



Artikel Penelitian

## Analisis Ketersediaan Pasokan Listrik di PT PLN (Persero) UPK Teluk Sirih dengan Metoda Lean Six Sigma

Muhammad Dani Gitatisna<sup>1)</sup>, Agus Sutanto<sup>2)</sup>\*

<sup>1)</sup> Mahasiswa Program Magister Teknik Mesin Universitas Andalas, Karyawan PT PLN (Persero) UPK Teluk Sirih

<sup>2)</sup> Jurusan Teknik Mesin Universitas Andalas, Kampus Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

\*Corresponding Author

### INFORMASI ARTIKEL

#### Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 17 Maret 2021

Revisi Akhir: 05 April 2021

Diterbitkan Online: 28 April 2021

### KATA KUNCI

Faktor Ketersediaan Ekuivalen (EAF)

Lean Six Sigma

Pemborosan

Metode DMAIC

Pembangkit Listrik Tenaga Uap

### KORESPONDENSI

E-mail: [agussutanto@eng.unand.ac.id](mailto:agussutanto@eng.unand.ac.id)

### ABSTRACT

This research was conducted to analyze electricity supply availability from the steam power plant at PLN Teluk Sirih. This electricity supply availability is also called the equivalent availability factor (EAF). The regular efforts made to maintain the EAF at PLN are still corrective, by repairing the damage that has occurred, and no systematic method has been implemented. Accurate analysis is required to achieve high EAF values and precision so that the problem's root cause can be resolved. This can be done by using the lean six sigma method. This method can identify waste and solve problems quickly. The methodology used is Define, Measure, Analyze, Improve, and Control (DMAIC). The waste that occurs is a defect, which is the inability of the power plant to supply electricity to customers (PLN P3BS). The identification results show that the factors that influence EAF are boiler tube leak (41.46%), DS Phase S (20.45%), equipment vibration (5.85%), bottom ash system (5.39%), and other disorders (26.84%). The EAF calculation for the last two years is 70.93%, and the six sigma level is 2.05. The improvement design is expected to eliminate boiler tube leak and increases the EAF by 6.65%. Thus, the EAF value becomes 77.85%, and the six sigma level becomes 2.26.

## 1. PENDAHULUAN

Listrik merupakan kebutuhan yang sangat penting dalam kehidupan sehari-hari. Listrik biasa menggunakan untuk hal-hal yang sederhana seperti menyalakan lampu, menonton televisi, mengisi baterai *handphone*, mendinginkan makanan, mencuci dan sebagainya. Namun dalam proses memproduksi listrik tidak sederhana, terkadang membutuhkan proses yang kompleks dan sering kali terjadi gangguan dalam produksi listrik. Gangguan dalam produksi listrik dapat menyebabkan terganggunya pasokan listrik ke rumah tangga, industri dan fasilitas umum. Salah

satu penyebabnya adalah terjadinya gangguan di sistem pembangkitan, seperti pada pembangkit listrik tenaga uap. Pembangkit listrik tenaga uap dalam proses memproduksi listrik membutuhkan bahan bakar yaitu batubara, kemudian batubara dibakar di dalam *furnace* untuk menghasilkan uap untuk memutar turbin dan generator sehingga menghasilkan listrik.

Analisa dan pengambilan keputusan yang tepat dalam rangka meningkatkan kehandalan pasokan listrik dari pembangkit perlu dilakukan karena proses produksi listrik pada pembangkit cukup kompleks. Berdasarkan data historis tahun 2019,

faktor ketersediaan ekuivalen (EAF) pembangkit listrik di UPK Teluk Sirih sebesar 63% [1]. Sedangkan kondisi yang harus dicapai berdasarkan KPI EAF UPK Teluk Sirih Tahun 2020 sebesar 78% [1]. Pencapaian EAF PLTU Batubara dengan beban yang sama di Amerika Utara sudah mencapai 85% [2]. Gap yang ada terhadap kondisi aktual sekarang ini masih memiliki potensi yang besar untuk ditingkatkan dengan melakukan perbaikan dan efisiensi yang menyeluruh. Salah satu analisa yang dapat dipakai adalah metode *Lean Six Sigma*. Penerapan metode ini berfokus untuk mengeleminasi kecacatan (*defect*), dalam kasus pembangkit listrik adalah ketidakmampuan dalam memasok listrik yang dibutuhkan. Metode *Lean Six Sigma* berfokus untuk mempercepat proses, mengurangi cacat (*defect*) dan variabilitas proses, mengurangi biaya, meningkatkan kepuasan pelanggan dan meningkatkan keuntungan [3]. Dengan tahapan DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve* dan *Control*) yang dikenal dalam metode *Lean Six Sigma*, diharapkan faktor ketersediaan pembangkit listrik meningkat.

## 2. METODOLOGI

Metodologi penelitian yang digunakan bersifat kualitatif, dimana penelitian dilakukan dengan melakukan pengambilan data terhadap durasi waktu status pembangkit, mengenai detail gangguan yang terjadi yang didapat dari sistem komputer DCS, *manual book*, spesifikasi peralatan maupun wawancara dengan operator yang terlibat di lapangan. Penelitian dilaksanakan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. *Define*: tahapan ini akan diidentifikasi *project* yang akan diambil dengan diagram pareto. Dengan cara ini diketahui penyebab-penyebab yang mempengaruhi faktor ketersediaan ekuivalen pembangkit listrik paling dominan.
2. *Measure*: tahapan ini dilakukan pengukuran pencapaian EAF dan level *six sigma* selama 2 tahun terakhir. Selain itu dapat juga dihitung potensi perbaikan EAF, nilai *six sigma* dan besar *saving* (COPQ), setelah dilakukan *project* ini. Dalam pelaksanaan *project* diperlukan pengambilan data yang spesifik

untuk dapat dilakukan analisa pada tahapan berikutnya.

3. *Analyze*: berdasarkan data yang telah dikumpulkan sebelumnya, kemudian dilakukan analisa akar penyebab gangguan dengan menggunakan analisis pohon kesalahan. Penyusunan dilakukan dengan melakukan *workshop* yang dihadiri oleh semua bagian terkait. Akar penyebab gangguan kemudian dilakukan validasi *critical X's* dan analisis tingkat risiko.
4. *Improve*: akar penyebab masalah dicarikan solusi penyelesaian dengan menggunakan *lean tools*. Daftar solusi kemudian di *ranking* berdasarkan dampak perbaikan, tingkat kemudahan dan biaya yang dibutuhkan. Selain itu, dibuat juga rencana pelaksanaan solusi/*improve plant*.
5. *Control*: perbaikan yang telah dilakukan sebelumnya dikendalikan, sehingga perbaikan yang telah dicapai dapat dipertahankan, tidak menjadi masalah berulang dan sebagai dasar untuk peningkatan lebih lanjut.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

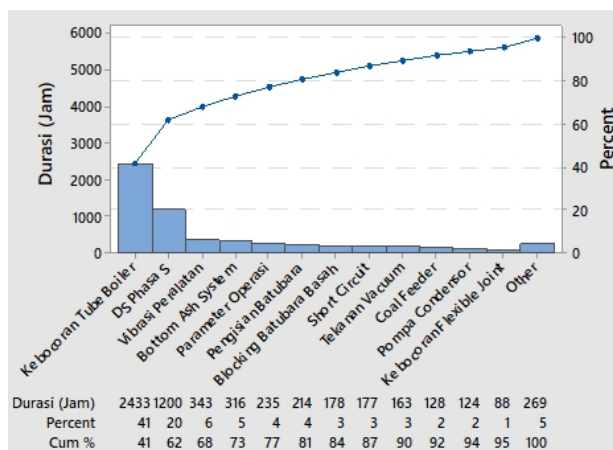
### 3.1. Define

Hasil yang diperoleh pada tahapan *define* adalah 4 kondisi operasional pembangkit yaitu:

1. Unit siap operasi, namun tidak disinkronkan karena kebutuhan beban rendah (RSH).
2. Unit telah dijadwalkan untuk dilakukan pemeliharaan (*maintenance*) sebelumnya dalam rencana tahunan pemeliharaan pembangkit baik itu dalam kondisi keluar sistem maupun *derating* (POH, MOH, PEH, MEH, EMDH, EPDH).
3. Unit keluar dari sistem atau *derating* dikarenakan permasalahan yang penyebabnya diluar tanggung jawab manajemen perusahaan pembangkit tersebut (OMC dan FOH<sub>omc</sub>).
4. Unit keluar karena adanya permasalahan peralatan sehingga menyebabkan keluar sistem atau *derating* secara paksa, baik diperlukan atau tidak diperlukan oleh sistem (FOH dan EFDH).

*Lean* selalu melihat nilai produk dari sudut pandang pelanggan, dimana nilai sebuah produk didefinisikan sebagai sesuatu yang mau dibayar oleh pelanggan [4], [5]. Dalam hal ini pelanggan pembangkit tenaga listrik adalah jaringan transmisi (PLN P3BS), sedangkan produk yang tidak dibayar oleh pelanggan adalah kecacatan (*defect*). Kemampuan pembangkit dalam memasok listrik merupakan parameter utama kehandalan pembangkit tersebut dan biasa disebut dengan faktor ketersediaan ekuivalen (EAF).

Faktor yang tidak mengurangi EAF pembangkit listrik sesuai dengan Protap Deklarasi Kondisi Pembangkit dan Indeks Kinerja Pembangkit Sumatera tahun 2018 adalah dikarenakan sistem kelistrikan atau yang penyebabnya diluar tanggung jawab manajemen perusahaan (Poin 1 dan 3). Sedangkan yang mengurangi EAF adalah yang disebabkan karena gangguan internal pembangkit dan pemeliharaan yang sudah direncanakan sebelumnya dalam rencana tahunan (Poin 2 dan 4). Dalam hal ini peralatan mesin pembangkit memiliki waktu jam operasi, dimana harus dilakukan pemeliharaan ketika sudah melewati jam operasi, sehingga kegiatan pemeliharaan sudah direncanakan sebelumnya dan harus dilakukan. Berbeda dengan gangguan yang terjadi secara tiba-tiba sehingga menyebabkan unit keluar sistem atau derating, sehingga menyebabkan nilai EAF turun cukup signifikan. *Project* yang akan diambil adalah gangguan yang paling besar menurunkan nilai EAF dalam hal ini adalah durasi lama gangguan dalam jam.

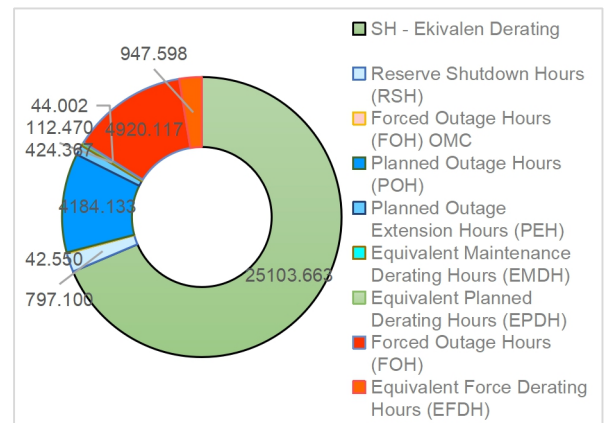


Gambar 1. Diagram Pareto Gangguan PLTU Teluk Sirih

Gambar 1 menunjukkan gangguan yang paling besar adalah gangguan kebocoran *tube boiler*, diikuti dengan gangguan DS *Phasa S*, gangguan vibrasi peralatan dan seterusnya. *Project* yang akan diambil pada tahapan *Define* adalah untuk mengatasi gangguan kebocoran *tube boiler*.

### 3.2. Measure

Hasil pada tahapan *Measure* adalah mendapatkan pencapaian nilai EAF saat ini dan potensi peningkatan nilai EAF setelah dilakukan perbaikan. Selain itu dilakukan pengumpulan semua data teknis yang diperlukan untuk dilakukan analisis pada tahap selanjutnya. Hasil perhitungan data rekonsiliasi antara PLN UPK Teluk Sirih dengan PLN P3BS selama 2 tahun terakhir dapat dirangkum menjadi durasi waktu status pembangkit seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Komposisi Durasi Waktu Status Pembangkit

Jumlah jam operasi unit pembangkit tersambung ke jaringan transmisi, baik pada kondisi operasi normal maupun kondisi derating (*Service Hours*) adalah jumlah jam periode waktu tersebut dikurangi dengan total jam status pembangkit *outage* yang terjadi pada periode waktu tersebut. Sehingga jam operasi pembangkit adalah sebesar 26.207,73 jam. Maka dihitung nilai EAF sebagai berikut:

$$AH = SH + RSH + OMC$$

$$AH = 26.207,73 \text{ jam} + 797,10 \text{ jam} + 42,55 \text{ jam}$$

$$AH = 27.047,38 \text{ jam}$$

Sehingga EAF,

$$EAF = \frac{AH - (EFDH + EMDH + EPDH + ESEDH)}{PH} \times 100\%$$

$$EAF = \frac{27.047,38 \text{ jam} - (947,60 + 112,47 + 44,0) \text{ jam}}{36.576 \text{ jam}} \times 100\%$$

$$EAF = 70,93 \%$$

Level *six sigma* dapat ditentukan dengan membandingkan pencapaian nilai EAF dengan nilai sigma sehingga didapatkan nilai sigma saat ini adalah 2,05. Sesuai diagram pareto pada tahap *define*, gangguan kebocoran *tube boiler* memiliki kontribusi durasi lama gangguan terbesar yakni 2.432,74 jam. Potensi kenaikan nilai EAF dan *six sigma*, serta pengurangan *losses* perusahaan (COPQ) (Tabel 1) dapat dihitung sesuai data rekonsiliasi.

Tabel 1. Durasi dan COPQ gangguan kebocoran *tube boiler*

No	Tanggal	Status	Durasi outage/ equivalent (jam)	Losses (Rp) (DMN × durasi × transfer price × 1.000 KWh)
1	24/05/19 - 04/06/19	FO1	256,4	23.056.417.449
2	10/06/19 - 01/07/19	FO1	486,3	43.719.989.912
3	01/06/19	FD	0,5	48.025.771
4	01/06/19 - 14/06/19	FO1	317,1	28.504.372.600
5	02/09/19 - 12/09/19	FO1	246,2	22.136.438.225
6	22/05/20	FD	0,7	62.887.340
7	22/05/20 - 02/06/20	FO1	270,8	25.062.559.156
8	22/08/20	FD	0,5	44.108.941
9	22/08/20 - 05/09/20	FO1	316,9	29.324.227.625
10	06/10/20 - 22/10/20	FO1	390,1	36.100.018.281
11	25/10/20	FD	2	187.819.602
12	25/10/20 - 01/11/20	FO1	145,17	13.434.358.438
<b>Total durasi (jam)</b>			2.432,7	
<b>COPQ (Rp)</b>			221.681.223.341	

Kenaikan nilai EAF dapat dilakukan dengan mengurangi durasi jam gangguan kebocoran *tube boiler* sebagai berikut:

$$SH = 26.207,73 \text{ jam} + 2.429,02 \text{ jam}$$

$$SH = 28.636,75 \text{ jam}$$

$$EFDH = 947,60 \text{ jam} - 3,72 \text{ jam}$$

$$EFDH = 943,88 \text{ jam}$$

Maka AH,

$$AH = 28.636,75 \text{ jam} + 797,10 \text{ jam} + 42,55 \text{ jam}$$

$$AH = 29.476,4 \text{ jam}$$

Sehingga EAF,

$$EAF = \frac{AH - (EFDH + EMDH + EPDH + ESEDH)}{PH} \times 100\%$$

$$EAF = \frac{29.476,4 \text{ jam} - (943,88 + 112,47 + 44,0) \text{ jam}}{36.576 \text{ jam}} \times 100\%$$

$$EAF = 77,58 \%$$

Nilai EAF mengalami kenaikan cukup signifikan sebesar 6,65%, dengan nilai sigma naik menjadi 2,26. Selain itu juga diperlukan pengumpulan data berupa spesifikasi peralatan, parameter operasi, kronologis terjadinya gangguan dan sebagainya untuk dilakukan analisa pada tahapan selanjutnya.

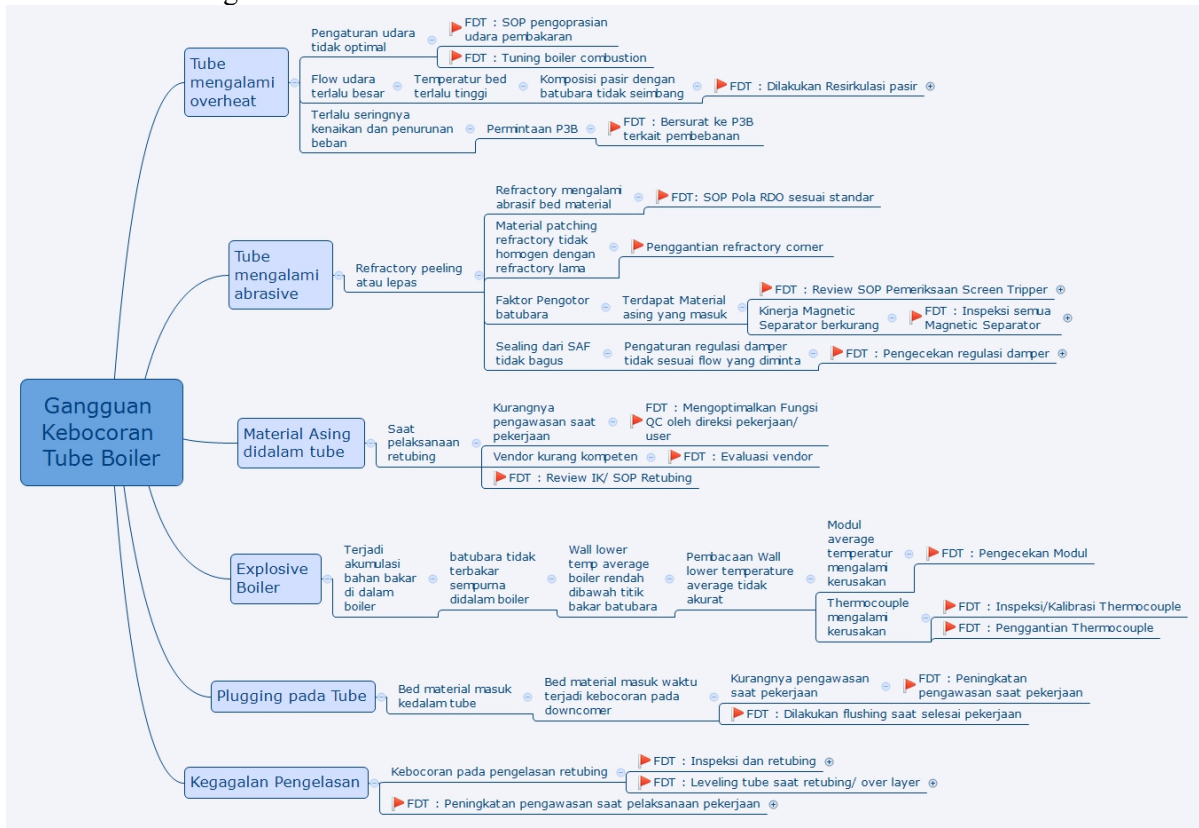
### 3.3. Analyze

Hasil yang diperoleh pada tahapan *Analyze* adalah faktor-faktor penyebab gangguan yang didapatkan menggunakan analisis pohon kesalahan/*fault tree analysis* (Gambar 3) berdasarkan data yang telah diambil sebelumnya dengan melakukan *workshop* yang dihadiri oleh semua bagian terkait. Penyusunan FTA menggunakan aplikasi *software* XMind, dimana faktor-faktor penyebab disusun secara logis dan tergambar dalam bentuk diagram pohon yang menggambarkan hubungan logis antara faktor penyebab tersebut dengan peristiwa kegagalan.

Setelah dilakukan penyusunan analisis pohon kesalahan, langkah selanjutnya melakukan validasi *critical X's* (Tabel 2). *Critical X's* merupakan penyebab utama terjadinya gangguan *tube boiler*. Validasi *critical X's* memeriksa penyebab (X) terjadinya gangguan *tube boiler* apakah benar-benar terjadi atau hanya merupakan asumsi/tidak terjadi dengan memberikan bukti. Faktor *critical X's* yang didapat merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi gangguan *tube boiler*, dimana secara keseluruhan dapat mengurangi faktor ketersediaan listrik sebesar 6,65%. Faktor *critical X's* kemudian dihitung secara kualitatif dengan kriteria kemungkinan sangat kecil, kecil, sedang, besar dan sangat besar serta pengaruh dari faktor

critical X's tersebut dengan kriteria dampak tidak signifikan, minor, medium, signifikan dan sangat signifikan. Perhitungan berdasarkan kriteria

kemungkinan dan dampak dapat dilihat pada pemetaan tingkat risiko (Gambar 4).



Gambar 3. Fault Tree Analysis (FTA) dengan menggunakan software XMind

Tabel 2. Critical X's validation

No	Critical X's	Eviden	Kesimpulan
1	Tube overhear	Ketebalan tube menipis dan terjadi deformasi	Valid
2	Komposisi pasir dengan batubara tidak seimbang	Pressure bed >12 kPa	Valid
3	Permintaan P3BS	Order P3BS sering RL	Valid
4	Refractory mengalami abrasi bed material	Refractory lepas	Valid
5	Material patching refractory tidak homogen	Terdapat crack pada refractory	Valid
6	Terdapat material asing yang masuk	Ditemukan material asing pada furnace	Valid
7	Pengaturan regulasi damper tidak sesuai flow yang diminta	Terdapat perbedaan regulasi damper di lokal dan DCS	Valid
8	Kurangnya pengawasan saat pekerjaan	Tidak ada personel mengawasi vedor bekerja	Valid
9	Modul average temperatur rusak	Modul average rusak	Valid
10	Thermocouple mengalami kerusakan	Thermocouple rusak	Valid
11	Bed material masuk waktu terjadi kebocoran	Ditemukan bed material dalam tube boiler	Valid

12	Kebocoran pada pengelasan retubing	Keboboran pada sambungan tube boiler	Valid
----	------------------------------------	--------------------------------------	-------

TINGKAT KEMUNGKINAN	Sangat Besar	E	E.1	E.2	E.3	E.4	E.5	1	2
	Besar	D	D.1	D.2	D.3	D.4	D.5	4	5
								11	6
	Sedang	C	C.1	C.2	C.3	C.4	C.5	8	
	Kecil	B	B.1	B.2	B.3	B.4	B.5	9	10
	Sangat Kecil	A	A.1	A.2	A.3	A.4	A.5		
			1	2	3	4	5		
	Ekstrem Tinggi	Tidak Signifikan	Minor	Medium	Signifikan	Sangat Signifikan			
		TINGKAT DAMPAK							

Gambar 4. Pemetaan Tingkat Risiko dari Faktor Critical X's

### 3.4. Improve

Hasil pada tahapan *improve* adalah solusi yang disajikan berdasarkan FDT (*Failure Defense Task*) hasil *workshop* pembahasan FTA. Penentuan

solusi menggunakan *lean tools* seperti *Standardized Works*, *Kaizen*, *Quick Fix* dan sebagainya (Tabel 3). Daftar-daftar solusi diberikan nilai dan *ranking*, kemudian dibuat *Improve Plan* yang memuat informasi tentang rencana pelaksanaan solusi.

Tabel 3. *Solution selection*

No	Critical X's	Analysis tools	Solution	High impact		Easy to fix				Score total (9 = quick)	Rank	
				Financial benefit (9: high)	Internal/external customer satisfaction (9: high)	Improve efficiency (9: more efficient)	Probability of success (9: high)	Project simplicity (9: project simple)	Cost for implementation (9 = low)			Time for implementation (9 = quick)
1	Pengaturan udara tidak optimal	Standardized work	SOP pengoprasian udara pembakaran	9	9	9	9	3	3	3	45	4
		Kaizen	Tuning boiler combustion	9	9	9	9	3	3	3	45	4
2	Komposisi pasir dengan batubara tidak seimbang	Quick fix	Dilakukan resirkulasi pasir	9	9	9	9	6	9	9	60	1
3	Permintaan P3BS	-	Bersurat ke P3B terkait pembebanan	9	9	9	3	9	9	9	57	2
4	Refractory mengalami abrasi bed material	Standardized work	SOP pola RDO sesuai standar	9	9	9	9	6	9	6	57	2
5	Material patching refractory tidak homogen dengan refractory lama	Kaizen	Penggantian refractory corner	9	9	9	9	3	3	9	51	3
6	Terdapat material asing yang masuk	Standardized work	SOP pemeriksaan screen tripper	9	9	9	9	6	9	6	57	2
		Quick fix	Inspeksi semua magnetic separator	9	9	9	9	6	9	9	60	1
7	Pengaturan regulasi damper tidak sesuai flow yang diminta	Quick fix	Perbaiki regulasi damper	9	9	9	9	9	9	6	60	1
8	Kurangnya pengawasan saat pekerjaan	Standardized work	Optimalisasi fungsi QC oleh direksi pekerjaan	9	9	9	6	9	9	9	60	1
9	Modul average temperatur mengalami kerusakan	Quick fix	Perbaiki modul	9	9	9	9	9	6	9	60	1
10	Thermocouple mengalami kerusakan	Quick fix	Kalibrasi thermocouple	9	9	9	9	6	6	9	57	2
		Quick fix	Penggantian thermocouple	9	9	9	9	9	6	6	57	2
11	Bed material masuk waktu terjadi kebocoran pada downcomer	Standardized work	Dilakukan flushing saat selesai pekerjaan	9	9	9	9	6	9	9	60	1
12	Kebocoran pada pengelasan retubing	Quick fix	Inspeksi dan retubing	9	9	9	9	9	6	9	60	1
		Kaizen	Leveling tube saat retubing/overlay	9	9	9	9	9	6	9	60	1

### 3.5. Control

Hasil pada tahapan *Control* berupa pengendalian terhadap perbaikan yang telah dicapai guna menjaga dan mencapai target *six sigma*. Beberapa hal yang dilakukan kontrol pada tempat pekerjaan untuk menjaga perbaikan yang telah dicapai yaitu:

- Pelaksanaan SOP pengoperasian udara pembakaran.

- Pelaksanaan SOP pola RDO sesuai standar.
- Pelaksanaan SOP Pemeriksaan *screen tripper*
- Pelatihan tim QC.
- Lebih banyak dilakukan supervisi.
- Pelaksanaan pekerjaan oleh *welder* dan inspektur *welder* bersertifikat

### 3.6. Pembahasan

*Tube boiler* berada di dalam ruang pembakaran, sehingga tidak bisa dilakukan perbaikan secara *online* saat unit beroperasi. Hal yang bisa dilakukan adalah dengan menjaga umur dari usia *tube boiler* tersebut. Penyebab yang paling berpengaruh adalah pola pengoperasian pembakaran pada *boiler*. Material *tube boiler* adalah SA 210 A1, memiliki temperatur operasi yang aman pada 723 °C-900 °C. Salah satu penyebab kerusakan pada *tube boiler* dikarenakan panas berlebih (*overheat*) yang terkonsentrasi pada satu titik di atas temperatur 900 °C [6]. Pada saat *tube* pecah, air keluar dengan sangat cepat dan terbentuk struktur *Ferrit Widmanstatten* dan kekerasan bagian dalam *tube* meningkat dikarenakan terjadi proses *quenching* sebagian [7]. Oleh sebab itu pola pengoperasian yang tepat dan *tuning boiler combustion* diperlukan untuk menjaga distribusi temperatur dalam *boiler* merata dan tidak terjadi *overheat* yang terkonsentrasi.

Kegagalan pada *tube boiler* juga bisa disebabkan karena kososi oksigen (*oxygen pitting*). Korosi ini disebabkan oleh adanya kandungan oksigen yang berlebih pada air *boiler*. Molekul oksigen akan terlokalisasi pada suatu titik tertentu dan mengoksidasi besi pipa pada titik tersebut. Hasil korosi yang ditimbulkan tidak tetap menempel pada area sebelumnya, akan tetapi molekul Fe(OH)<sub>2</sub> akan terlarut ke dalam air dan meninggalkan jejak berupa lubang kecil (*pitting*) pada permukaan pipa [8]. Selain itu, korosif juga dapat disebabkan karena adanya deposit senyawa kaustik (NaOH). Hal ini bisa terjadi dikarenakan terdapat reaksi antara sodium hidroksida (NaOH) dengan besi membentuk sodium ferit (Na<sub>2</sub>FeO<sub>2</sub>). Sehingga ketebalan *tube* akan berkurang serta tidak mampu menahan tekanan air dalam *tube* dan pada akhirnya akan pecah [9]. Hal ini dapat dihindari dengan dilakukan kontrol pada instalasi pengolahan air (*water treatment plant*).

Pemodelan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dan studi numerik pembakaran pada *boiler* diperlukan untuk dapat dilakukan pengoperasian yang optimal dan *tuning boiler combustion*. Pemodelan akan menghasilkan setting pembakaran yang optimal dan mengurangi risiko terjadinya

*overheat* yang terkonsentrasi. Sebagai tambahan, model dapat juga mengevaluasi posisi dimana *overheat* akan sering terjadi. Sehingga dapat dilakukan monitoring yang ketat pada area tersebut dan dapat dilakukan pemilihan material baja paduan yang tepat [10]

### 3.7. Rekomendasi Hasil

Beberapa rekomendasi memerlukan beberapa tahapan supaya dapat dilakukan, misalnya pada rekomendasi peringkat keempat yaitu *tuning boiler combustion* dan dilakukan kontrol dengan pembuatan SOP pengoperasian udara pemakaran. Dimana dalam pelaksanaan rekomendasi ini diperlukan kajian dan simulasi aliran pembakaran *boiler* CFB.

Pengoperasian yang optimal akan dapat menjaga umur/*lifetime* dari usia *tube boiler* dan diharapkan dapat mengatasi masalah *overheat* pada *tube boiler*, dimana masalah ini merupakan faktor *critical X's* yang paling ekstrem. Panas berlebih (*overheat*) merupakan masalah yang paling umum terjadi pada *boiler*. Distribusi temperatur pada titik tertentu bagian *boiler* tidak homogen, sehingga terjadi panas berlebih pada titik tertentu dan menyebabkan kerusakan *tube boiler* [6][10][11]. Hal ini dikarenakan faktor pengaturan udara pembakaran kurang optimal, baik dalam pengaturan udara pembakaran maupun jumlah *flow* batubara pada masing-masih *coal feeder*.

## 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Metode *Lean Six Sigma* sudah dapat mengidentifikasi, menemukan cara yang sistematis untuk mengeliminasi kecacatan dan memberikan rekomendasi dalam memperbaiki proses untuk meningkatkan faktor ketersediaan ekuivalen (EAF). Dengan metode ini, faktor-faktor yang mempengaruhi nilai EAF dapat diketahui yaitu gangguan *tube boiler* (41,46%), gangguan DS *Phasa S* (20,45%), gangguan vibrasi peralatan (5,85%), gangguan *bottom ash system* (5,39%) dan gangguan lainnya (26,84%). Potensi peningkatan faktor ketersediaan ekuivalen pembangkit listrik PLTU Teluk Sirih apabila dapat mengeliminasi

gangguan *tube boiler* adalah sebesar 6,65%. Sehingga nilai EAF akan naik menjadi 77,58%, dengan level six sigma menjadi 2,26 dan potensi *saving* sebesar Rp. 221 Milyar. Dengan metode yang sistematis, telah dihasilkan beberapa rekomendasi berdasarkan dampak perbaikan, tingkat kemudahan dan biaya yang dibutuhkan.

Tabel 4. Rekomendasi hasil

Peringkat 1	Peringkat 2	Peringkat 3	Peringkat 4
1. Melakukan resirkulasi pasir	1. Bersurat ke P3BS terkait pembebanan	1. Penggantian <i>refractory corner</i>	Pekerjaan kajian dan simulasi aliran pembakaran boiler CFB untuk:
2. Inspeksi seluruh <i>magnetic separator</i>	2. SOP Pola RDO sesuai standar		1. <i>Tuning boiler combustion</i>
3. Perbaikan regulasi <i>damper</i>	3. SOP pemeriksaan <i>screen tripper</i>		2. SOP Pengoperasian udara pembakaran
4. Optimalisasi fungsi QC oleh direksi pekerjaan/ user	4. Kalibrasi <i>thermocouple</i>		3. Dasar bersurat ke P3BS terkait pembebanan
5. Perbaikan modul <i>average temperature</i>	5. Penggantian <i>thermocouple</i>		
6. Melakukan <i>flushing</i> saat selesai pekerjaan			
7. Inspeksi dan <i>retubing</i>			
8. <i>Levelling tube/overlayer</i>			

**DAFTAR PUSTAKA**

[1] Staff Analyst Kinerja, “Laporan Kinerja dan Pengusahaan Desember 2019 & Kontrak Manajemen Tahun 2020,” Dept. Enjiniring, Padang, Sumatera Barat, 2020.

[2] NERC, “Electronic GADS Generating Availability Report”, The North American Electric Reliability Corporation, Atlanta, Georgia, 2012.

[3] Y. Obergfell, “Six Sigma,” *Six Sigma Revealed*, 2nd ed. Wollerau, Switzerland, International Six Sigma Institute, 2014, ch. 3, sec. 1, pp. 10.

[4] S.L. Furterer, “Lean Six Sigma Case Study Goals,” *Lean Six Sigma in Service - Applications and Case Studies*, 1st ed. Boca Raton, CRC Press, 2009, ch. 1, sec. 3, pp. 1-2.

[5] Adriyansyah, A. Sutanto and B. Yuliandra, “Aplikasi konsep produksi ramping untuk memperbaiki efisiensi pengolahan minyak kelapa sawit”, *Jurnal Energi dan Manufaktur*, Vol. 11 No.2, pp. 36-41, Oktober, 2018

[6] S.K. Dhua, “Metallurgical investigation of failed boiler water-wall tubes received from a thermal power station,” *Engineering Failure Analysis*, Vol. 17, No. 7, pp. 1572-1579, Oktober, 2010.

[7] S.S. Prabu, A. Choudhary, N. Mittal, S. Gupta, D. Ramkumar and A. Natarajan, “Failure evaluation of SA 210C riffle water wall tubes in 70MW CFBC boiler,” *Engineering Failure Analysis*, Vol. 95, pp. 239–247, Januari, 2019.

[8] C.A. Duarte, E. Espejo and J.C. Martinez, “Failure analysis of the wall tubes of a water-tube boiler,” *Engineering Failure Analysis*, Vol. 79, pp. 704–713, September, 2017.

[9] Y.S. Kim, W.C. Kim and J.G. Kim, “Bulging rupture and caustic corrosion of a boiler tube in a thermal power plant,” *Engineering Failure Analysis*, Vol. 104, pp. 560–567, Oktober, 2019.

[10] C. Yu, W. Xiong, H. Ma, J. Zhou, F. Si, X. Jiang and X. Fang, “Numerical investigation of combustion optimization in a tangential firing boiler considering steam tube overheating,” *Applied Thermal Engineering*, Vol. 154, pp. 87–101, Mei, 2019.

[11] M. Nad, Z. Jegla, T. Létal, P. Lošák and J. Buzik, “Thermal load non-uniformity estimation for superheater tube bundle damage evaluation,” *MATEC Web of Conferences*, Vol. 157, no. 2033, Maret, 2018.