

ANALISIS EFEK KEGAGALAN PADA PERFORMA CIRCULATING WATER PUMP BERBASIS FMEA (*FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS*)

Irfan Arif Evendi, Rizkyansyah Alif Hidayatullah, Alviani Hesthi Permata Ningtyas
Jurusan Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Muhammadiyah Gresik
Prodi Teknologi Pemeliharaan Pesawat Udara. Teknik Mesin. Politeknik Negeri Malang
irfanarifevendi@gmail.com, rizkyansyah.alif@polinema.ac.id, alvianihesthi@umg.ac.id

Abstrak

Circulating Water Pump (CWP) merupakan salah satu komponen pada sistem PLTGU yang berfungsi untuk memompa air untuk dialirkan ke kondensor dan *Cooling Water Haet Exchanger* (CWHE), sehingga apabila terjadi kegagalan pada CWP dapat menghambat operasional sistem PLTGU dan mempengaruhi produksi listrik yang dihasilkan karena tidak adanya suplai pendidikan ke sistem PLTGU. Perawatan yang dapat dilakukan untuk meningkatkan performa *Circulating Water Pump* (CWP) yaitu dengan *maintenance overhaul* yang dilakukan setahun sekali. Untuk mengetahui penyebab kegagalan CWP dilakukan inspeksi, sehingga dapat dianalisa kegagalan apa yang terjadi serta dampak dari kegagalan tersebut. Dalam kegiatan *maintenance overhaul* juga perlu disertai analisis perbandingan performa sebelum dan setelah dilakukan *overhaul*. Pada laporan kerja praktik ini dilakukan perhitungan efisiensi siklus sebelum dan setelah *overhaul* di PLTGU Unit 4 PT. PLN NUSANTARA POWER UP Gresik. Dari hasil perhitungan sebelum *overhaul* sebesar 34,11%. Dan setelah dilakukan *overhaul* mengalami peningkatan sebesar 1,5% sehingga efisiensi siklus menjadi sebesar 35,61. Sedangkan untuk analisis kegagalan pada CWP berdasarkan nilai probabilitas, kondisi kegagalan CWP 3A yang paling dominan dipengaruhi oleh 4 kondisi antara lain, komponen memerlukan *maintenance* sesuai dengan *lifetime* 26%, tekanan *discharge* rendah 16%, kerusakan *gland packing* 16%, dan kerusakan *bearing* motor 16%.

Kata kunci : *Circulating Water Pump* (CWP) *maintenance*, *overhaul*, kegagalan, performa, PLTGU.

Abstract

The Circulating Water Pump (CWP) is one of the components in the PLTGU system which functions to pump water to be flowed to the condenser and *the Cooling Water Haet Exchanger* (CWHE), so that if there is a failure in the CWP, it can hinder the operation of the PLTGU system and affect the production of electricity produced due to the absence of educational supply to the PLTGU system. Maintenance that can be done to improve the performance of *the Circulating Water Pump* (CWP) is by *overhaul maintenance* which is carried out once a year. To find out the cause of the CWP failure, an inspection was carried out, so that it could be analyzed what failure occurred and the impact of the failure. *Maintenance overhaul activities* also need to be accompanied by a comparative analysis of performance before and after the *overhaul* is carried out. In this practice work report, the calculation of cycle efficiency before and after *overhaul* at PLTGU Unit 4 PT. PLN NUSANTARA POWER UP Gresik. From the results of the calculation before *the overhaul* of 34.11%. And after the *overhaul* was carried out, it increased by 1.5% so that the cycle efficiency became 35.61. As for the failure analysis on CWP based on probability values, the most dominant CWP 3A failure condition is influenced by 4 conditions, including, components requiring *maintenance* in accordance with *lifetime* 26%, *low discharge pressure* 16%, *gland packing damage* 16%, and motor *bearing* damage 16%.

Keywords: *Circulating Water Pump (CWP) maintenance, overhaul, failure, performance, PLTGU*

1. PENDAHULUAN

Circulating water pump (CWP) merupakan komponen esensial dalam berbagai sistem industri, termasuk pembangkit listrik. Di perusahaan PLN Nusantara Power, keandalan Low Pressure Boiler Circulating Pump (LPBCP) pada sistem Heat Recovery Steam Generator (HRSG) sangat berpengaruh terhadap efisiensi dan kontinuitas operasi pembangkit listrik. LPBCP berfungsi sebagai penggerak utama sirkulasi air bertekanan rendah yang mendukung proses pemulihan panas. Gangguan atau kegagalan pada pompa ini dapat berdampak signifikan, seperti penurunan efisiensi termal, gangguan operasional, serta peningkatan biaya perawatan.

Dalam sistem HRSG, LPBCP menghadapi tantangan operasional seperti tekanan termal tinggi, fluktuasi beban, serta risiko keausan komponen. Mode kegagalan yang umum mencakup kerusakan pada impeller, kebocoran seal, serta keausan bantalan. Kegagalan ini, jika tidak ditangani secara proaktif, dapat memicu penghentian operasi tak terjadwal yang berdampak pada penurunan daya listrik yang dihasilkan.

Untuk memastikan keandalan sistem, diperlukan analisis yang komprehensif terhadap potensi kegagalan LPBCP. Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) merupakan metode analitis yang efektif untuk mengidentifikasi mode kegagalan, mengevaluasi dampak pada performa sistem, dan menentukan langkah mitigasi yang diperlukan. Dengan penerapan FMEA, potensi risiko kegagalan dapat diminimalkan, efisiensi perawatan ditingkatkan, dan keberlanjutan operasi pembangkit listrik dapat terjaga.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efek kegagalan pada performa Low Pressure Boiler Circulating Pump berbasis FMEA di PLN Nusantara Power. Hasil penelitian ini diharapkan memberikan rekomendasi berbasis data untuk meningkatkan keandalan sistem LPBCP pada HRSG, sekaligus memberikan kontribusi pada efisiensi operasional perusahaan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis efek kegagalan pada Low Pressure Boiler Circulating Pump (LPBCP) dalam sistem Heat Recovery Steam Generator (HRSG) di perusahaan PLN Nusantara Power. Pendekatan penelitian menggunakan metode Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), yang dirancang untuk mengidentifikasi mode kegagalan, mengevaluasi dampaknya pada performa sistem, dan menentukan langkah mitigasi yang diperlukan.

1. Pendekatan Penelitian

Penelitian ini bersifat deskriptif kuantitatif dengan tahapan analisis yang sistematis berdasarkan langkah-langkah FMEA. Data primer dan sekunder dikumpulkan melalui pengamatan langsung, wawancara dengan operator, serta analisis dokumen terkait performa dan pemeliharaan LPBCP.

2. Lokasi dan Objek Penelitian

Penelitian dilakukan di unit pembangkit PLN Nusantara Power yang menggunakan sistem HRSG. Objek penelitian adalah LPBCP yang berfungsi sebagai komponen kunci dalam sirkulasi fluida pada sistem tersebut.

3. Tahapan Penelitian

Mengumpulkan data teknis mengenai LPBCP, termasuk spesifikasi, kondisi operasi, dan riwayat kegagalan. Kemudian mendokumentasikan data pemeliharaan dan hasil inspeksi sebelumnya. Dilanjutkan dengan melakukan wawancara dengan teknisi dan operator untuk memahami masalah operasional yang sering terjadi. Identifikasi Mode Kegagalan dilakukan dengan menggunakan diagram proses sistem HRSG untuk memetakan fungsi utama LPBCP. Mengidentifikasi potensi mode kegagalan berdasarkan riwayat kerusakan dan panduan dari

manufaktur pompa. Penilaian Risiko FMEA dengan menentukan tiga parameter utama untuk setiap mode kegagalan:

- a. Severity (tingkat keparahan)
 - b. Occurrence (frekuensi kejadian)
 - c. Detection (kemampuan mendeteksi kegagalan)
- Menghitung Risk Priority Number (RPN) dengan rumus:
 $RPN = \text{Severity} \times \text{Occurrence} \times \text{Detection}$

Setelah mengjitung nilai RPN, menganalisis mode kegagalan dengan nilai RPN tertinggi untuk menentukan prioritas perbaikan. Kemudian menyusun matriks prioritas risiko berdasarkan hasil analisis FMEA. Mengusulkan tindakan mitigasi berdasarkan hasil FMEA, seperti perubahan prosedur pemeliharaan, peningkatan desain komponen, atau pelatihan operator. Mengevaluasi dampak dari penerapan rekomendasi secara hipotetis terhadap RPN.

4. Teknik Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis secara kuantitatif untuk menghitung RPN dan menentukan mode kegagalan prioritas. Hasil analisis disajikan dalam bentuk tabel, diagram, dan rekomendasi praktis yang dapat diterapkan untuk meningkatkan keandalan sistem LPBCP.

3. Analisis dan Pembahasan

Tabel 1. Merupakan tabel kegagalan dan analisis efek Circulating water pump dimana menjelaskan tentang kegagalan yang sering terjadi pada LP-BCP.

No	Sub Equipment	Mode kegagalan	Efek Kerusakan	Penyebab kerusakan	Tindakan saat ini	Rekomendasi
1	impeller	Aus akibat kavitasi	Efisiensi pompa turun	- Level air laut surut	- PM- pemeriksaan dan suara - PdM- pengukuran vibrasi (dilakukan di motor)	
		Aus akibat <i>lifetime</i>	Efisiensi pompa turun	- <i>Performan ce</i> pompa dibawah batas efisiensi. - Penyarin ga n pada Bar <i>screen</i> kurang maksimal	- PM- pemerksaan vibrasi dan suara - PdM- pengukuran vibrasi - OH- pengecekan impeller	

2	<i>Shaft</i>	<i>Bent</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Vibrasi tinggi - Pompa membut 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Misalign m ent</i> - <i>Rubbing</i> pada 	<ul style="list-style-type: none"> - PM- pengecekan vibrasi dan suara 	-
			<ul style="list-style-type: none"> - uhkan daya yang tinggi 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>bearing</i> - <i>Rubbing</i> pada <i>impeller wear ring</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - PdM- pengukuran vibrasi - OH- pengecekan <i>impeller</i> 	
		<i>Crack</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Vibrasi meningkat - Bending Patah 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Stress corrotion crackin g</i> - Perlakuan saat <i>overhaul</i> - <i>Thermal shock</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - PM- pengecekan vibrasi dan suara - PdM- pengukuran vibrasi - OH- pengukuran shaft dengan <i>Vblock</i> dan <i>dial indikator</i> 	
3	<i>Coupling</i>	<i>Misalignme nt</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Vibrasi motor meningkat 	<ul style="list-style-type: none"> - Instalasi tidak pas 	<ul style="list-style-type: none"> - PdM pengukuran vibrasi - OH Pemeriksaan <i>coupling</i> 	
		Kegagalan <i>Fatigue</i> pada <i>coupling</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Vibrasi pompa naik 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Run time/lifeti me</i> - <i>Axial thust</i> tinggi - <i>Misalign m ent</i> - <i>Star stop</i> pompa 	<ul style="list-style-type: none"> - PdM (pengukuran vibrasi) - OH=pemeriksaan <i>coupling</i> 	
4	<i>Gland packing</i>	Aus	<ul style="list-style-type: none"> - Efisiensi pompa turun 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Life time</i> - Torsi pengencangan tidak pas 	<ul style="list-style-type: none"> - PM - <i>Visual check</i> - Pengencangan <i>gland packing</i> OH - Penggantian <i>gland packing</i> 	

5	<i>Casing Impeller / suction bell</i>	Korosi/penipisan menurun	- Kapasitas menurun	Korosi air laut Katodic Protection tidak berfungsi	Penggantian Katodic protection tiap OH	
6	<i>Wear ring (perapat)</i>	Aus	- Efisiensi pompa turun	- <i>Misalignment</i> - <i>Rubbing</i> dengan <i>Casing</i> dan <i>Impeller</i>	Penggantian <i>Wear Ring</i>	
7	<i>Delivery Bend</i>	<i>Crack</i>	- Air laut bocor - Kolom <i>shaft</i> tidak lurus	- Posisi tumpuan saat <i>diss-assembly</i> maupun <i>assembly</i> <i>Bend</i> tidak tepat	OH - Pengecekan <i>kondisi delivery bend</i> - Pengelasan <i>dilevery bend</i> yang <i>crack</i>	
8	<i>Motor-bearing</i>	<i>Bearing</i> aus	- Vibrasi tinggi Efisiensi pompa turun	- <i>Life time</i> Pemasangan tidak pas	PM - Periksa temp <i>Bearing</i> - Periksa pelumas tambah bila perlu PdM - Pemeriksaan virasi OH - Pemeriksaan saat <i>overhaul</i>	- <i>Assesment</i> motor CWP

Pada gambar 1 dibawah ini terdapat diagram tulang ikan yang mengindikasi penyebab terjadinya masalah pada CWP 3A non aktif.



Gambar 1. Fishbone diagram dugaan penyebab terjadinya masalah *Circulating Water Pump 3A* Nonaktif

Pada tahap ini dilakukan analisis probabilitas terhadap data *maintenance* selama 14 tahun terakhir, yaitu dimulai pada tahun 2004 hingga 2018 berdasarkan kondisi operasi CWP 3A,

terlebih dahulu data *maintenance* tersebut diidentifikasi dan di klasifikasi antara kondisi penyebab dan perlakuan. Kemudian dilakukan probabilitas dengan membandingkan frekuensi terjadinya dengan total kondisi yang dapat dilihat lebih lanjut. Hasil probabilitas kondisi yang menyebabkan CWP 3A nonaktif ditampilkan pada Fishbone Diagram (Tulang Ikan).

Tabel 2. Probabilitas Kondisi Penyebab CWP 3A Nona

Tabel 3 Perhitungan dan pengurutan nilai RPN (*Risk Priority Number*)

NO	Potensial failure mode	Potensial cause	Saverity Rating	Occurance Rating	Detection Rating	RPN	Probabilitas
1	Tekanan <i>Suction</i> turun	- Filter tersumbat - Kebocoran refrigeran	2	1	3	6	5%
2	Tekanan <i>Discharge</i> rendah (<i>abnormal</i>)	- Keboran refrigeran - Kompresor lemah atau rusak	6	3	3	54	16%
3	Kebocoran oli	- Seal yang rusak atau aus - Keasan pada bearing	6	1	3	18	5%
4	Kurangnya tahanan pada motor	- Kerusakan pada <i>bearing</i> - Kerusakan pada komponen elektronik atau kontrol - Kondisi operasional yang ekstrim atau tidak teratur	4	1	3	12	5%
5	Stainer rusak	- Penumpukan kotoran berlebihan - Tekanan air yang tinggi atau variabel	7	1	5	35	16%
6	Rubber bearing aus	- Penggunaa berlebih Atau <i>Overload</i> - Kerurangnya pelumasan yang tepat	3	1	5	15	5%
7	Kerusakan bearing motor	- <i>Life time</i> - Pemasangan tidak pas	7	3	5	105	16%

NO	Equipment	Mode Kegagalan	Efek Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Tindakan Saat ini		
1	CWP	Tekanan suction turun	<ul style="list-style-type: none"> - Kavitasi - Penurunan kinerja pompa 	<ul style="list-style-type: none"> - Filter tersumbat - Kebocoran refrigeran 	<ul style="list-style-type: none"> - Periksa kebocoran refrigeran - Pembersihan atau penggantian filter udara 		
		Tekanan discharge rendah	<ul style="list-style-type: none"> - Tekanan efisiensi pendingin - Pengoperasian kompresor yang tidak efisien 	<ul style="list-style-type: none"> - Kebocoran refrigeran - Kompresor lemah atau rusak 	<ul style="list-style-type: none"> - Periksa kebocoran refrigeran - Evaluasi kinerja kompresor 		
		Kebocoran oli	<ul style="list-style-type: none"> - Penurunan efisiensi pompa - <i>overheating</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - Seal yang rusak atau aus - Keasan pada bearing 	<ul style="list-style-type: none"> - Identifikasi sumber kebocoran - Periksa dan ganti seal - Periksa dan ganti <i>bearing</i> 		
		Kurangnya tahanan pada motor	<ul style="list-style-type: none"> - Overcurrent (arus berlebihan) - <i>Overheating</i> (Panas berlebih) 	<ul style="list-style-type: none"> - Kerusakan pada <i>bearing</i> - Kerusakan pada komponen elektronik atau kontrol - Kondisi operasional yang ekstrim atau tidak teratur 	<ul style="list-style-type: none"> - Matikan motor dan pompa - Periksa Pelumasan - Periksa sistem pendingin 		
8	Kerusakan <i>Gland Paking</i>	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Life Time</i> - Torsi kekenencangan tidak pas 	7	3	4	84	16%

	Strainer rusak	<ul style="list-style-type: none"> - Penurunan kualitas masukan - Penyumbatan pipa 	<ul style="list-style-type: none"> - Penumpukan kotoran berlebihan - Tekanan air yang tinggi atau variabel 	<ul style="list-style-type: none"> - Periksa dan evaluasi kerusakan - Evaluasi kotoran di sekitar strainer
	Rubber bearing aus	<ul style="list-style-type: none"> - Kerusakan pada seal dan <i>bearing</i> - Peningkatan gesekan dan panas 	<ul style="list-style-type: none"> - Penggunaa berlebih Atau <i>Overload</i> - Kurangnya pelumasan yang tepat 	<ul style="list-style-type: none"> - Periksa dan evaluasi kerusakan - Ganti rubber bearing - Periksa sistem pelumasan
	Kerusakan bearing motor	<ul style="list-style-type: none"> - Vibrasi tinggi - Efisiensi pompa turun 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Life time</i> - Pemasangan tidak pas 	<ul style="list-style-type: none"> - Periksa temp <i>bearing</i> - Periksa pelumas tambah bila perlu - Pemeriksaan virasi - Pemeriksaan saat <i>overhaul</i>
	Kerusakaan pada gland packing	<ul style="list-style-type: none"> - Efisiensi pompa turun 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Life Time</i> - Torsi kekenencangan tidak pas 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Visual check</i> - Pengencangan <i>gland packing</i> - Penggantian <i>gland packing</i>
	Komponen memerlukan maintenance sesuai dengan <i>lifetime</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Kebocoran - penurunan performa 	<ul style="list-style-type: none"> - Keausan - Korosi - Overloading - Kontaminasi 	<ul style="list-style-type: none"> - Identifikasi Masalah Spesifik - Evaluasi Umur Pakai dan Sejarah Perawatan - Perbaikan atau

								Penggantian Komponen - Implementasi Perawatan Preventif yang Ditingkatkan - Monitoring dan Evaluasi Lanjutan
9	Komponen memerlukan maintenance sesuai dengan <i>lifetime</i>	- Keausan - Korosi - Overloading Kontaminasi	8	5	6	24	0	26%
Total			50	19	34	56	9	100%

Berdasarkan Tabel 3 dapat dilihat bahwa terdapat 4 (empat) kondisi yang memiliki probabilitas dengan nilai dominan dibandingkan dengan kondisi yang lain, sehingga berpeluang besar untuk terjadi Empat kondisi yang menyebabkan CWP 3A nonaktif adalah komponen memerlukan maintenance sesuai dengan lifetime (26%), tekanan discharge rendah (16%), kerusakan gland packing (16%), dan kerusakan bearing motor (16%). Akan tetapi kondisi di mana komponen memerlukan maintenance sesuai dengan lifetime tidak dilakukan analisis lebih lanjut, karena pada kondisi tersebut tidak termasuk kegagalan. Akan tetapi tetap diperhitungkan karena menjadi penyebab komponen CWP 3A dinonaktifkan Pada kondisi itu akan dilakukan tindakan overhaul sehingga komponen harus dinonaktifkan, jika lifetime komponen sudah mencukupi jam operasi yang telah diukur. Tindakan overhaul dilakukan secara menyeluruh baik dalam kondisi rusak maupun sebaliknya. Hal ini dilakukan atas pertimbangan bahwa terjadinya kerusakan ditengah jalan akan menimbulkan kerugian biaya, tenaga, dan waktu. Sehingga analisis lebih lanjut akan dilakukan pada 3 (tiga) kondisi, yaitu tekanan discharge rendah, kerusakan gland packing, dan kerusakan bearing motor.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa inspeksi pemeliharaan atau *maintenance* pada turbin uap dan *circulating water pump* penting dilakukan untuk menghindari terjadinya kegagalan dan kerusakan. Menemukan suatu tingkatan yang menunjukkan gejala kerusakan sebelum alat-alat produksi mengalami kerusakan yang fatal. *Maintenance* juga penting dilakukan guna menjaga keandalan dan performa turbin uap dan *circulating water pump*. Berdasarkan nilai probabilitas, kondisi kegagalan *circulating water pump* 3A yang paling dominan dipengaruhi oleh 4 kondisi antara lain, komponen memerlukan *maintenance* sesuai dengan *lifetime* 26%, tekanan *discharge* rendah 16%, kerusakan *gland packing* 16%, dan kerusakan *bearing* motor 16%. Melakukan pemilihan material yang baik sesuai dengan kondisi

operasi, tetap menjaga waktu pemeliharaan sesuai jadwalnya untuk mempertahankan nilai keandalan komponen, performa dan agar laju kegagalannya tidak berada dalam fase *wear out*, serta menjaga kualitas proses agar selalu berjalan sesuai dengan spesifikasi sehingga komponen turbin uap dan *circulating water pump* dapat menyuplai proses pembangkitan listrik PLTGU dengan baik.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hussin, H., Ahmed, U., & Muhammad, M. (2016). Faktor penentu keberhasilan analisis akar penyebab kegagalan. *Jurnal Sains dan Teknologi India* , 9 (48), 1-10.
- [2] INSTRUKSI KERJA PT PLN NUSANATARA POWER.
- [3] Industri, (2019). ANALISA KEGAGALAN PADA SHAFT MESIN CIRCULATING WATER PUMP DI PEMBANGKIT LISTRIK DI PT. X.
- [4] Putro, A. T. A. (2021). *ANALISA PERBAIKAN DAN UNJUK KERJA UNIT SCREEN WASH PUMP DENGAN PENDEKATAN LEAN TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE DI PT. UBJOM PLTU REMBANG* (Doctoral dissertation, Universitas Sultan Agung).
- [5] Riqzi, (2016). Pengoperasian PLTGU.
- [6] Roonprasang, N., Namprakai, P., & Pratinthong, N. (2009). Pompa air termal baru untuk mensirkulasikan air dalam sistem pemanas air tenaga surya. *Teknik termal terapan* , 29 (8-9), 1598-1605.
- [7] Sania, S. V. I. (2019). *ANALISIS KEANDALAN DAN KUALITAS PROSES CIRCULATING WATER PUMP PADA INDUSTRI PEMBANGKIT LISTRIK (STUDI KASUS: PLTU UNIT 3, PT PJB UP GRESIK)* (Doctoral dissertation, Universitas Internasional Semen Indonesia).
- [8] UNIT, M. D. P., & GRESIK, P. ANALISA PERBANDINGAN PERFORMA TURBIN UAP SEBELUM DAN SETELAH OVERHAUL PADA BEBAN 175.
- [8] VivekPrabhu, M., Karthick, R., & Kumar, GS (2014). Optimalisasi Efektivitas Peralatan Secara Keseluruhan dalam Sistem Manufaktur. *Jurnal Internasional Penelitian Inovatif dalam Sains, Teknik dan Teknologi* , 3 (3), 1192-1196.
- [9] Yuliarty, P. (2015). Pemeliharaan Circulating Water Pumps Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) Blok 1 PT. Pembangkit Jawa Bali Unit Pembangkit Muara Karang. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 3(2)