

PROSIDING SEMINAR NASIONAL TEKNOLOGI PENGELOLAAN LIMBAH XIV

TEMA SEMINAR

Pengembangan IPTEK Pengelolaan Limbah yang Inovatif,
Handal, berkelanjutan dan Berwawasan Lingkungan
Guna Meningkatkan Daya Saing Bangsa



05 Oktober 2016

Gedung IASTH Universitas Indonesia
Salemba – Jakarta

Penyelenggara



UNIVERSITAS INDONESIA

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif - BATAN
Dan
Program Studi Ilmu Lingkungan - UI

Diterbitkan Desember 2016

KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena atas karunia-Nya Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah XIV dapat diterbitkan. Seminar ini terselenggara atas kerjasama antara Pusat Teknologi Limbah Radioaktif - BATAN dengan Program Studi Ilmu Lingkungan – Universitas Indonesia. Seminar dengan tema “Pengembangan IPTEK Pengelolaan Limbah yang Inovatif, Handal, Berkelanjutan dan Berwawasan Lingkungan Guna Meningkatkan Daya Saing Bangsa” telah dilaksanakan pada tanggal 5 Oktober 2016 di Gedung IASTH It.3 Universitas Indonesia, Salemba.

Seminar diselenggarakan sebagai media sosialisasi hasil penelitian dan pengembangan di bidang limbah radioaktif dan non radioaktif. Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah XIV dijadikan sebagai media tukar menukar informasi dan pengalaman, ajang diskusi ilmiah, peningkatan kemitraan di antara peneliti, akademisi, dan praktisi industri, mempertajam visi pembuat kebijakan dan pengambil keputusan, serta peningkatan kesadaran kolektif terhadap pentingnya pengelolaan limbah yang inovatif, handal, berkelanjutan dan berwawasan lingkungan.

Prosiding ini memuat karya tulis dari berbagai hasil penelitian mengenai pengelolaan limbah radioaktif, industri dan lingkungan. Makalah telah melalui proses evaluasi dari tim editor. Makalah dikelompokkan menjadi empat kelompok, yaitu kelompok pengelolaan limbah, disposal, lingkungan, dan perundang-undangan. Makalah-makalah tersebut berasal dari para peneliti di lingkungan BATAN, BAPETEN dan BPPT serta dosen dan mahasiswa di lingkungan UI, UNDIP, dan UNS.

Semoga penerbitan prosiding ini dapat digunakan sebagai data sekunder dalam pengembangan penelitian dimasa akan datang, serta dijadikan bahan acuan dalam kegiatan pengelolaan limbah. Akhir kata kepada semua pihak yang telah membantu, kami ucapkan terima kasih.

Jakarta, Desember 2016

Kepala
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif
Badan Tenaga Nuklir Nasional

Ir. Suryantoro, MT

SUSUNAN TIM EDITOR

Ketua	:	Dr. Budi Setiawan	-	BATAN
Anggota	:	1. Dr. Sigit Santoso	-	BATAN
		2. Dr. Heny Suseno	-	BATAN
		3. Drs. Gunandjar, SU	-	BATAN
		4. Ir. Aisyah, MT	-	BATAN
		5. Dr. Djoko Hari Nugroho	-	BAPETEN
		6. Dr. Ir. Mohammad Hasroel Thayib, APU	-	UI
		7. Dr. Ir. Setyo Sarwanto Moersidik, DEA	-	UI

SUSUNAN PANITIA

Pengarah	:	1. Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional	- BATAN
		2. Ketua Program Studi Ilmu Lingkungan UI	- UI
Penanggung Jawab	:	Ir. Suryantoro, MT	- BATAN
Penyelenggara			
Ketua	:	Budiyono, ST	- BATAN
Wakil Ketua	:	Moch. Romli, S.ST, MKKK	- BATAN
Sekretaris	:	1. Enggartati Budhy Hendarti, A.Md	- BATAN
		2. Pricillia Azhani, STP., M.Si.	- UI
		3. Titik Sundari, A.Md	- BATAN
Anggota	:	1. Widya Handayani, SE	- BATAN
		2. Sugianto, ST	- BATAN
		3. Wezia Berkademi, SE, M.Si	- UI
		4. M. Nurhasim, S.ST	- BATAN
		5. Eri Iswayanti, A.Md	- BATAN
		6. Agustinus Muryama, ST	- BATAN
		7. Budi Arisanto, A.Md	- BATAN
		8. Azhar Firdaus, S.Sos.I, M.Si	- UI
		9. Risdiyana, A.Md	- BATAN
		10. Adi Wijayanto, ST	- BATAN
		11. Arifin Istavara, S.ST	- BATAN
		12. CH. Susiana Atmaja, A.Md	- BATAN
		13. Imam Sasmito	- BATAN
		14. Moh. Cecep Cepi H., S.ST	- UI
		15. Parjono, ST	- BATAN
		16. Siswanto	- BATAN
		17. Sariyadi	- BATAN
		18. Maulana	- BAPETEN
		19. Drs. Hendro	- BATAN
		20. Sunardi, ST	- BATAN
		21. Gatot Sumartono, ST	- BATAN
		22. Ir. Eko Madi Parmanto	- BATAN
		23. Alphana Fridia Cessna, ST., M.Si	- UI
		24. Rukiaty	- BATAN
		25. Ade Rustiadam, S.ST	- BATAN
		26. Ajrieh Setiawan, S.ST	- BATAN
		27. Suparno, A.Md	- BATAN
		28. Suhartono, A.Md	- BATAN

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	i
Susunan Tim Editor	ii
Susunan Panitia	iii
Daftar Isi	iv
1 Pengembangan Teknologi Pengolahan Limbah Radioaktif Pra-Disposal : Imobilisasi Limbah Radioaktif Uranium Menggunakan Abu Batubara Sebagai Bahan Matriks <i>Synroc</i> .. Gunandjar dan Yuli Purwanto	1
2 Pengelolaan Limbah Cair Dengan Pendekatan Konsep Eko-Efisiensi: Analisis Hubungan Antara Penerapan Program <i>Cleaner Production</i> Di Area Produksi Dengan Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL)	14
Wahyu Wikandari, Roekmijati Widaningroem Soemantojo, Tri Edhi Budhi Soesilo	
3 Pengolahan Limbah <i>Methylen Blue</i> Secara Fotokatalisis Dengan TiO ₂ Dimodifikasi Fe Dan Zeolit	29
Agus Salim Afrozi, Rahmat Salam, Auring R, Asep Nana S	
4. Kinerja Konsorsium Bakteri Dari Sungai Opak Yogyakarta Dalam Reduksi Nitrat Dengan Sumber Karbon Yang Berbeda	37
Hanies Ambarsari, Miswanto	
5. Pengelolaan Limbah Radioaktif Hasil Dekontaminasi Di Instalasi Produksi Radioisotop Paska Berhenti Operasi	45
Suhaedi Muhammad, Nazaroh, Rr.Djarwanti,RPS	
6. Pemanfaatan Limbah Oli Bekas Sebagai Bahan Bakar Pembantu Peledakan (ANFO) Pada Kegiatan Pertambangan Batubara (Kasus Pemanfaatan Limbah Oli Bekas di PT. JMB Group)	52
Danang Widiyanto	
7. Sistem Pemurnian Helium Pada Reaktor Daya Experimental (RDE) Tipe HTR-10.....	60
Aisyah, Yuli Purwanto	
8. Pengolahan Limbah Daun Jati Kering Dari Desa Leyangan, Ungaran Menjadi Pulp Kering Dengan Proses Soda	68
Linda Kusumaningrum, Heny Kusumayanti	
9 Pembuatan Zat Warna Alami Dari Buah Mangrove <i>Spesies Rhizophora Stylosa</i> Sebagai Pewarna Batik Ramah Lingkungan Dalam Skala Pilot Plan	76
Paryanto, Wusana Agung Wibowo, Moch Helmy Aditya	
10 Konsentrasi Faktor Pada Bioakumulasi Plutonium Oleh Siput Macan (<i>Babylonia Spirata L.</i>) Di Perairan Teluk Jakarta	82
Murdahayu Makmur , Muhammad Qowi Fikri, Defri Yona, Syarifah Hikmah JS	
11. Pengaruh Koefisien Distribusi ¹³⁷ Cs Pada Keselamatan Calon Tapak Fasilitas Disposasi Limbah Radioaktif	93
Budi Setiawan, Dadang Suganda	
12. Kajian Pengolahan Limbah Radioaktif Cair Menggunakan Beberapa Adsorben	105
Mirawaty, Gustri Nurliati	

13	Studi Eksperimen Difusi Boron Dalam Bentonit Terkompaksi Dalam Kondisi Reduksi Oleh Fe	113
	Mas Udi, Noria Ohkubo	
14	Pengolahan Limbah Uranium Cair Dengan Resin Anion Amberlite IRA-400 Cl Dan Imobilisasi Resin Jenuh Menggunakan Polimer	118
	Dwi Luhur Ibnu Saputra, Wati, Nurhayati	
15	Studi Pemanfaatan Zeolit Sebagai Bahan Penopang Asam Oksalat Untuk Dekontaminasi Permukaan Aluminium	124
	Sutoto	
16	Karakteristik Limbah Radioaktif Tingkat Rendah Dan Sedang Reaktor Daya Eksperimental HTR-10	129
	Kuat Heriyanto	
17	Pengembangan Penerapan Sistem Pengawasan Dalam Rangka Pencegahan Masuknya <i>Scrap Metal</i> Terkontaminasi Zat Radioaktif ke Dalam Wilayah Hukum Republik Indonesia	136
	Nanang Triagung Edi Hermawan	
18	Pengawasan Zirkon Di Indonesia	145
	Moekhamad Alfiyan	
19	Polimorfisme XPD23 Pada Pekerja Radiasi Medik	151
	Wiwin Mailana, dan Yanti Lusiyantri	
20	Pengukuran Radiasi Dan Konsentrasi <i>Naturally Occuring Radioactive Materials</i> (NORM) Pada Lahan Calon Tapak PLTU Batubara Kramatwatu Serang Banten	155
	Sucipta, Risdiana S., Arimuladi SP.	
21	Perhitungan Jumlah Limbah Paska Dekomisioning Reaktor Triga Mark II Bandung	165
	Sutoto, Kuat Heriyanto, Mulyono Daryoko	
22	Fenomena Distribusi Radionuklida Kontaminan Pada Air Kanal Fasilitas KH-IPSB3 Pasca Perbaikan Filter <i>Skimer</i>	173
	Titik Sundari, Darmawan Aji, Arifin	
23	Difusi Radiocesium Oleh Tanah Urugan Sebagai Bahan Penutup Fasilitas Disposal Demo di Kawasan Nuklir Serpong : Karakterisasi <i>Dry Density</i> Tanah Permukaan di Lokasi Fasilitas Disposal Demo	179
	Nurul Efri Ekaningrum, Budi Setiawan	
24	Uji Integritas Kelongsong Bahan Bakar Nuklir Bekas Reaktor Dengan Metode Uji Cicip ..	186
	Dyah Sulistyani Rahayu, Darmawan Aji	
25	Verifikasi Penggunaan Library Origen 2.1 Untuk Perhitungan Inventori Teras Reaktor Tipe HTGR 10 MWth	194
	Anis Rohanda, Jupiter S. Pane, Amir Hamzah	
26	Penentuan Densitas Boron Karbida (B ₄ C) Menggunakan Autopiknometer Dan Secara Metrologi	199
	Torowati, Mu`nisatun, S., Yatno Dwi Agus	
27	Evaluasi Pengukuran Tingkat Kontaminasi Permukaan Material Terkontaminasi Untuk Tujuan Klierens (Studi Kasus : Limbah Pelat Logam Hasil Dekomisioning Fasilitas Pemurnian Fosfat Pt. Petrokimia Gresik)	205
	Moch Romli, Mas'udi , Sugeng Purnomo, M. Nurhasyim, T. Sulistiyo H.N., Suhartono, Imam Sasmito, L. Kwin P	

28	Evaluasi Tahanan Pembumian Instalasi Penyalur Petir Pada Stasiun Meteorologi Kawasan Nuklir Serpong	212
	Adi Wijayanto, Arief Yuniarto, Budihari	
29	Evaluasi Pengendalian Dosis Radiasi Pada Kegiatan <i>Dismantling</i> Dan Pengondisian Zat Radioaktif Terbungkus Yang Tidak Digunakan	217
	Suhartono, Moch Romli, Arie Budianti, Adi Wijayanto, Mahmudin	
30	Penerimaan Dosis Radiasi Sebagai Indikator Keselamatan Dalam Proses Pengolahan Limbah Radioaktif Tahun 2015	224
	L.Kwin Pudjiastuti, Hendro, Suhartono, Arie Budianti	
31	Penerapan Nilai Batas Lepas Radioaktivitas ke Badan Air di Kawasan Nuklir Serpong ..	230
	Arif Yuniarto, Aepah Nurbiyanti, Ambar Winansi, Ritayanti	
32	Analisis Kegagalan Proses Pembangkit Uap Pada Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif Cair	241
	Budiyono, Sugianto	
33	Jaminan Mutu Layanan Evaluasi Dosis Perorangan Dengan <i>TLD Barc</i> di PTKMR-Batan ..	250
	Nazaroh, Rofiq Syaifudin, Sri Subandini Lolaningrum, dan Nina Herlina	
34	Perancangan Sistem Kendali <i>VAC Off-Gas</i> Pada Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif berbasis Programable Logic Control	260
	Sugianto, Budiyono, Arifin Istavara	
35	Uji Kelayakan Operasi Genset BRV20 RSG-Gas Setelah Dilakukan Perbaikan	268
	Teguh Sulisty	
36	Analisis Sistem Ventilasi Fasilitas Produksi 131I di PTRR-BATAN.....	278
	Mulyono, Hermanto, Sofyan Sori, Sriyono	
37	Aplikasi <i>Scada</i> Dengan Media Komunikasi Nirkabel 2.4 Ghz Untuk Pengendali Operasi Fasilitas Kanal Hubung Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Nuklir Bekas (KHIPSB3)	283
	Parjono , Budiyono	
38	Pembuatan Dan Pengujian <i>Burner</i> Pada Tungku Peleburan Timbal Untuk Fabrikasi <i>Shielding</i> Sumber Radioaktif Bekas Terbungkus	292
	Arifin Istavara, Jonner Sitompul, Sugianto	
39	Aplikasi Reaktor Pada <i>Capacitor Bank</i> Sebagai Peredam Harmonik Catu Daya Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif	299
	Jonner Sitompul, Sugianto	

ANALISIS KEGAGALAN PROSES PEMBANGKIT UAP PADA INSTALASI PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF CAIR

Budiyono, Sugianto

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-Badan Tenaga Nuklir Nasional
Kawasan Puspiptek Serpong Gedung 50, Tangerang Selatan, Banten 15310
E-mail: budibtdd@batan.go.id

ABSTRAK

ANALISIS KEGAGALAN PROSES PEMBANGKIT UAP PADA INSTALASI PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF CAIR. Pusat Teknologi Limbah Radioaktif menggunakan pembangkit uap (*boiler*) sebagai alat penunjang proses pengolahan limbah radioaktif cair. Permasalahannya, ketika proses operasi berlangsung, sistem *boiler* mengalami kegagalan *startup*. Proses pengolahan limbah menjadi tertunda dan *boiler* harus diperbaiki. Tahap identifikasi kegagalan merupakan bagian dari kegiatan perawatan. Penyebab kegagalan harus dianalisis agar proses pengembalian fungsi *boiler* berlangsung dengan cepat dan tepat. Analisis dilakukan dengan metode pengujian komponen yang berpengaruh terhadap proses operasi. Hasil analisis menunjukkan bahwa kegagalan proses *boiler* diakibatkan oleh kerusakan modul kontrol. Respon *flame* detektor terhadap cahaya masih bagus. Resistansi dan arus detektor masih memenuhi standar operasi yang ditentukan saat ada dan tidak ada cahaya api. Resistansi detektor terukur 765 Ω ketika menerima cahaya dan terukur tak terhingga ketika tanpa cahaya. Arus listrik detektor terukur 0 ketika tanpa cahaya dan terukur 24 μA saat menerima cahaya. Modul kontrol gagal mengeluarkan sinyal tegangan pada pin 23 sehingga ada atau tidak cahaya api yang diterima *flame detektor*, pin 22 tidak mendapat sinyal informasi. Proses *startup* menjadi *lockout* karena tidak adanya sinyal informasi api. Solusinya adalah harus dilakukan penggantian modul kontrol untuk menghilangkan penyebab kegagalan agar proses pengolahan limbah radioaktif cair dapat kembali berlangsung.

Kata kunci: analisis, kegagalan pengapian, detektor api, pembangkit uap,

ABSTRACT

PROCESS FAILURE ANALYSIS OF BOILER IN LIQUID RADIOACTIVE WASTE INSTALLATION. Center for Radioactive Waste Technology using boilers as a means of supporting the liquid radioactive waste treatment process. The problem is, when the operation took place, the boiler system startup failure. Waste treatment process to be delayed and the boiler must be repaired. Phase identification of the failure of a part of the treatment. The cause of the failure must be analyzed so that the process of restoration of the boiler takes place quickly and precisely. The analysis was performed by the method of testing components that affect the operation process. The analysis concluded that the failure of the boiler caused by damage to the control module. Flame detector response to light was still good. Resistance and current detectors still meet the standards specified operation when there is no light and fire. The detector resistance measured 765 Ω when receiving light and infinitely scalable when no light. Electrical current of detector measured 0 when no light and measured 24 μA when receiving light. Control module failed to issue a voltage signal at pin 23 so that there is or is not acceptable firelight flame detectors, pin 22 does not receive the information signal. The startup process becomes lockout due to the absence of information signal fire. The solution is to do the replacement of the control module to eliminate the cause of the failure so that liquid radioactive waste treatment process can take back

Keyword: analysis, flame failure, flame detector, boiler

PENDAHULUAN.

Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif (IPLR) menggunakan *boiler* sebagai alat pembangkit uap untuk proses pengolahan limbah radioaktif cair. Energi uap digunakan untuk memanaskan 50 m³ limbah radioaktif cair menjadi 1m³ konsentrat [1]. *Boiler* IPLR adalah jenis pipa api sistem 4 aliran. Api ditimbulkan dari pembakaran bahan bakar solar pada *burner* di ruang bakar. Api mengalir pada lorong pipa api utama, pipa api fase kedua dan ketiga selanjutnya menuju cerobong. Proses perpindahan panas terjadi di sepanjang pipa api

secara radiasi, konduksi dan konveksi ke air. Boiler dengan sejumlah panas tertentu dapat menghasilkan uap panas lanjut atau uap jenuh. Panas ini digunakan untuk menguapkan limbah cair dalam evaporator sehingga menjadi konsentrat. Uap yang keluar dari evaporator, tekanan dan suhunya turun sehingga terjadi campuran uap dan air (kondensat). Kondensat dikembalikan ke *boiler* bercampur dengan air baku yang sudah dilunakkan agar temperatur air umpan mendekati titik didih air dan pemakaian bahan bakar menjadi lebih hemat. Proses pembentukan uap terjadi akibat ada perpindahan panas dari api secara radiasi ke dinding pipa,

kemudian diteruskan secara konduksi pada pipa menuju dinding yang bersentuhan dengan air, selanjutnya secara konveksi dari dinding pipa ke air yang paling dekat dengan pipa api. Air yang paling dekat dengan pipa mengalami perubahan panas sehingga berat jenisnya turun dan air tersebut naik ke permukaan untuk digantikan dengan air yang lebih dingin. Proses seterusnya terjadi secara berulang hingga terbentuk uap. Uap yang dihasilkan adalah uap panas lanjut. Uap dihasilkan dari pemanasan air umpan hingga mencapai temperatur $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ pada tekanan $8,3\text{ kg/cm}^2$. Agar efisiensi pemanasan tetap tinggi, pipa api dibersihkan secara periodik untuk menghilangkan jelaga yang menempel pipa bagian dalam dan dinding luar pipa yang terdapat kerak. Uap dialirkan kedalam evaporator untuk mengkonsentrasikan limbah radioaktif cair.

Pada proses pengolahan limbah radioaktif cair dengan evaporator, *boiler* dioperasikan selama satu minggu. Disaat proses operasi hari ke 3, boiler otomatis *shutdown* karena tekanan telah mencapai 8 bar sesuai pengaturan *cutoff*. Proses pengolahan limbah masih berlangsung dan tekanan uap berangsur-angsur turun mencapai tekanan 7 bar. Secara otomatis *boiler* hidup kembali dan memulai proses *startup*. Ketika proses *startup*, *boiler*

lockout dengan indikator *flame failure* menyala. Setelah di *reset*, *boiler* kembali *startup* namun tetap mengalami kegagalan pengapian. Tiga kali *reset* dan *startup* dilakukan, hasilnya tetap sama sehingga *boiler* harus diperbaiki.

Untuk mengembalikan fungsi kerja *boiler* dalam mendukung proses pengolahan limbah maka harus dilakukan perawatan. Salah satu tahapan penting perawatan adalah analisis kegagalan. Kegiatan analisis bertujuan untuk mengetahui penyebab kegagalan dan kemungkinan tindaklanjut perbaikannya.

Makalah ini menguraikan tentang analisis kegagalan proses *boiler* pada instalasi pengolahan limbah radioaktif cair.

TINJAUAN SISTEM *BOILER*

Boiler adalah bejana bertekanan yang didesain untuk menghasilkan uap panas (*steam*). Air yang masuk ke *boiler* mengalami proses kenaikan suhu dan *entropy* untuk merubah fasa cair menjadi fasa uap sebelum keluar dari *boiler* dalam suhu dan *entropy* tinggi [2]. Uap panas pada tekanan dan suhu tinggi selanjutnya dikirim ke alat penukar panas untuk digunakan. Gambar *boiler* di Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. *Boiler* di Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif

Komponen penting *boiler* yang berpengaruh pada kegagalan proses harus

dipelajari dan dipahami. Komponen penting pada proses *boiler* IPLR adalah sebagai berikut;
Pengapian

Pengapian terdiri atas *feeder* bahan bakar solar, bahan bakar elpiji dan busi pematik. *Feeder* bahan bakar solar berfungsi menyebarkan bahan bakar ke permukaan kisi pembakaran hingga terbakar [3]. Elpiji sebagai bahan bakar awal dan busi pematik sebagai penghasil api dikendalikan oleh panel kontrol dengan pengaktifan selenoide *valve* dan trafo tegangan. Pembakaran berlangsung di ruang bakar dan harus berakhir sebelum aliran gas panas memasuki lintasan fase II. Dalam lintasan fase II terdapat pipa-pipa pembangkit uap dimana permukaannya dipanasi oleh gas panas. Gas panas yang melintasi fase II akan memberikan panas ke permukaan pipa-pipa pemanas uap lanjut yang terdapat di fase III. Kemudian gas panas dari fase III dilalukan pada pipa akhir lintasan dalam ketel.

Air Boiler

Air boiler merupakan media yang akan diuapkan pada tekanan dan suhu tertentu. Sebelum air diuapkan, bahan kimia diinjeksikan ke dalam *water softener* untuk memenuhi standar air *boiler*. Air umpan dilalukan *deaerator tank* agar oksigen yang terlarut berkurang. Air diuapkan dari tangki *feed Water* ke dalam ketel menggunakan pompa. Sirkuit air umpan dilengkapi dengan katup yang bekerja otomatis sesuai kondisi level air dalam ketel.

Udara

Udara pembakaran dimasukkan ke ruang bakar menggunakan motor *fan*. Motor *fan* bekerja dengan kendali otomatis. Luas pembukaan saluran udara diatur menggunakan *balancing damper* bersamaan dengan pembukaan *regulator valve* bahan bakar. Udara masuk ke ruang bakar dengan kecepatan tinggi hingga terjadi pengabutan bahan bakar.

Uap Air

Uap basah *boiler* dikumpulkan di ruang uap dari drum. Uap dipisahkan dengan air menggunakan *deflector* yang terdapat pada bagian dalam sepanjang drum. Selanjutnya uap mengalir ke pemanas uap lanjut melalui pipa untuk kembali dipanaskan hingga menjadi *superheated steam*. Temperatur pemanasan tergantung pada temperatur gas asap. Pada beban rendah temperatur uap sekitar 170 °C, dan pada beban puncak temperature *steam* bisa mencapai 260 °C.

Pengatur Level Air

Pengatur *level* permukaan air sangat penting untuk keamanan proses *boiler*. Pengatur

level permukaan dilengkapi dengan batas atas dan batas bawah. Tinggi permukaan air harus diatas batas bawah untuk mencegah terjadinya pemanasan lebih dari permukaan yang dipanaskan. Tiga buah *valve* berfungsi sebagai pengatur volume air masuk. Jika level air menyentuh batas bawah maka *valve* akan membuka yang digerakkan oleh *coil*. Demikian juga sebaliknya, jika posisi air dalam ketel menyentuh level atas, maka *valve* akan menutup. Jika posisi air dibawah batas bawah maka semua aliran listrik akan mati kecuali *feed water pump*. Sebuah gelas penduga dipasang untuk mengetahui ketinggian permukaan air didalam ketel. Gelas penduga rutin dilakukan pencucian untuk menghindari terjadi penyumbatan dan *level* air tidak bisa dibaca.

Katup Pengaman

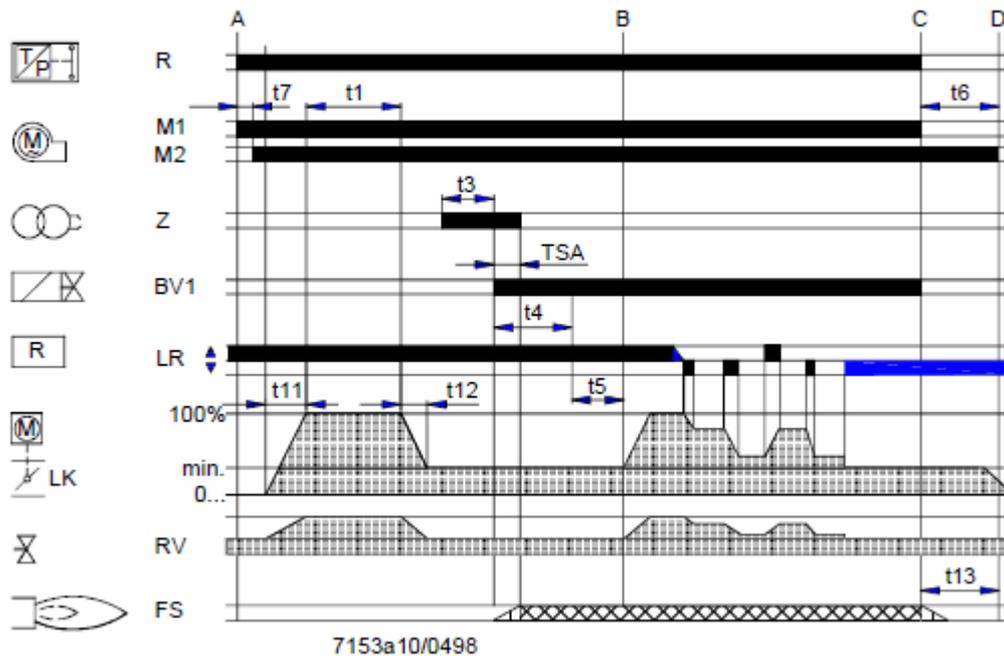
Boiler dilengkapi dengan dua buah *safety valve type spring loaded* yang terpasang pada drum bagian atas untuk pengaman jika terjadi *over pressure*. *Safety valve* diatur sesuai spesifikasi maksimum. *Safety valve* pertama diatur 0,5 kg/cm² diatas tekanan kerja dan *safety valve* kedua diatur 0,8 - 1 kg/cm² diatas tekanan kerja. Pipa *blow down* disesuaikan ukurannya dengan ukuran lubang pembuangan dari *safety valve*.

Katup Pembuangan

Tiga buah *gate valve* yang terhubung dengan *super heater header* digunakan untuk pembuangan kondensat pada pemanas uap lanjut. Dua buah *gate valve* yang terpasang pada drum atas dan pipa *outlet steam* sebelum *super heater* digunakan untuk membuang udara yang terperangkap didalam ketel *boiler*. Sewaktu-waktu air didalam drum atas dibuang bila total zat-zat yang tidak terlarut telah mencapai batas tertentu. Untuk mengeluarkan air *boiler* digunakan *blowdown valve* yang terpasang pada drum bagian atas. Katup ini bekerja bila kadar zat-zat yang tidak terlarut mencapai batas tertinggi yang diizinkan.

Kendali Proses

Kendali utama proses boiler menggunakan *oil modul control* merek Siemens tipe LAL 2.25. Kendali berjenis *yellow - flame burner* dengan pengawasan tekanan udara. Sensor api menggunakan detektor *photo resistive QRB1*. Gambar diagram kendali boiler IPLR ditunjukkan pada Gambar 2.



- Keterangan
- R = Kontrol suhu dan tekanan
 - Z = Ignition transformer
 - M1, M2 = Motor fan
 - BV1, BV2 = Katup bahan bakar
 - LR = Kontrol beban
 - LK = Damper udara
 - FS = Sinyal api

Gambar 2. Diagram kendali boiler IPLR [4]

Prinsip kerja diagram kendali pada Gambar 2 adalah, kontrol suhu dan tekanan (R) selalu aktif sejak daya diumpangkan. Sesaat setelah saklar daya utama aktif, *blower fan* M1 bekerja untuk menghisap udara luar masuk ke ruang bakar yang diikuti dengan *blower fan* M2. Bekerjanya *fan* akan diikuti berfungsinya *damper* udara (LK) yang mengatur besar kecilnya luas saluran udara yang dihisap *blower fan*. *Ignition transformer* (Z) bekerja dengan mensuplai daya listrik ke busi pada *burner* sehingga menghasilkan api untuk pembakaran. Selang waktu T3, katub bahan bakar (BV1) dan pompa bahan bakar bekerja untuk memasukkan bahan bakar solar ke ruang bakar. Pembakaran terjadi setelah bertemunya bahan bakar, api dan udara di dalam ruang bakar. Nyala api dipantau menggunakan sensor api untuk mengetahui kualitas api didalam ruang bakar. Jika kualitas api tidak memenuhi syarat maka operasi akan dihentikan. Kontrol beban bekerja terus menerus untuk mengatur pembukaan *damper* udara dan

katub bahan bakar berdasarkan informasi suhu dan tekanan uap yang dipantau oleh R.

METODE

Analisis menggunakan metode pengujian komponen yang berpengaruh terhadap pengoperasian *boiler* untuk mengetahui penyebab kegagalan. Tahapan pengujian meliputi pengujian komponen proses, pengujian *flame detector*, dan pengujian modul kontrol.

Pengujian komponen proses boiler

Pengujian komponen untuk persiapan operasi dilakukan terhadap persyaratan level air, sensor level, pompa *makeup*, katup pengaman dan katup pembuangan. Pemantauan *boiler* pada saat *startup* dilakukan untuk memastikan bahwa *sequence* operasi berjalan normal. Kegiatan dimulai dengan pemantauan kinerja motor *fan* dan motor pompa bahan bakar ketika posisi "On" dilanjutkan dengan pemantauan kinerja *solenoid* gas elpiji dan *ignition transformer*

sampai terbentuk nyala api. Sesaat setelah terdapat nyala api dari busi, katup bahan bakar dipastikan terbuka dan pompa beroperasi dengan indikator adanya tekanan 600 kPa di *pressure gauge*. Pembakaran api utama dipastikan dengan melihat indikator *main flame* menyala. Pengujian komponen dihentikan ketika boiler secara otomatis *lockout* pada posisi *start up*.

Pengujian *flame detector*

Flame detector dilepas dari modul kontrol untuk dilakukan pengujian secara mandiri. Resistansi diukur menggunakan ohmmeter ketika detektor menerima cahaya dan tidak menerima cahaya. Kemudian detektor diberi sumber daya listrik untuk dilakukan pengukuran arus listrik. Pengukuran menggunakan multimeter pada kondisi detektor menerima cahaya dan tanpa cahaya. Berdasarkan spesifikasi, *flame detector* mensuplai arus listrik ke modul kontrol berkisar antara 8 - 35 μA ketika menerima cahaya dan maksimum arus 0,8 μA ketika tanpa ada cahaya [5]. Pengukuran arus listrik *flame detector* juga dilakukan saat tanpa dan ada cahaya pada posisi detektor terhubung ke modul kontrol.

Pengujian modul kontrol

Pengujian modul kontrol dimulai dengan memantau respon *start* modul terhadap penyambungan saklar antara terminal 4 dan 5. Terminal 6 dipastikan mengeluarkan suplai daya untuk mengoperasikan motor *fan* dan terminal 7 mengeluarkan daya untuk mengoperasikan motor gas buang. Setelah menyelesaikan waktu T16, perintah kontrol membuka *dampner* udara disampaikan melalui terminal 9. Terminal 8 tidak menerima perintah selama waktu *positioning*. Urutan tahapan terus berjalan ketika peredam udara telah menutup sepenuhnya. Waktu proses mengikuti diagram yang terlihat pada Gambar 2.

Pengujian dilanjutkan pada saat *prepurge time* dimana *dampner* udara terbuka penuh. Kebenaran fungsi rangkaian pemantau api diperiksa selama waktu T1. Kontrol *burner* memulai *lockout* jika ada kegagalan rangkaian. Sesaat setelah *start* waktu t1, dipastikan saklar tekanan udara berpindah dari terminal 13 ke terminal 14. Jika kondisi tidak terpenuhi maka kontrol *burner* otomatis *lockout*.

Pada *preignition time* pendek, *ignition transformer* terhubung ke terminal 16 dan suplai bahan bakar diperintahkan dari terminal 18. Sedangkan pada waktu *preignition* panjang *ignition transformer* terhubung ke terminal 15.

Ketika beban berubah, *trafo* diaktifkan paling lambat pada waktu akhir t10. Setelah menyelesaikan waktu t1, *drive* peredam udara ke posisi rendah api melalui terminal 10. Selama waktu *positioning*, saklar urutan akan mempertahankan posisinya sampai terminal 8 menerima daya. Motor dari saklar urutan dialihkan ke bagian kontrol LAL2.25.

TSA adalah waktu pemantauan keselamatan api. Setelah menyelesaikan waktu TSA, sinyal api harus ada pada terminal 22. Kondisi tersebut harus terpenuhi sampai adanya perintah *shutdown*, jika tidak maka kontrol *burner* akan di *lockout*. Pengujian dihentikan pada tahap ini karena ada perintah *lockout* di modul kontrol.

PEMBAHASAN

Pengujian Komponen Proses

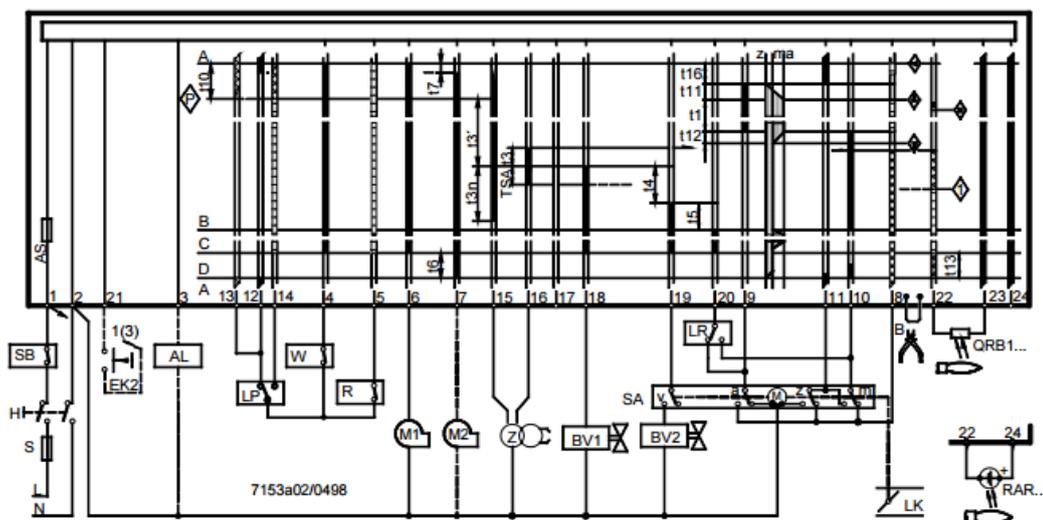
Pengujian dilakukan terhadap komponen *boiler* yang berpengaruh pada kegiatan proses operasi. Hasil pengujian komponen proses diperlihatkan pada Tabel 1.

Hasil pengujian komponen untuk persiapan operasi yang terlihat pada Tabel.1, menunjukkan bahwa level air *boiler* pada posisi *high* sehingga memenuhi syarat untuk proses operasi *boiler*. Jika level air lebih rendah dari posisi indikator *low* maka kontrol operasi akan *lockout*. Pengatur level air berfungsi baik yang diindikasikan oleh aktifnya pompa *makeup* ketika *low* level dan nonaktif ketika *high* level. Katup pengaman dan katup pembuangan juga berfungsi baik setelah melalui proses pengujian. Komponen-komponen tersebut layak dan memenuhi syarat untuk dilakukan *start up* operasi *boiler*.

Pada pengujian *startup*, tekanan bahan bakar solar mencapai 600 kpa sehingga memungkinkan untuk terjadinya pengapian. Tekanan 1200 kpa dicapai hanya pada saat *main flame*. Ketika *startup*, *ignition transformer* bekerja dengan baik dan mengirim daya listrik ke busi. *Ignition transformer* dan busi pemantik berkinerja baik yang diindikasikan dengan adanya suara memantik dan munculnya cahaya api yang terlihat melalui *sighglass*. *Dampner* udara membuka dan menutup sempurna sesuai perintah kontrol *dampner*. Kendali proses berfungsi baik pada awal *startup* tetapi terjadi *lockout* ketika waktu pemantauan keselamatan api. Diagram proses *boiler* ditunjukkan pada Gambar 2.

Tabel 1. Data hasil pengujian komponen proses boiler

No	Nama komponen	Kondisi operasi	Standar operasi
1	Air boiler Level air	level pada posisi <i>high</i>	$low \leq level \leq high$
2	Pengatur level air - Sensor level - Pompa <i>make up</i>	- <i>low = on, high = off</i> - tekanan 5 bar	- <i>low = on, high = off</i> - tekanan 5 bar
3	Katup pengaman	tekanan = 135 psi	tekanan = 135 psi
4	Katup pembuangan	berfungsi baik	berfungsi baik
5	Pengapian - Gas elpiji - Bahan bakar solar - <i>Ignition transformer</i>	- tekanan 3,5 psi - tekanan = 600 kpa - menghasilkan api yang terlihat melalui <i>sigh glass</i>	- tekanan < 3,5 psi - tekanan= 600-1200 kpa - menghasilkan api yang terlihat melalui <i>sigh glass</i>
6	Udara - Damper udara - Regulator udara	- <i>open/close</i> sempurna - berfungsi baik	- <i>open/close</i> sempurna - berfungsi baik
7	Kendali proses	berhenti operasi ketika <i>start up</i>	Beroperasi dari <i>start</i> sampai <i>off</i>
8	Uap air - Tekanan - Sensor tekanan	- -	- 125 psi - $80 \text{ psi} \leq \text{operasi} \leq 125 \text{ psi}$



Gambar 2. Diagram proses operasi boiler

Kegagalan operasi boiler bisa disebabkan oleh beberapa kemungkinan. Jika kegagalan terjadi sebelum *startup*, dimungkinkan karena salah satu kontak tidak terhubung akibat dari adanya persyaratan praoperasi yang tidak terpenuhi.. Tetapi jika kegagalan terjadi ketika proses *startup* maka penyebabnya adalah salah satu atau lebih dari kemungkinan berikut; busi tidak menyala, tekanan bahan bakar tidak terpenuhi karena bocor, rangkaian alat pemantau api tidak bekerja, tidak ada sinyal *OPEN* di terminal 8 saat *changeover* saklar, terminal 6, 7 dan 15 terjadi gangguan sinyal, ada informasi

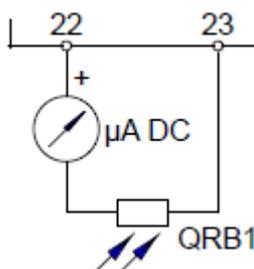
kegagalan tekanan udara, atau karena tidak adanya sinyal api pada waktu pemantauan keselamatan api.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kegagalan boiler terjadi ketika proses *startup* pada posisi waktu pemantauan keselamatan api. Kemungkinan besar penyebab kegagalan tinggal dua yaitu kerusakan *flame* detektor dan atau kerusakan modul kontrol. Untuk memastikannya maka dilakukan pengujian pada kedua komponen.

Pengujian *Flame* Detektor

Ketika dilakukan pengujian *startup* secara berulang, operasi *boiler* tetap gagal dengan indikator kegagalan pengapian/ *flame failure*. Pada proses awal *startup*, *boiler* bekerja sesuai urutan yang benar sampai tahap penyalaan awal gas elpiji pada busi. Kemudian *boiler*

terjadi *lockout* karena sensor nyala api tidak sampai ke modul kontrol. Oleh karenanya dilakukan pengujian dan pengukuran pada *flame* detektor untuk mengetahui kinerja komponen. Rangkaian *flame* detektor QRB1 pada modul *boiler* ditunjukkan pada Gambar 3 dan data hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 2.



Gambar 3. Rangkaian *flame* detektor QRB1 pada modul *boiler*

Tabel 2. Data hasil pengujian *flame* detektor QRB1

No	Pengujian	Kondisi operasi	Standar operasi
1	Tahanan detektor		
	- Dengan cahaya - Tanpa cahaya	- 765 Ω - tak terhingga	- < 800 Ω - tak terhingga
2	Arus listrik detektor		
	- Dengan cahaya - Tanpa cahaya	- 0 - 24 µA	- < 0,8 µA - 8 – 35 µA

Flame detektor diukur tahanan dan arus listriknya pada saat ada cahaya dan tanpa cahaya. Pengukuran dimaksudkan untuk mengetahui respon detektor terhadap keberadaan api didalam ruang bakar *boiler*. Hasil pengujian sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 2, bahwa respon *flame* detektor terhadap cahaya masih bagus. Tahanan dan arus detektor saat ada dan tidak ada cahaya api masih memenuhi standar operasi yang ditentukan. Tahanan detektor ketika menerima cahaya terukur 765 Ω dan tanpa cahaya terukur tak terhingga. Arus listrik detektor ketika tanpa cahaya terukur 0 dan saat menerima cahaya terukur 24 µA.

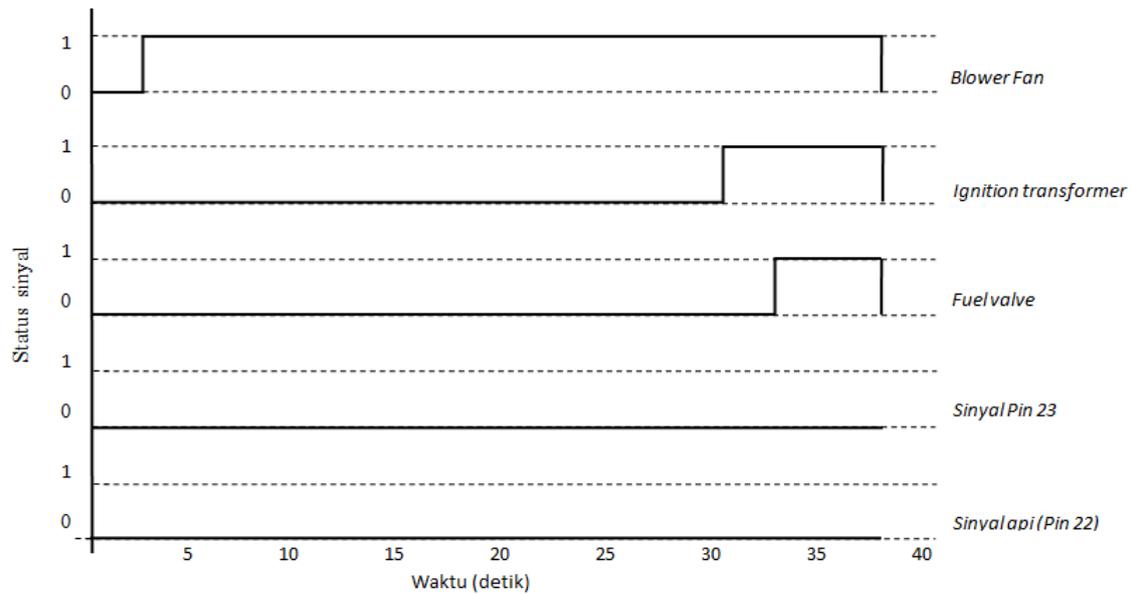
Pengujian Modul Kontrol

Kemungkinan penyebab kegagalan yang kedua setelah *flame* detektor adalah kegagalan modul kontrol. Pengujian modul kontrol dilakukan untuk mengetahui kinerja komponen selama proses *startup*. Data pengujian status sinyal operasi modul kontrol per satuan waktu diperlihatkan pada Gambar 4. Sedangkan data

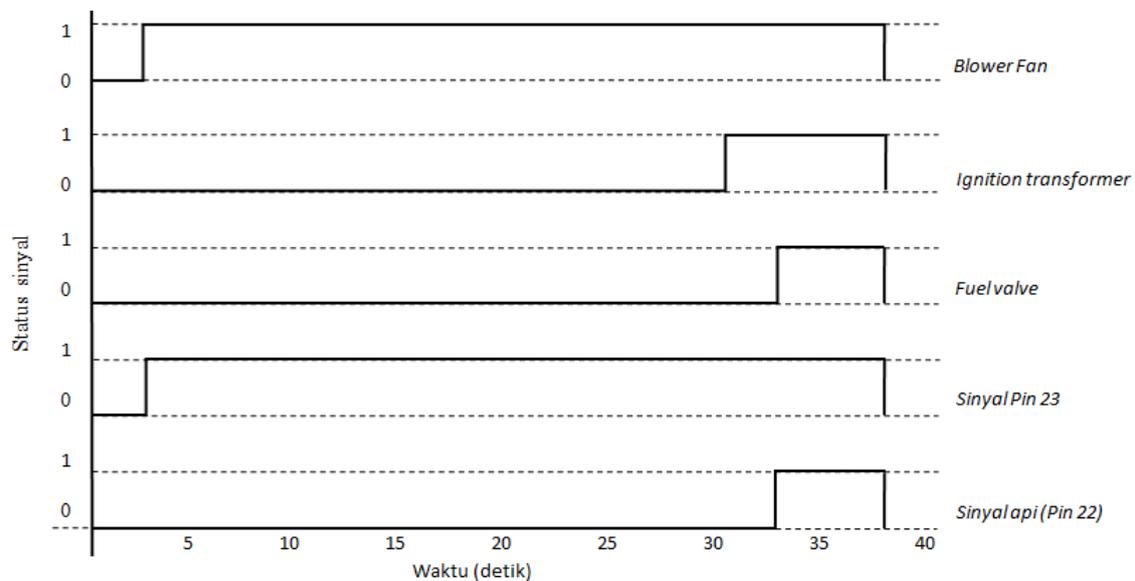
standar status sinyal operasi modul kontrol per satuan waktu diperlihatkan pada Gambar 5.

Kedua gambar menunjukkan perbedaan pada sinyal pin 23 dan pin 22. Pada data standar terlihat bahwa sinyal pin 23 harus muncul sesaat setelah saklar *start* dihubungkan. Sedangkan sinyal api untuk input pin 22 juga harus ada ketika waktu pemantauan keselamatan api. Data hasil pengujian modul tidak menunjukkan hasil yang sesuai standar, pin 22 dan pin 23 tetap tidak menunjukkan adanya sinyal. Padahal sebagaimana terlihat pada Gambar 1 bahwa kedua pin terhubung ke *flame* detektor.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kegagalan proses operasi *startup* diakibatkan oleh kegagalan modul kontrol. Karena pin 23 tidak mengeluarkan sinyal tegangan yang akan diubah menjadi arus listrik untuk diumpankan ke pin 22 sebagai informasi adanya cahaya. Diketahui bahwa *flame* detektor berjenis *photo resistive* dimana tahananannya berubah mengecil ketika terkena cahaya. Akibat tahanan mengecil, arus listrik akan mengalir melalui *flame* detektor masuk ke pin 22.



Gambar 4. Data status sinyal operasi modul kontrol per satuan waktu



Gambar 5. Data standar status sinyal operasi modul kontrol per satuan waktu

Kegiatan analisis berhasil mengetahui penyebab kegagalan proses pembangkit uap pada Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif Cair. Pengolahan limbah cair dapat berlangsung jika unit evaporator dan unit boiler dapat beroperasi sempurna. Proses pengolahan limbah cair secara evaporasi dapat dilakukan jika didukung dengan sistem pembangkit uap. Boiler membangkitkan uap untuk memanaskan 50 m³ limbah radioaktif cair menjadi 1m³ konsentrat. Uap yang dihasilkan hingga mencapai temperatur 160 °C pada tekanan 8,3 kg/cm². Hasil analisis menunjukkan bahwa kegagalan proses pengolahan

limbah diakibatkan oleh kegagalan fungsi boiler. Boiler tidak dapat memproduksi uap karena sistem kontrol tidak berfungsi.

Untuk mengembalikan fungsi kerja boiler dalam mendukung proses pengolahan limbah maka harus dilakukan perbaikan dengan penggantian modul kontrol. Jika modul kontrol berfungsi, dipastikan unit boiler akan bekerja kembali dalam membangkitkan uap panas. Tersedianya uap panas yang sesuai spesifikasi memungkinkan dilakukan kembali pengolahan limbah radioaktif cair di IPLR.

KESIMPULAN

Dari bahasan diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa kegagalan proses *boiler* disebabkan oleh kerusakan modul kontrol. Respon *flame* detektor terhadap cahaya masih bagus. Tahanan dan arus detektor saat ada dan tidak ada cahaya api masih memenuhi standar operasi yang ditentukan. Tahanan detektor ketika menerima cahaya terukur 765 Ω dan tanpa cahaya terukur tak terhingga. Arus listrik detektor ketika tanpa cahaya terukur 0 dan saat menerima cahaya terukur 24 μA . Modul kontrol gagal karena tidak mampu mengeluarkan sinyal tegangan pada pin 23. Oleh karenanya, ada atau tidak cahaya api yang diterima, pin 22 tidak mendapatkan sinyal informasi. Tidak adanya informasi cahaya api menyebabkan munculnya perintah *lockout* ketika proses *startup* sedang berlangsung. Oleh karena itu harus dilakukan penggantian modul kontrol untuk menghilangkan penyebab kegagalan proses pembangkitan uap agar pengolahan limbah radioaktif cair dapat kembali dilaksanakan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Heri Witono, "Pengoperasian *Boiler* Sebagai Energi Penguapan Proses Evaporasi Limbah Cair IPLR Tahun 2013", Hasil Penelitian dan Kegiatan, PTLR, Serpong, 2013.
2. Estiko Rijanto, "Sistem Kontrol Boiler Dan Retrofit" Workshop on Boiler Technology Update and The Era of Clean Technology, Babcock & Wilcox Asia, PT. Indonesia Power dan LIPI, Jakarta, 2012.
3. Mukti Rohman, "Prinsip Kerja Boiler" <http://muktirohman.blogspot.co.id/2013/06/prinsip-kerja-boiler.html>
4. Siemens, Oil burner control, Siemens Building Technologies HVAC Products, 2002.
5. Siemens, Photo Resistive, Siemens Building Technologies HVAC Products, 2008