

ANALISA KEGAGALAN MATERIAL SA-210C PADA APLIKASI BOILER STEAM PIPE

Andi Rinaldi Hasan
Pasca Sarjana Teknik Mesin Universitas Trisakti
Email : andi.rinaldi@indonesiapower.co.id

Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui penyebab kegagalan pipa pada ketel uap daerah super jenuh (superheat). Metode penelitian diawali dengan pengumpulan data kronologi kegagalan material, pengumpulan data operasi dan pengambilan sampel material. Setelah pengambilan sampel material dilakukan, untuk selanjutnya dilakukan foto fisik material gagal, pengukuran ketebalan, pengujian kekerasan, pengujian metalografi dan perhitungan tekanan internal pipa. Hasil penelitian menunjukkan, bagian luar pipa telah mengalami korosi erosi karena adanya pengurangan ketebalan pada pipa, terutama lokasi 1. Pengurangan ketebalan disebabkan semburan uap bantu bertekanan tinggi dari peralatan sootblower yang berlangsung lama pada permukaan pipa dilokasi 1, sehingga menghasilkan reaksi $Fe + O \rightarrow FeO$. FeO yang terbentuk diawal akan terlepas akibat semburan uap bantu bertekanan tinggi dan pada saat yang sama semburan uap bantu bereaksi kimia kembali membentuk FeO. Karena proses yang berulang-ulang, maka secara perlahan ketebalan pipa berkurang. Akibat penipisan tersebut, pipa mencapai nilai kritis sehingga tidak mampu menahan tekanan dari dalam pipa dan akhirnya mengalami kegagalan/ pecah. Faktor kegagalan tersebut, didukung dengan beberapa data kualitas air ketel uap dan tekanan operasi terus menerus dari sootblower yang mempengaruhi terjadinya korosi erosi. Perubahan struktur mikro juga berpengaruh terhadap penurunan kekerasan pada material yang dapat dilihat dari ukuran dan bentuk butir.

Kata kunci: ketel uap, kegagalan, korosi erosi, pengujian material, perhitungan tekanan internal pipa yang diizinkan

Pendahuluan

Saat ini Indonesia mengalami permasalahan energi yang cukup serius, antara lain kurangnya pasokan listrik. Hal ini menyebabkan seringnya pemadaman bergilir yang terjadi, terutama diluar pulau Jawa. Terus meningkatnya kebutuhan listrik Indonesia terjadi sejalan dengan peningkatan pertumbuhan ekonomi nasional, dengan perkiraan pertumbuhan mencapai 7,3% pertahun selama 10 tahun, terhitung dari 2009-

2019[Muchlis, 2004].

Sementara itu potensi batubara Indonesia sebagai bahan bakar pembangkit sekitar 105 milyar ton, namun 60% (54,6 milyar ton) adalah batubara muda yang memiliki nilai kalor rendah dengan nilai kalor ≤ 4000 kkal/kg. Pemanfaatan langsung batubara jenis ini sebagai bahan bakar Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) akan sangat mahal karena membutuhkan ukuran ketel uap (*boiler*) yang lebih besar sebagai pembangkit listrik. Disamping itu juga akan dihasilkan emisi CO₂ yang jauh lebih besar per kilowatt energi output dibandingkan dengan batubara kalori menengah atau dengan batubara kalori tinggi.

Sejalan dengan komitmen pemerintah untuk meningkatkan taraf kehidupan rakyat melalui suplai energi listrik yang andal, murah dan menyeluruh, maka pada tahun 2006 telah dikeluarkan Peraturan Presiden No. 71 yang menugaskan Perusahaan Listrik Negara (PLN) untuk membangun pembangkit listrik dengan Jalur Program Percepatan 10,000 MW tahap-1 dan 10,000 MW tahap-2. Pada pembangunan tahap-1, secara keseluruhan terdiri dari PLTU berbahan bakar batubara, sedangkan tahap-2 didominasi pembangunan pembangkit listrik energi terbarukan, yakni Pembangkit Listrik Tenaga Panas bumi (PLTP), Pembangkit Listrik Tenaga Gas-Uap (PLTGU) dan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA).

PLTU Lontar, merupakan salah satu proyek pembangunan PLTU tahap-1 dengan desain dan manufaktur ketel uap berasal dari Cina. Permasalahan yang sering dijumpai pada ketel

uap ditemukannya kebocoran pipa pada ketel uap tersebut. Penelitian ini dilakukan untuk

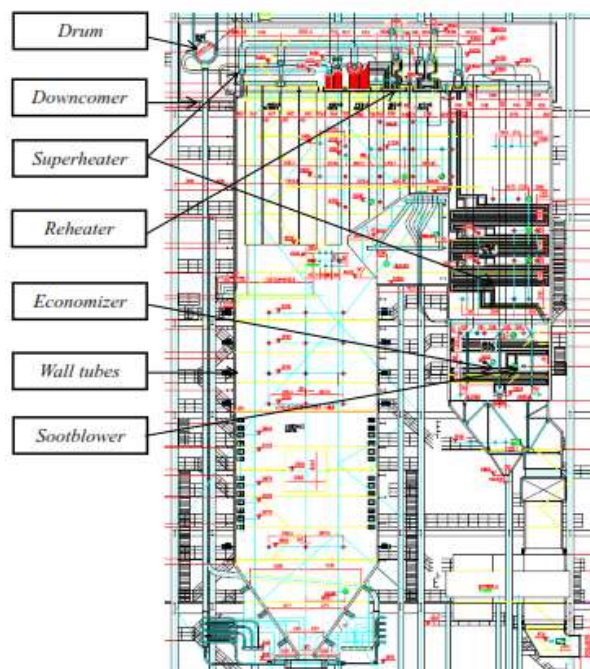
analisa kegagalan yang terjadi disalah satu unit

PLTU Lontar tersebut.

Bahan Dan Metoda

2.1. Diskripsi Objek Studi Ketel Uap Dengan Kapasitas 300 MW.

Gambar 1 memperlihatkan bagian-bagian ketel uap dengan kapasitas 300 MW sesuai desain.



Gambar 1. Bagian-bagian ketel uap dengan kapasitas 300 MW (Design Case)

Siklus yang terjadi pada PLTU ini adalah sebagai berikut.

Uap hasil produksi boiler dengan temperatur dan tekanan tertentu digunakan untuk memutar turbin uap sehingga menghasilkan daya mekanik dan selanjutnya dikopel langsung dengan generator listrik. Terdapat 3 tingkat turbin uap yaitu turbin tekanan tinggi (HPT), turbin tekanan menengah (IPT) dan turbin tekanan rendah (LPT). Uap panas dari boiler pertama kali digunakan untuk memutar HPT. Setelah keluar dari HPT uap panas dipanaskan lagi di reheater dan kemudian dialirkan ke IPT. Setelah dari IPT, uap panas langsung menuju LPT.

Pembangkit ini mempunyai konfigurasi *Feed Water Heater* (FWH) 3 – 1 – 4 yaitu 3 FWH pada tekanan tinggi, 1 deaerator dan 4 FWH pada tekanan rendah. Dari LPT, uap dikondensasikan di dalam kondensor memakai air pendingin yang berasal dari air laut. Setelah uap terkondensasi menjadi air kondensat, air kondensat dialirkan menuju LP heater oleh pompa kondensat untuk dipanaskan,

kemudian masuk ke *deaerator*. Dari *deaerator* air tersebut dipanaskan kembali di HP heater melalui BFP (Boiler Feed Pump). Setelah dari HP heater, air tersebut masuk ke *economizer* lalu ke *water drum*. Demikian siklus terjadi secara terus-menerus dan berulang-ulang, sehingga siklus ini dinamakan siklus tertutup.

2.2. Kategori Kegagalan Pada Pipa Ketel Uap

2.2.1. Tekanan pecah

Tekanan pecah umumnya dikarenakan *overheating* yang dapat diartikan sebagai kegagalan yang disebabkan pengoperasian ketel uap pada temperatur diatas desain selama waktu tertentu. *Overheating* dihasilkan oleh kondisi yang abnormal seperti; hilangnya aliran pendingin atau temperatur ruang bakar ketel uap yang terlalu tinggi.

2.2.2. Temperatur mulur tinggi

Kerusakan akibat mulur, umumnya diawali retak aksial. Retak muncul pada arah aksial atau longitudinal tegak lurus dengan *principle hoop stress*.

2.2.3. Korosi

Permasalahan yang sering dijumpai pada pipa ketel uap pada area *superheater* adalah korosi (*water/fire side*) dan erosi^[3].

2.2.4. Korosi terlokalisasi

Korosi terlokalisasi merupakan bentuk korosi yang membentuk lubang-lubang kecil pada logam. Penyebab utama korosi ini adalah kurangnya oksigen disuatu daerah yang kecil, dimana daerah ini menjadi semakin anodik, sedangkan daerah dengan kelebihan oksigen, menjadi semakin katodik sehingga menimbulkan korosi galvanik yang terlokalisasi.

2.2.5. Degradasi mikrostruktur

Merupakan mekanisme kerusakan yang dapat mengakibatkan kegagalan dengan beberapa proses, seperti mulur (*creep*) dan lelah (*fatigue*), sehingga menyebabkan pengurangan kekuatan dari material.

2.2.6. Hydrogen damage

Hydrogen damage terjadi akibat berdifusinya atom hidrogen kedalam logam yang kemudian bereaksi dengan karbon dalam Fe₃C untuk membentuk metana, sehingga metana tersebut akan mengeleminasi pearlit yang ada. Karakteristik kegagalan yaitu terjadinya dekarburisasi dan retakan merambat dari *Internal Diameter* (ID) ke *Outer Diameter* (OD).

2.3. Metodologi

1. Pengumpulan data kronologi kegagalan material dan operasi berdasarkan data-data log sheet yakni data kualitas air ketel uap dan data operasi ketel; uap meliputi tekanan uap utama (main steam pressure), tekanan ruang bakar (furnance pressure) dan tekanan uap bantu saat pengoperasian soot blower.

2. Pengambilan sampel material untuk dilakukan foto fisik material gagal dan pengujian material.
3. Pengujian material dilakukan pada sampel material gagal dan sampel material standar untuk dapat ditemukan perbedaan antara kedua sampel material tersebut. Adapun pengujian material sampel ini, yaitu:
 - a. Pengukuran diameter dan ketebalan dengan menggunakan *micrometer*
 - b. Pengujian komposisi kimia material
 - c. Pengujian metalografi material
 - d. Pengujian keekrasan material
 - e. Perhitungan tekanan internal yang diizinkan akibat perubahan ketebalan
4. Perhitungan tekanan internal dilakukan untuk mengetahui tekanan maksimum yang diizinkan terhadap ketebalan suatu pipa berdasarkan persamaan berikut [ASME Boiler & Pressure Vessel Code, Section VIII, Division I, 2007].

$$tm = \frac{P \times D}{2 \times ((S \times Eq) + (P \times Y))} + c$$

dimana:

tm = tebal dinding pipa (in)

P = tekanan internal relatif (psig) D = diameter luar pipa(in)

Eq =faktor kualitas

S = tegangan yang diijinkan (hot stress), Y = koefisien sifat material

c=mechanical + corrosion+ erosion allowances □ 0.02 in

Adapun penentuan nilai faktor kualitas (Eq), tegangan yang diizinkan (S) dan koefisien sifat material (Y) ditentukan berdasarkan tabel standar untuk perhitungan tekanan internal.

5. Analisa data

Tabel 1. Data operasi ketel uap

Boiler Model	DG1025/17,4 - III3		
Manufacturer	XXXXXXXX		
Superheated Steam	Main Steam Press.	Mpa	17,4
	Main Steam Temp.	°C	540
	Main Steam Flow	t/h	1025
	Material	SA-210C	
Soothblower	Working pressure (Long SB)	MPa	1 - 1,3
	Temperature	°C	370
Reheated Steam	Reheat Inlet/Outlet Press.	MPa	3,73/ 3,58
	Reheat Inlet/Outlet Temp.	°C	329/ 540
	Material	12CrMoV	
Soothblower	Working pressure (Long SB)	MPa	0,8 - 1
	Temperature	°C	350
Parameter	Flue Gas Out Temp.	°C	150
	Feed Water Temp.	°C	274
	Feed Water Flow	t/h	840,5
	Drain Press.	MPa	18,75
Spray Water	1st Stage Super Heater	t/h	15,7
	2nd Stage Super Heater	t/h	3,95
	Reheater	t/h	8,5
Design Efficiency		%	93,3
Manufacture Years		Year	2009
First Synchon		Year	2011
Service date		Year	2
Failure	LT Superheater		Jan. 2011
Calorific Value of Coal	(As Received Basis)	Kcal/kg	3900-4500

Tabel 2. Data pemakaian air pengisi saat terjadi kegagalan

Ta n ggal	Load	MSP	MST	FWF (t/h)		
				Normal	Leak	Deviasi
16	250,81	14,83	533,59	737,83	760,52	22,69
17	250,31	14,33	537,59	737,83	763,97	26,14
18	250,26	14,58	533,55	736,34	765,62	29,28
19	250,28	14,83	532,55	737,45	762,93	25,48
20	252,74	14,58	535,53	740,50	768,98	28,48
21	253,16	15,33	534,53	743,12	771,48	28,36
22	250,37	14,75	533,53	739,51	767,87	28,36
23	250,95	14,8	534,55	741,15	784,17	43,02
24	STOP UNIT					

Tabel 3. Data sistem air penambahan saat terjadi kegagalan

Ta nggal	Load	MSP	MST	Ma ke-Up		
				Normal	Leak	Deviasi
16 Jan.	250,81	14,83	533,59	18,98	32,62	13,64
17 Jan.	250,31	14,33	537,59	19,12	35,53	16,41
18 Jan.	250,26	14,58	533,55	20,08	35,53	15,45
19 Jan.	250,28	14,83	532,55	21,99	42,02	20,03
20 Jan.	252,74	14,58	535,53	20,98	43,23	22,25
21 Jan.	253,16	15,33	534,53	23,87	45,66	21,79
22 Jan.	250,37	14,75	533,53	21,56	42,67	21,11
23 Jan.	250,95	14,8	534,55	20,71	53,68	32,97
24 Jan.	STOP UNIT					

Tabel 4. Data pemakaian batubara saat terjadi kegagalan

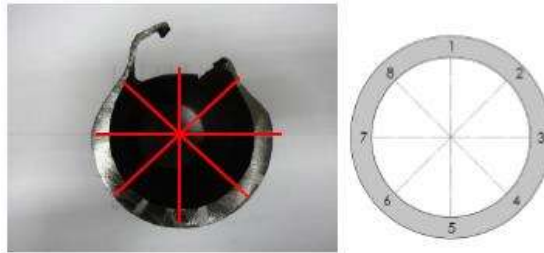
Ta nggal	Load	MSP	MST	Coal		
				Normal	Leak	Deviasi
16 Jan.	250,81	14,83	533,59	153,48	157,74	4,26
17 Jan.	250,31	14,33	537,59	156,48	165,88	9,40
18 Jan.	250,26	14,58	533,55	155,71	185,84	30,13
19 Jan.	250,28	14,83	532,55	160,74	166,16	5,42
20 Jan.	252,74	14,58	535,53	163,88	169,2	5,32
21 Jan.	253,16	15,33	534,53	165,48	179,2	13,72
22 Jan.	250,37	14,75	533,53	155,76	169,32	13,56
23 Jan.	250,95	14,8	534,55	165,72	173,27	7,55
24 Jan.	STOP UNIT					

Berdasarkan tabel 2-4 terlihat data-data sebelum terjadinya kegagalan material pada pipa ketel uap yang menunjukkan bahwa dengan beban listrik (MW) yang sama dihasilkan pembangkit dimulai tanggal 16 Januari, terlihat total pemakaian air pengisi, sistem air penambah dan pemakaian batubara yang lebih tinggi diatas normal. Hal ini ditunjukkan dari nilai deviasi yang ada beberapa hari sebelum diputuskan unit berhenti beroperasi (stop unit), dilanjutkan dengan inspeksi pada beberapa area ketel uap dan pemotongan material gagal untuk dibandingkan dengan material standar SA-210C.

Hasil Dan Pembahasan

3.1. Pengukuran diameter dan ketebalan

Pengukuran ketebalan pada sampel dilakukan searah jarum jam (*clockwise*) dengan titik awal dimulai dari lokasi 1-8 dengan menggunakan micrometer sebagai alat ukur.

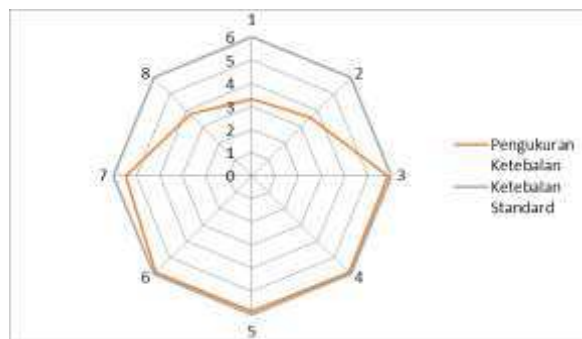


Gambar 1. Titik pengukuran ketebalan dan penentuan lokasi

Hasil pengukuran menunjukkan, pada lokasi

1 yang merupakan sampel terjadinya kegagalan material, mengalami pengurangan ketebalan yang paling tinggi, 2,69 mm diikuti pada lokasi 2 dan lokasi 8 dengan nilai pengurangan ketebalan

2,45 mm dan 2,24 mm. Adapun lokasi yang paling kecil mengalami pengurangan ketebalan terdapat pada lokasi 4 dan lokasi 6, dengan nilai pengurangan ketebalan 0,1 mm.



Gambar 2. Perubahan nilai ketebalan terhadap ketebalan standar

Perubahan ketebalan ini dianalisa akibat korosi erosi dari semburan uap bantu dalam pengoperasian sootblower dimana lokasi 1 merupakan lokasi pipa menerima secara langsung semburan uap bantu (auxiliary steam) dari sootblower.

Tabel 5. Laju korosi pada lokasi pengamatan

Lokasi	Ketebalan (mm)		Service Life (days)	Pengurangan Ketebalan (mm)	Laju Korosi (mm/day)
	t_1	t_0			
1	3,31	6	391	2,69	0,00688
2	3,55	6	391	2,45	0,00627
3	5,87	6	391	0,13	0,00033
4	5,9	6	391	0,1	0,00026
5	5,86	6	391	0,14	0,00036
6	5,9	6	391	0,1	0,00026
7	5,46	6	391	0,54	0,00138
8	3,76	6	391	2,24	0,00573

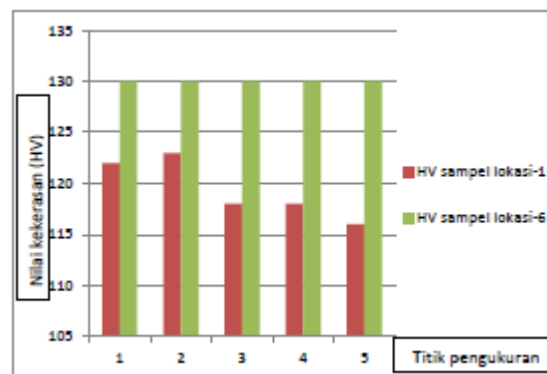
3.2. Pengujian komposisi kimia material

Tabel 6. Pengujian komposisi kimia sampel material gagal

Komposisi Material	Unit	SA-210C	Sampel
Carbon (C)	%	0.27	0.101
Silicon (Si)	%	0.10	0.335
Mangan (Mn)	%	0.93	0.591
Tembaga (Cu)	%	-	0.037
Nickel (Ni)	%	-	0.03
Molibidium (Mo)	%	-	0.262
Chrom (Cr)	%	-	0.931
Vanadium (Va)	%	-	0.218
Titanium (Ti)	%	-	0.002
Aluminium (Al)	%	-	0.04
Fosfor (P) max.	%	0.048	<0.003**
Sulfir (S) max.	%	0.058	<0.003**
*Pengujian	Standard	ASTM A751/ASTM E415	
	Mesin Uji	Optical Emission Spectrometer	

Berdasarkan tabel 6 ditunjukkan bahwa sampel material gagal memiliki nilai karbon (C) dan mangan (Mn) dibawah nilai standar desain SA-210C dengan selisih nilai 0,169% untuk karbon dan 0,339% untuk mangan.

3.3. Pengujian kekerasan sampel material gagal



Gambar 3. Pengukuran kekerasan sampel lokasi 1 dan sampel lokasi 6

Berdasarkan gambar 3 ditunjukkan nilai kekerasan sampel pada lokasi 1 lebih kecil dibandingkan nilai kekerasan pada lokasi 6, dengan selisih nilai rata-rata 10.6 HV. Perbedaan nilai kekerasan ini sangat dipengaruhi oleh persentase unsur karbon (C) dimana sampel pada lokasi 1 memiliki unsur karbon yang lebih kecil dibandingkan sampel pada lokasi 6.

3.4. Pengujian struktur mikro material

Hasil pengamatan gambar 4 untuk struktur *mikro* material standar (lokasi 6), yaitu:

- Struktur mikro ferrit
- Jumlah perlit (sementit dan ferrit) banyak
- Sedikit mikro crack
- Pengamatan ukuran butir perlit banyak dan halus



Gambar 4. Pengamatan struktur mikro dilokasi 6

Hasil pengamatan gambar 5 untuk struktur mikro material yang gagal (lokasi 1), yaitu:

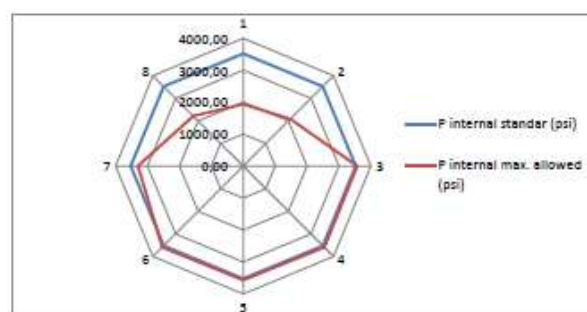
- Struktur mikro ferrit
- Pengamatan ukuran butir sementit besar dan banyak
- Pengamatan mikro crack banyak
- Pengamatan ukuran butir perlit sedikit dan tidak halus



Gambar 5. Pengamatan struktur mikro dilokasi 1

3.5. Perhitungan tekanan internal maksimum pada pipa

Penipisan akibat degradasi suatu material, mengakibatkan perubahan batasan operasi material tersebut menerima gaya atau tekanan maksimum, baik dari dalam maupun luar. Terjadinya korosi erosi pada masing-masing lokasi pipa, mengakibatkan terjadinya perubahan penipisan untuk itu dilakukan perhitungan tekanan internal maksimum^[2] yang diizinkan.



Gambar 6. Perhitungan tekanan internal maksimum akibat perubahan ketebalan

Berdasarkan perhitungan dapat dilihat bahwa tekanan internal maksimum untuk ketebalan pipa standar yaitu 3524.77 psi atau

24.30 MPa. Perubahan ketebalan pada lokasi 1 dengan kondisi pengukuran ketebalan 0.130083 inci hanya diizinkan mendapat tekanan internal maksimum sekitar 1938.57 psi atau 13.36 MPa. Kegagalan material SA-210C ini dianalisa akibat tekanan internal maksimum fluida yang melewati pipa pada lokasi 1 melebihi perhitungan yang diizinkan, dengan penyebab perubahan ketebalan masing-masing lokasi akibat korosi erosi.

Kesimpulan

Kegagalan material SA-210C sebagai pipa *superheater* karena korosi erosi. Penipisan ketebalan pipa dari 6 mm menjadi 2.69 mm (pada lokasi 1) menyebabkan pipa tidak mampu lagi menerima tekanan uap utama (*main steam pressure*), sehingga pipa mengalami kegagalan (*failure*). Korosi erosi yang terjadi dikarenakan kandungan oksigen (O) dari uap semburan *sootblower* bereaksi dengan unsur besi (Fe) pada permukaan pipa, sehingga terbentuknya senyawa FeO. Terbentuknya senyawa FeO pada pipa ini perlahan-lahan akan terlepas akibat semburan uap dari *sootblower* yang terus-menerus. Terbentuknya FeO dan terlepasnya FeO berulang-ulang pada permukaan pipa membuat pipa mengalami penipisan yang dikenal sebagai korosi erosi.

Daftar Pustaka

- Muchlis, Moch. (2004), *Proyeksi kebutuhan listrik PLN tahun 2003 s.d. 2020*.
- ASME (2007), *Boiler & Pressure Vessel Code Section VIII, Division I*.
- Electric Power Research Institute (EPRI) (1996), *Water chemistry fossil fuel power plant corrosion*.
- Chubu Electric Power (2011), *Thermal efficiency improvement of existing thermal power plants in foreign countries*.
- Purbolaksono, J. (2009), *Literative technique and finite element simulation for supplemental condition monitoring of water tube boiler*.
- Anne, Z., (2009), *Dasar-dasar analisa kegagalan*, Departemen Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- French, N. (1992), *Metallurgical failure in fossil fired boiler*, New York: Jhon Wiley & Sons,
- Inc.Viswanathan, R. (1993), *Damage mechanisme and life assesment of high temperature components*, ASM linternational.
- Zuliardie, R. (2004), *Hubungan besar butir dengan kekuatan dan kekerasan pada logam aluminium*, Jurnal R & B Vol. 4 No.1.
- Andi, R. (2013), *Korosi pada pembangkit thermal*, Departemen Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Agus, Suhartono (2004), *Pengaruh ukuran butir terhadap kuat fatik baja*, Prosiding semiloka teknologi simulasi dan komputasi serta aplikasi.