Penulisan Laporan

III. Hasil dan Pembahasan

Hasil akhir dari penelitian yakni mengimplementasikan hasil modifikasi logic kemudian dibuat menjadi bentuk laporan

a. Analisa setiap komponen Boiler

i. Pemodelan Matematis

1) Volume *Steam Drum*

Berdasarkan data teknis di lapangan maka diperoleh model matematis dari volume *Steam Drum* pada Tabel 3.1 sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Volume *Steam Drum*

Keterangan	Volume A	Volume B+C	Volume Total	Volume efektif (70%)	Satuan
VSD full =	47,96	2,77	50,733	35,5131	m ³
VSD 50% =	23,98	1,39	25,3665	17,75655	m ³

Maka, Volume *Steam Drum* saat full = 35,51 m³

Dan Volume *Steam Drum* saat 50% terisi = 17,76 m³

2) Volume Pipa *Downcomer*

Berdasarkan data teknis di lapangan maka diperoleh model matematis dari volume pipa *Downcomer* pada Tabel 4.2 sebagai berikut:

Tabel 3.. 2 Volume Pipa *Downcomer*

Volume	Luas Alas (m ²)	Panjang total (m)	Volume (m ³)
VPD1	0,15	65,59	9,92
VPD2	0,15	60,69	9,18
VPD3	0,15	60,69	9,18
VPD4	0,15	65,59	9,92
VOLUME TOTAL			38,19

3) Volume Pipa *Waterwall Header*

Berdasarkan data teknis di lapangan maka diperoleh model matematis dari volume pipa *Waterwall Header* pada tabel 4.3 sebagai berikut:

Tabel 3. 3 Volume Pipa *Waterwall Header*

Volume	Luas Alas (m ²)	Panjang header (m)	Volume (m ³)
VPWF1	0,04	5,381	0,21
VPWF2	0,04	5,148	0,20
VPWF3	0,04	5,381	0,21
VPWL1	0,04	5,177	0,20
VPWL2	0,04	4,236	0,17
VPWL3	0,04	5,177	0,20
VPWR1	0,04	5,177	0,20
VPWR2	0,04	4,236	0,17
VPWR3	0,04	5,177	0,20
VPWB1	0,04	5,381	0,21
VPWB2	0,04	5,148	0,20
VPWB3	0,04	5,381	0,21
Volume Total			2,40

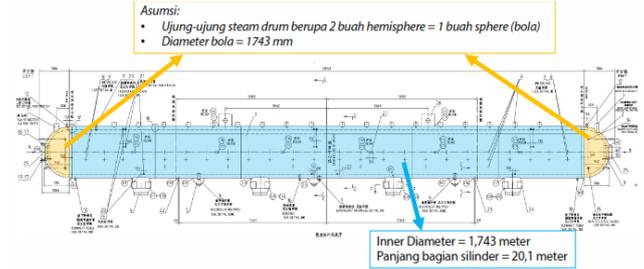
4) Volume Pipa *Waterwall*

Berdasarkan data teknis di lapangan maka diperoleh model matematis dari volume pipa *Waterwall* sebagai berikut:

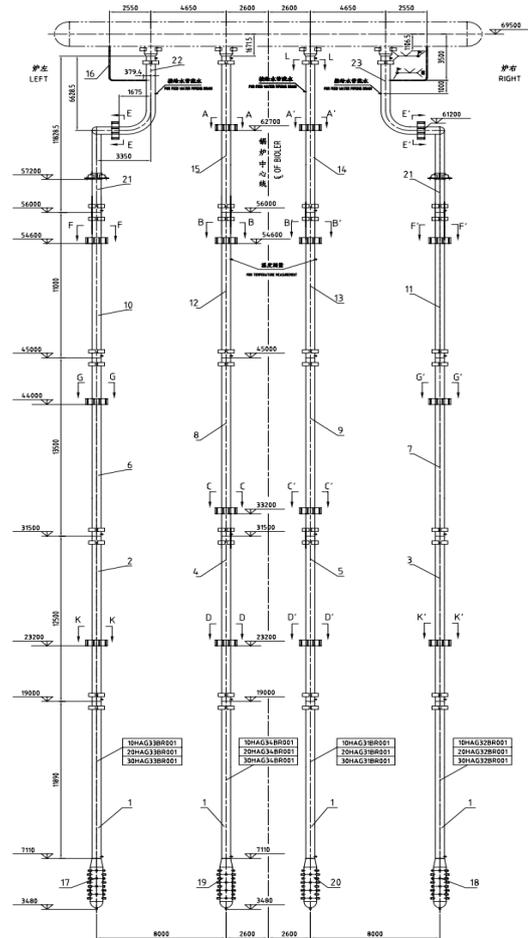
$$\begin{aligned} \text{VPW} &= 0,0018 \cdot 57,2 \cdot 764 \\ &= 77,11 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

ii. Hasil Perhitungan Volume

Berikut hasil perhitungan volume yang diperoleh berdasarkan pemodelan matematis dapat dilihat pada tabel 4.4.



Bab 1 Gambar 3. 1 Steam drum [10]



Bab 2 Gambar 3. 2 Pipa *downcomer* [10]

Bab 3 Tabel 3. 4 Hasil perhitungan berdasarkan pemodelan matematis

No	Equipment	Volume (m ³)
1	Steam Drum (100%)	35,51
2	Steam Drum (50%)	17,76
3	Steam Drum (di level nol)	16,45
4	Downcomer	38,19

5	Header <i>Waterwall</i>	2,4
6	<i>Tube Waterwall</i>	77,11

b. Data Gangguan BFPT Trip

Hasil Pengumpulan data telah dilakukan pada *engineering workstation* (EWS) dengan hasil pada tabel 4.5 dan tabel 4.6 sebagai berikut.

Tabel 3.5 Data kejadian BFPT Trip

Tanggal	Waktu (hh.mm.ss)	Beban MW	Level Drum (mm)	Estimasi Volume Steam Drum (m ³)
12-Feb-19	16.04.36	334,3	22,5	17,04
	16.06.18	319	-345,3	7,79
	16.07.38	285,2	-470	5,04
01-Mar-19	09.18.34	331	-2,3	16,39
	09.23.02	295,8	-257,3	9,89
	09.24.00	289,3	-337,3	7,98
	09.25.02	276,6	-470	5,04
30-Apr-19	22.09.35	335,2	30,5	17,25
	22.15.00	313,7	-348,4	7,72
	22.18.25	301,9	-469,9	5,04
15-Mei-19	10.27.40	341,7	5,6	16,59
	10.33.20	235,9	-288,2	9,14
	10.34.30	226,7	-356,8	7,53
	10.36.00	210,5	-470	5,04

Tabel 3.6 Data Debit penurunan level drum

Kejadian	Penurunan Level Drum (mm)	Durasi Waktu (s)	Pengurangan Volume (m ³)	Debit Pengurangan Volume (m ³ /s)	Rata-rata Flow BFPT Total (m ³ /h)	Rata-rata Beban (MW)	Selisih Flow BFP T - Flow Steam (m ³ /h)	Ket
Feb-19	-345,3 -> -470,0	80	2,75	0,03	511,82	300,6	287,66	2 BFPT TRIP
Mar-19	-337,3 -> -470,0	62	2,94	0,05	156,44	283,4	597,03	2 BFPT TRIP
Apr-19	-348,4 -> -469,9	205	2,67	0,01	825,83	314	1,47	1 BFPT TRIP
mei-19	-356,8 -> -470,0	90	2,48	0,03	56,6	218,5	542,44	2 BFPT TRIP

Catatan:

- Pada semua kejadian, proteksi level drum 'LLL' tidak aktif
- Pada saat BFPT A & B trip, boiler masih dalam keadaan berbeban dan masih ada api di dalam furnace
- Laju pengurangan air hanya dihitung saat level drum dekat -350 mm sampai level drum -470 mm
- Laju pengurangan air tersebut sudah mengakomodir penguapan yang terjadi di *waterwall*
- Laju penguapan air-steam (evaporation rate) dianggap sama
- Rata-rata beban (MW) menunjukkan rata-rata beban saat terjadi penurunan level *Steam Drum* pada kolom (2)
- Flow BFPT total adalah penjumlahan dari flow BFPT 1A dan 1B
- Selisih antara flow BFPT dan flow steam hanya untuk memberi gambaran antara

kebutuhan dan suplai feedwater pada setiap kejadian

c. Analisa Data

Setelah dilakukan perhitungan didapat debit pengurangan air terbesar adalah $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ (kejadian bulan Maret 2019) dengan kondisi BFPT 1A dan 1B trip, namun BFPT flow masih terukur $156,44 \text{ m}^3/\text{h}$. Masih ada suplai feedwater ke *Steam Drum* walaupun sudah jauh menurun. Saat level turun dari $-337,3 \text{ mm}$ (beban $289,3 \text{ MW}$) menjadi $-470,0 \text{ mm}$ (beban $276,6 \text{ MW}$), selisih antara flow BFPT dan flow steam mencapai rata-rata $597,03 \text{ m}^3/\text{h}$. Beban yang masih cukup tinggi (rata-rata beban $283,4 \text{ MW}$), sedangkan flow BFPT tidak mampu mengimbangi kebutuhan feedwater. Namun masih beruntung karena level drum bisa segera naik dan normal kembali.

Pada kejadian bulan April 2019, laju pengurangan airnya yang terkecil, yaitu $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$. Saat kejadian ini BFPT yang trip hanya BFPT 1A. Oleh karena itu, flow BFPT total masih cukup untuk menyuplai kebutuhan unit walaupun beban masih tinggi (rata-rata $314,0 \text{ MW}$).

Pada kejadian bulan Mei 2019, rata-rata flow BFPT hanya $56,60 \text{ m}^3/\text{h}$. Nilai tersebut sangat kecil karena BFPT 1A dan 1B trip secara beruntun. Kebutuhan pada beban $212,5 \text{ MW}$ pun tidak bisa terpenuhi dengan selisih flow BFPT – flow steam mencapai $542,44 \text{ t/h}$. Namun, pada kejadian 15 Mei 2019 ini level drum tidak kunjung naik (tertahan di -470 mm) setelah berlalu ± 36 menit Akhirnya terjadi overheating pada *waterwall tube* yang menyebabkan *tube* bocor.

Waktu tunda awal yakni 2 detik (2s) Ketika mencapai level -350 mm , kemudian Volume *Steam Drum* di level -350 mm adalah $7,79 \text{ m}^3$ dengan debit pengurangan air terbesar adalah $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$. saat *Waktu tunda* 2 sekon, artinya terjadi pengurangan air sebanyak $0,10 \text{ m}^3$ dan volume *Steam Drum* masih terisi $7,69 \text{ m}^3$ sehingga masih aman dan cukup memungkinkan untuk dilakukan penambahan *Waktu tunda* lebih dari 2 sekon dengan beberapa alasan sebagai berikut:

- Laju pengurangan $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ adalah kondisi terburuk saat 2 BFPT trip beruntun
- Setelah *Waktu tunda* 2 sekon, *Steam Drum* masih dalam kondisi berisi air, yang artinya *Downcomer* dan *waterwall* pun masih berisi air. Sehingga potensi overheating pada *waterwall tube* cukup kecil
- Memberikan waktu yang cukup kepada operator untuk melakukan beberapa Tindakan penormalan

Laju pengurangan air yang telah dikalkulasi kemudian dikalkulasi lagi estimasi waktu yang dibutuhkan apabila terjadi penurunan level drum dari -350 mm sampai drum benar-benar kosong. Hal ini bertujuan untuk memperkirakan waktu *waktu tunda* yang masih aman ketika level drum sudah menyentuh -350 mm (LLL).

Apabila terjadi penurunan level drum dari -350 mm sampai *Steam Drum* benar-benar kosong, maka dapat dihitung perkiraan durasi waktunya (menggunakan laju pengurangan air terbesar yaitu bulan Maret 2019):

- Volume *Steam Drum* di level -350 mm ($V1$) = $7,79 \text{ m}^3$
- Volume *Steam Drum* kosong ($V2$) = 0 m^3
- Debit pengurangan air (vt) = $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$

Maka Estimasi waktu yang dibutuhkan dari level -350 mm sampai kosong:

$$(V1-V2) / vt = (7,79 - 0) / 0,05 = 155,8 \text{ sekon} = \mathbf{155 \text{ sekon}}$$

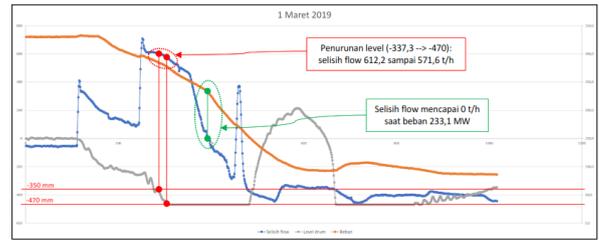
Pembulatan ke nilai bawah menjadi 155 sekon bertujuan sebagai proteksi agar tidak terjadi kerusakan yang lebih berdampak.

Berikut adalah perhitungan untuk setiap kondisi:

Tabel 3. 6 Perhitungan estimasi *Waktu tunda* baru

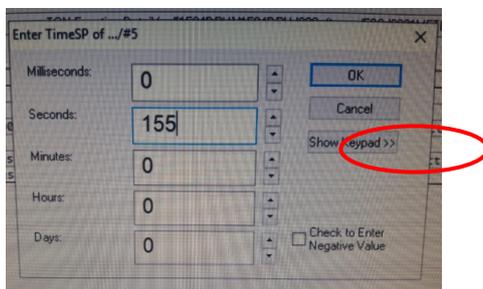
Kejadian	Laju (m/s)	Volume saat -350 mm (m)	Estimasi waktu dari -350 sampai drum kosong (sekon)
Feb-19	0,03	7,79	259,6
Mar-19	0,05	7,79	155,8
Apr-19	0,01	7,79	779
Mei 2019	0,03	7,79	259,6

Tabel 3.7 menunjukkan estimasi waktu sampai level drum kosong dengan kondisi laju pengurangan air yang berbeda-beda. Untuk menjaga dan memastikan agar *Steam Drum* masih dalam kondisi aman, maka diambil estimasi waktu terkecil. Dimana kondisi tersebut adalah kondisi yang terburuk dari 4 kejadian, yaitu kejadian pada bulan Maret 2019. Oleh karena itu *Waktu tunda* masih memungkinkan untuk ditambah menjadi 156 detik. Selama terjadi penurunan level drum tersebut, harus tetap diperhatikan flow BFPT total dan Flow steam. Selama proses penormalan harus dijaga agar selisih kedua flow tersebut tidak terlalu besar. Apabila 1 BFPT trip, selisih flow biasanya melonjak mencapai 400-500 t/h dan selisihnya berangsur menurun dengan naiknya flow BFPT Implementasi. Implementasi penambahan *Waktu tunda* dilakukan secara *online*, yakni Ketika unit kondisi running. Berikut tampilan *Waktu tunda* yang telah dimodifikasi yang satunya. Pada kondisi normal selisih keduanya sekitar 0 – 50 t/h.

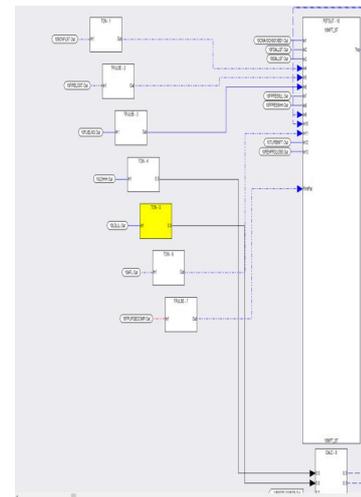


Gambar 3. 3 Grafik penurunan Level drum, flow dan beban unit (MW)

Beban (MW) juga harus disesuaikan untuk menjaga kebutuhan dan suplai *feedwater*. Pembakaran di dalam furnace juga perlu diminimalkan untuk mengamankan *waterwall tube* agar tidak terjadi *overheating*



Gambar 3. 4 Penambahan *waktu tunda* LLL



Gambar 3. 6 Tampilan logic *Waktu tunda* pada DCS

Number	Value	Reference	Category	Description	Security Class
Out	False	IN.LL.LL.out	Output	Input 1	A(NotAdjust)
Inhibit	False		Parameter	Invert Input 1 if set to 1	A(NotAdjust)
Invert	False		Parameter	Invert Output if set to 1	S(Configuration)
Out	False		Output	Set-Output	S(Configuration)
Service	"/DPA4PLU/Software/FSS/0000M		Status	Universal name for object	S(Configuration)
Stalake	"FV40PH"		Status	Tag Name for Service	S(Configuration)
TimeRemaining	0.00000 Seconds		Status	Time Remaining before action	S(Configuration)
TimeSP	2.00000 Minutes		Parameter	Time Set >>	S(Configuration)

Gambar 3. 5 Implementasi Penambahan *Waktu tunda*

Waktu tunda akan bekerja Ketika level drum mencapai limit batas bawah yang telah ditentukan yakni -450mm. Pengaplikasian penambahan logic *Waktu tunda* ini diharapkan dapat membantu operator untuk memaksimalkan pengoperasian peralatan sehingga unit tidak trip.

d. Manfaat Finansial

1) Kerugian Operasi

- Unit Trip = perbaikan boiler leakage
- Kapasitas Daya 1 Unit = 350 MW 9saat trip maka beban akan

	turun menjadi		
	0 MW		diperoleh nilai kerugian saat tidak beroperasi yaitu sebesar Rp
• Waktu derating	= 72 Jam		6.511.629.600,-
• Biaya Produksi Listrik per kWh	= Rp 397,102		Maka nilai saving atau penghematan yang diperoleh adalah senilai Rp 6.511.629.600 + Rp. 300.000.000 = Rp 6.811.629.600 ketika perbaikan berlangsung selama 72 jam untuk 1 unit.
• Harga Jual Listrik per kWh (dari Berita Acara bulan maret 2022)	= Rp 655,50		
• Total kerugian Daya	= 350 MW x 72 = Jam = 25.200 MWh 25.200.000 kWh		
• Keuntungan penjualan listrik per jam	= Harga jual listrik per kWh = - Biaya Produksi Listrik per kWh Rp 655,50 - Rp 397,102 Rp 258,398		
• Kerugian Operasi	= Kerugian daya x keuntungan penjualan per jam = 25.200.000 kWh x Rp 258,398 Rp 6.511.629.600		

3) Perhitungan Gain

Perhitungan Gain adalah perhitungan keuntungan daya yang dijual selama 72 jam yang apabila tidak terjadi trip

$$\begin{aligned} \text{Gain} &= \text{Daya Tambahan} \times \\ &= \text{Keuntungan Penjualan} \\ &= \text{Listrik/Jam} \\ &= 25.200.000 \text{ kWh} \times \text{Rp} \\ &= 258,398 \\ &= \text{Rp } 6.511.629.600 \end{aligned}$$

e. Manfaat Non Finansial

- 1) Tidak terjadi pemadaman listrik bergilir sehingga masyarakat tidak dirugikan
- 2) Meningkatkan kepercayaan pelanggan dan masyarakat kepada PLN
- 3) Menjaga kehandalan unit pembangkit listrik

2) Perhitungan Saving

Perhitungan saving atau penghematan biaya adalah ini yaitu adalah simulasi dengan menghitung kerugian daya yang hilang akibat unit ketika terjadi trip, dikurangi dengan biaya untuk perbaikan boiler leakage atau kebocoran .

- Biaya untuk perbaikan boiler leakage. Berdasarkan SPK perbaikan boiler leakage/bocor memerlukan biaya untuk perbaikan sebesar Rp. 300.000.000,-
- Biaya Kerugian Tidak Beroperasi Berdasarkan kejadian tersebut

IV.KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, maka dapat dilakukan pengambilan kesimpulan sebagai berikut.

1. Pada kondisi terburuk (2 BFPT trip beruntun) laju pengurangan air di Steam Drum adalah 0,05 ton/s
2. Waktu tunda masih memungkinkan untuk ditambah maksimum 155 sekon, mulai saat Steam Drum mencapai level -350 mm
3. Nilai finansial yang diperoleh apabila unit tidak trip selama 72 jam karena dilakukan perbaikan boiler leakage adalah senilai Rp 6.511.629.600.
4. Nilai kerugian finansial saat perbaikan boiler leakage selama 72 jam adalah senilai Rp 6.811.629.600 jadi penelitian ini dapat dikatakan cukup bermanfaat bagi banyak pihak

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Isa, N. A. Kamaruzzaman, M. A. Ramlan, N. Mohamed, and M. Puteh, "Market Basket Analysis of Customer Buying Patterns at Corm Café," vol. 7, pp. 119–123, 2018.
- [2] N. M. Kawale and D. S. Dahima, "Market Basket Analysis using Apriori Algorithm in R Language," *Int. J. Trend Sci. Res. Dev.*, vol. Volume-2, no. Issue-4, pp. 2628–2633, 2018, doi: 10.31142/ijtsrd15677.
- [3] I. Surjandari and A. C. Seruni, "Design of Product Placement Layout in Retail Shop Using Market Basket Analysis," *MAKARA Technol. Ser.*, vol. 9, no. 2, pp. 43–47, 2010, doi: 10.7454/mst.v9i2.379.
- [4] D. A. Valarmathi, "Market Basket Analysis for Mobile Showroom," *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. V, no. X, pp. 1279–1284, 2017, doi: 10.22214/ijraset.2017.10185.
- [5] M. Kaur and S. Kang, "Market Basket Analysis: Identify the Changing Trends of Market Data Using Association Rule Mining," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 85, no. Cms, pp. 78–85, 2016, doi: 10.1016/j.procs.2016.05.180.
- [6] N. Maheshwari, "Market Basket Analysis using Association Rule Learning Find Frequent Itemsets using Minimum Process from Frequent Itemsets," *Int. J. Comput. Appl.*, pp. 20–24, 2016.
- [7] A. Mansur and T. Kuncoro, "Product Inventory Predictions at Small Medium Enterprise Using Market Basket Analysis Approach-Neural Networks," *Procedia Econ. Financ.*, vol. 4, no. Icsmed, pp. 312–320, 2012, doi: 10.1016/s2212-5671(12)00346-2.
- [8] I. A., O. U., O. T., F. T., and A. A., "Automated Market Basket Analysis System," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 180, no. 39, pp. 44–51, 2018, doi: 10.5120/ijca2018917043.
- [9] K. S. Kumar and R. M. Chezian, "A Survey on Association Rule Mining using Apriori Algorithm," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 45, no. 5, pp. 47–50, 2012, doi: 10.1109/ACCT.2015.69.
- [10] R. Gupta et al., "Sequencing and analysis of a South Asian-Indian personal genome," *BMC Genomics*, vol. 13, no. 1, p. 1, 2012, doi: 10.1186/1471-2164-13-440.
- [11] P. Devi et al., "Prevalence, risk factors and awareness of hypertension in India: A systematic review," *J. Hum. Hypertens.*, vol. 27, no. 5, pp. 281–287, 2013, doi: 10.1038/jhh.2012.33.
- [12] B. P. Patel, N. Gupta, R. K. Karn, and Y. . Rana, "Optimization of Association Rule Mining Apriori Algorithm Using ACO," *Int. J. Emerg. Technol.*, vol. 2, no. 1, pp. 87–92, 2011.
- [13] S. K. S, S. K. S, K. C. Akshay, A. Prabhu, and B. K. M, "Improved Aprori Algorithm Based on bottom up approach using Probability and Improved Aprori Algorithm Based on bottom up approach using Probability and Matrix," no. March 2012, 2016.
- [14] J. Matematika and F. Universitas, "ASOSIASI DATA MINING MENGGUNAKAN ALGORITMA FP-GROWTH UNTUK MARKET BASKET ANALYSIS Fathimah Fatihatul , Atje Setiawan , Rudi Rosadi," pp. 1–8.
- [15] A. N. Sagin and B. Ayvaz, "Determination of Association Rules with Market Basket Analysis: Application in the Retail Sector," *Southeast Eur. J. Soft Comput.*, vol. 7, no. 1, 2018, doi: 10.21533/scjournal.v7i1.149.
- [16] N. Network, P. Unit, T. Delay, P. Pembelajaran, and N. N. Proses, : "Single-Layer Neural Network : Multilayer Perceptron Neural Network : Recurrent Neural Networks : Supervised Learning Masukan Proses Pembelajaran," *Image (Rochester, N.Y.)*, pp. 1–5.
- [17] T. Kutuzova and M. Melnik, "Market basket analysis of heterogeneous data sources for recommendation system improvement," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 136, pp. 246–254, 2018, doi: 10.1016/j.procs.2018.08.263.
- [18] S. F. Rodiyansyah, "Algoritma Apriori untuk Analisis Keranjang Belanja pada Data Transaksi Penjualan," *Infotech*, vol. 1, no. 1, pp. 36–39, 2015.
- [19] G. Karahan Adalı and M. E. Balaban, "Elektrik Malzemeleri Sektöründe R ve Shiny ile Pazar Sepet Analizine Yönelik Dinamik Bir Uygulama," *Bilişim Teknol. Derg.*, pp. 93–102, 2019, doi: 10.17671/gazibtd.448245.
- [20] R. Fitria, W. Nengsih, and D. H. Qudsi, "Implementasi Algoritma FP-Growth Dalam Penentuan Pola Hubungan Kecelakaan Lalu Lintas," *J. Sist. Inf.*, vol. 13, no. 2, p. 118, 2017, doi: 10.21609/jsi.v13i2.551.