

ANALISIS KESELAMATAN SISTEM KENDALI TUNGKU *MUFFLE FURNACE* ME-11 PADA PROSES REDUKSI GAGALAN PELET UO₂

Triarjo¹, Sugeng Rianto¹

¹Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir

Badan Tenaga Nuklir Nasional, Setu, Banten, Indonesia, 15346

triarjo@batan.go.id

ABSTRAK - Proses reduksi di tungku *Muffle Furnace* ME-11 adalah proses pengolahan gagal pelet UO₂ menjadi serbuk UO₂ yang menggunakan gas hidrogen sebagai pereduksi pada suhu $\pm 800^{\circ}\text{C}$. Sistem Kendali logik pada tungku ini sangat diperlukan dengan titik berat faktor keselamatan (*safety*) selama proses reduksi berlangsung, mengingat potensi bahaya gas hidrogen bersifat dapat mudah meledak pada kondisi tertentu. Sistem Kendali logik yang ada pada sistem tungku *Muffle furnace* ME-11 terdiri dari sistem vacuum, sistem pengaliran gas N₂ dan H₂, sistem pembakar gas H₂, sistem UPS (*Uninterruptible Power Supply*) dan alarm. Analisis keselamatan sistem kendali tungku *Muffle Furnace* ME-11 dilakukan untuk mengurangi kegagalan proses reduksi yang dilakukan dengan simulasi beberapa kondisi kegagalan, antara lain Suplai listrik utama (PLN) padam, api pembakar gas H₂ menggunakan LPG padam, dan tekanan gas dalam tungku dibuat lebih tinggi atau rendah. Hasil analisis yang telah dilakukan pada sistem kendali logik terhadap kegagalan proses reduksi adalah sebagai berikut : apabila Suplai listrik utama padam maka alarm lampu indikator Power akan hidup, selanjutnya valve input H₂ menutup, valve H₂ output tetap membuka dan api pembakar gas H₂ tetap menyala dengan suplai listrik oleh UPS. Apabila api pembakar gas LPG padam maka alarm dan lampu indikator *Pilot Flame* akan hidup, sistem pemantik menyala dan operator segera mengatur aliran gas LPG. Apabila tekanan di dalam tungku terlalu tinggi atau rendah saat beroperasi maka alarm dan lampu indikator tekanan akan hidup, *pressure switch* akan memerintahkan valve gas H₂ menutup, selanjutnya operator mengatur tekanan melalui *flowmeter* gas H₂. Hasil analisis sistem keselamatan kendali logik ini menunjukkan sistem kendali logik dapat berfungsi dengan baik, sehingga dapat menjamin keselamatan operasi proses reduksi dan kegagalan proses dapat dieliminasi saat operasi berlangsung.

Kata kunci – Proses reduksi, *Muffle Furnace*, kendali logik

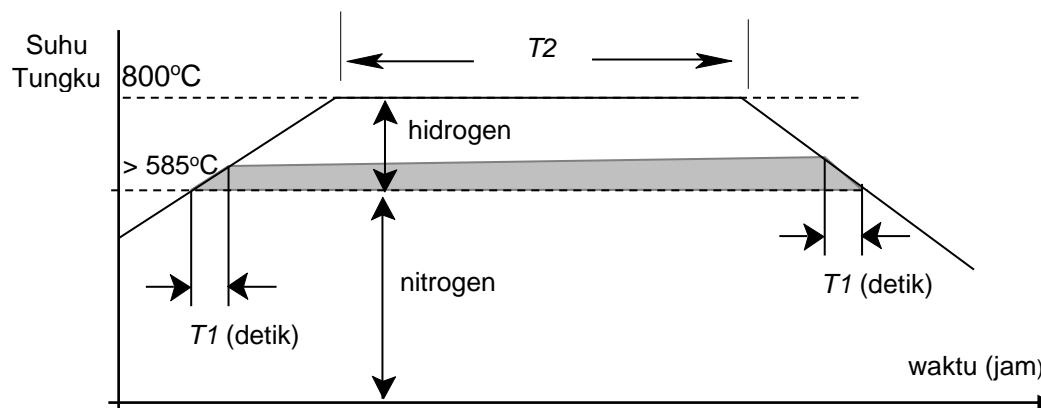
ABSTRACT- The reduction process in the ME-11 *Muffle Furnace* furnace is the process of processing a UO₂ pellet failure into UO₂ powder using hydrogen gas as a reducing agent at $\pm 800^{\circ}\text{C}$. Logic control system in this furnace is very much needed with the safety factor emphasizing during the reduction process, considering the potential danger of hydrogen gas can be explosive under certain conditions. The logical control system in the ME-11 *Muffle furnace* system consists of a vacuum system, an N₂ and H₂ gas flow system, an H₂ gas burner system, a UPS and alarm system. Safety analysis of the *Muffle Furnace* ME-11 furnace control system was carried out to reduce the failure of the reduction process which was carried out by simulating several failure conditions, including the main electricity supply (PLN) outages, H₂ gas burners using extinguished LPG, and the gas pressure in the furnace was made higher or low. The results of the analysis that have been carried out on the logical control system for the failure of the reduction process are as follows: if the main power supply goes out then the alarm indicator lights Power will turn on, then the H₂ input valve closes, the H₂ output valve remains open and the H₂ gas burner flame stays on with the supply electricity by UPS. If the LPG gas burner extinguishes, the *Pilot Flame* alarm and indicator lights will on, the lighter system is on and the operator immediately regulates the LPG gas flow. If the pressure inside the furnace is too high or low when operating then the alarm and the pressure indicator lights on, the pressure switch will order the H₂ gas valve to close, then the operator regulates the pressure through the H₂ gas flowmeter. The results of the logic control system safety analysis shows that the logical control system can function properly, so as to ensure the safety of the reduction process operations and process failures can be eliminated during operations.

Keywords - Reduction process, *Muffle Furnace*, logical control

I. PENDAHULUAN

Muffle furnace ME-11 adalah perangkat yang digunakan untuk proses kalsinasi dan reduksi gagal proses peletisasi UO_2 sebagai bagian dari proses fabrikasi elemen bakar nuklir. Hasil akhir proses peletisasi dalam fabrikasi bahan bakar nuklir adalah pelet UO_2 yang memenuhi persyaratan. Pelet yang tidak memenuhi persyaratan tersebut akan diproses daur ulang, yaitu merubah kembali pelet UO_2 menjadi serbuk UO_2 untuk kemudian dimasukkan kembali ke siklus proses peletisasi. Dalam proses daur ulang tersebut, reaksi kimia proses reduksi digunakan untuk merubah pelet UO_2 menjadi serbuk UO_2 .

Proses reduksi dengan tungku *Muffle furnace ME-11* dilakukan dengan pemanasan dalam ruang tertutup dalam lingkungan aliran gas hidrogen. Hal yang perlu mendapat perhatian adalah bahwa gas hidrogen dapat meledak pada suhu dan komposisi tertentu dengan udara, atau jika mendapat energi tambahan dari luar (seperti pemanasan) pada komposisi tertentu^[1]. Oleh karena itu, komposisi campuran hidrogen dan udara yang berpotensi menyebabkan terjadinya ledakan tersebut harus dihindari. Bentuk usaha pencegahannya adalah dengan mengosongkan udara dalam ruang tungku dan menggantikannya dengan gas nitrogen sebelum gas hidrogen dialirkan masuk ke dalam tungku dengan diatur laju alirnya, sehingga gas hidrogen sisa proses reduksi dapat dibakar dengan aman di ruang pembakaran^[2]. Gambar 1 dibawah menunjukkan pola proses operasi reduksi menggunakan tungku Muffle Furnace ME-11.

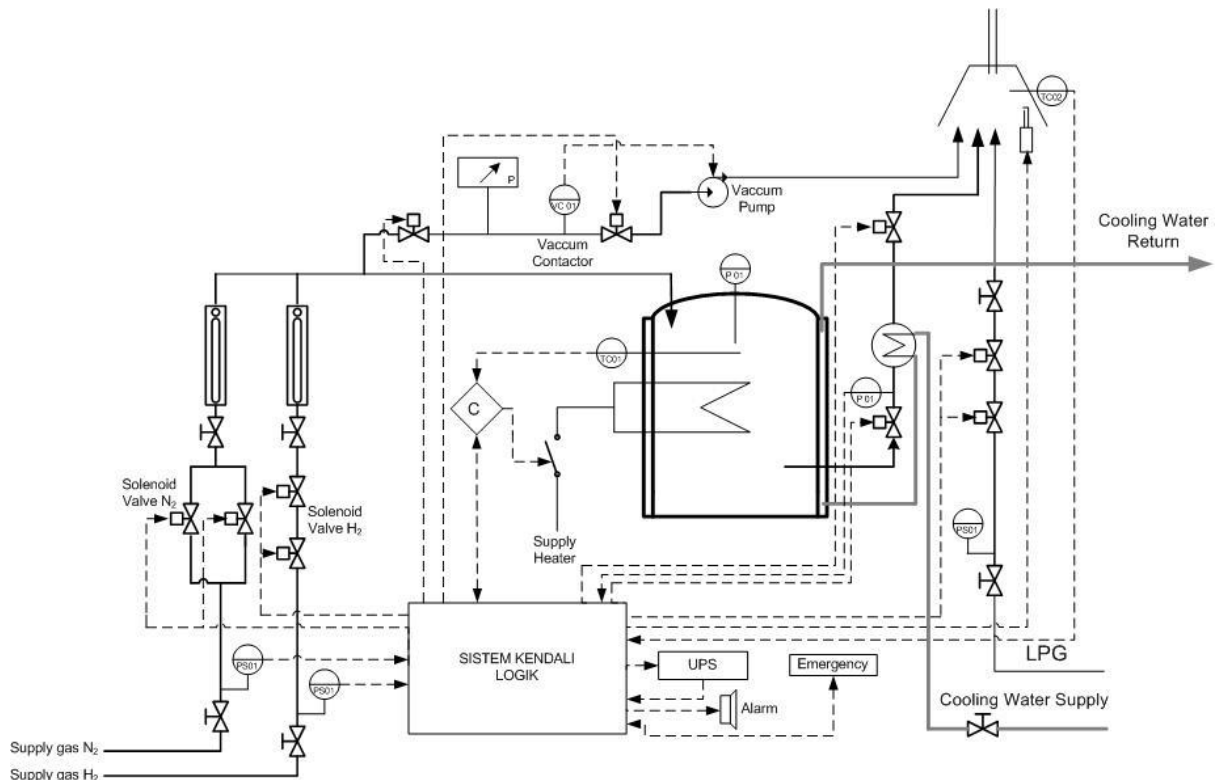


Gambar 1. Pola pemanasan proses reduksi.^[1,2]

Dari gambar 1 diatas, dapat ditunjukkan pola proses reduksi. Proses dimulai dengan mengosongkan udara di dalam tungku dan mengalirkan gas nitrogen ke dalam tungku dengan tekanan lebih tinggi dari tekanan udara luar. Setelah kondisi ini, temperatur tungku dinaikkan dan gas LPG dinyalakan. Jika temperatur dalam tungku telah melewati *auto-ignition* temperatur dari gas hidrogen yaitu $585^{\circ}C$ ^[1], maka katup gas

hidrogen dibuka sehingga gas hidrogen mengalir juga bersama-sama dengan gas nitrogen ke dalam tungku selama T_1 menit. selanjutnya gas nitrogen dimatikan, sehingga hanya gas hidrogen saja yang mengalir dan keluar dari tungku untuk dibakar oleh api dari gas LPG. Temperatur dalam tungku terus dinaikkan hingga ± 800 °C dan kemudian dijaga konstan selama T_2 jam. T_1 dan T_2 adalah variabel yang nilainya bisa diatur.

Sistem keselamatan tungku ME-11 digunakan Sistem kendali logik yang memiliki masukan (*input*) dan keluaran (*output*) menggunakan pendekatan logik *system multiple SISO (single input dan single output)* dengan umpan balik dan sistem dalam teknik digital berupa rangkaian kobinasional atau sekuensial. Blok diagram kendali logik sistim operasi dan keselamatan Tungku Muffle Furnace ME-11 ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram kendali tungku Muffle Furnace dengan sistim kendali logik^[2].

Pengendalian suhu dalam tungku, aliran gas buang, dan tekanan gas dalam tungku merupakan kendali proses SISO dengan umpan balik. Kendali logik akan memonitor kegiatan SISO tersebut untuk selanjutnya mengambil tindakan sesuai dengan kejadian pada saat proses operasi reduksi berlangsung. Kendali logik pada sistem tungku ME-11 (*existing*) menyerahkan semua tindakan kepada operator jika

terjadi gangguan selama operasi. Kendali logik berusaha mereduksi tugas operator jika gangguan terjadi yaitu dengan berusaha mengatasi gangguan tersebut bersama-sama dengan operator dalam rentang waktu tertentu (sesuai dengan algoritma yang digunakan). Ada beberapa gangguan yang berpotensi akan masuk ke sistem yang harus bisa diatasi. Sinyal gangguan akan paling banyak terjadi adalah : Listrik PLN padam, api pembakar gas LPG padam, dan tekanan gas dalam tungku lebih tinggi atau rendah.

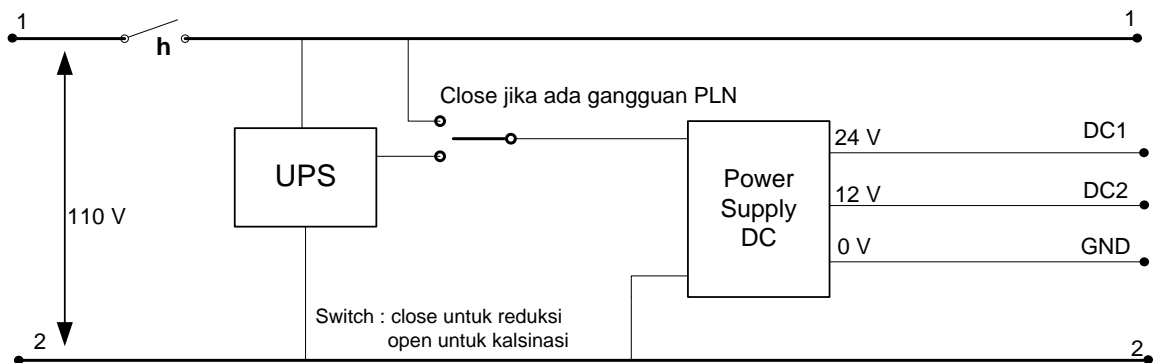
Atas dasar gangguan yang paling banyak terjadi ini, maka dilakukan analisis sistem kendali terhadap keselamatan operasi proses reduksi. Analisis sistem ini dilakukan berdasarkan pengalaman empiris operasional di lapangan, dan mengacu pada dokumen yang berkaitan dengan keselamatan dalam penggunaan gas hidrogen, dimana sinyal gagal akan muncul karena dipicu oleh adanya gangguan, dan gangguan tersebut harus diatasi oleh operator maupun kendali logik secara bersamaan. Jika operator maupun sistem kendali logik tidak mampu mengatasi dalam waktu yang ditentukan, maka kendali logik akan menghentikan sistem operasi secara *emergency shut-down*.

II. TATA KERJA

Analisis sistem kendali terhadap keselamatan operasi dilakukan melalui tahapan proses teknis yang diawali dengan analisis terhadap penyebab tidak berfungsinya sistem. Berdasarkan pengalaman empiris operasional di lapangan, kegagalan proses reduksi yang paling banyak terjadi adalah listrik PLN padam, api pembakar gas LPG padam, dan tekanan gas dalam tungku lebih tinggi atau rendah. Dari ketiga kegagalan proses ini, maka dilakukan analisis sistem kendali logik untuk meminimalisasi kegagalan proses reduksi. Tahapan proses teknis berikutnya adalah dilakukan simulasi untuk pengujian sistem kendali logik dan untuk menguji kehandalan dari sistem terhadap adanya kegagalan proses reduksi yang terjadi.

III. HASIL DAN BAHASAN

Untuk mengatasi kegagalan proses alibat dari gangguan listrik PLN yang padam, maka dibuat rangkaian dasar suplai kelistrikan yang ditunjukkan gambar 3 di bawah ini.

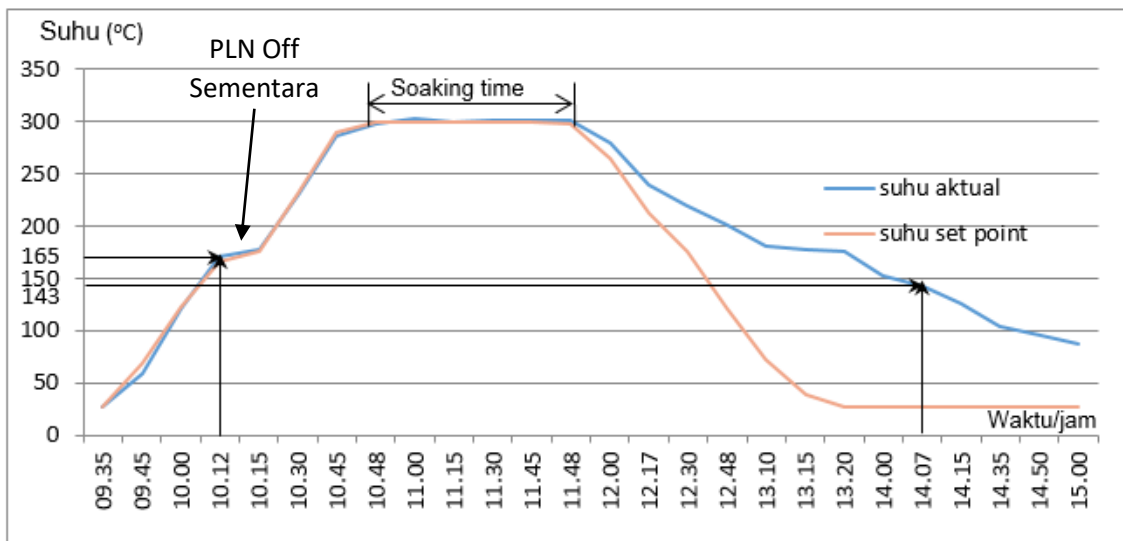


Gambar 3. Rangkaian dasar penanggulangan gangguan listrik PLN.

Pada gambar 3 diatas, merupakan disain rangkaian penanggulangan gangguan listrik dari PLN. Penanggulangan listrik ini digunakan UPS sebagai cadangan (*back up*) sumber listrik, dimana keluaran dari UPS ini pada proses reduksi tungku ME-11 ini berupa tegangan AC 110 volt (27U) dan untuk mensuplai sumber tegangan DC keluaran 24 volt (DC1) dan 12 volt (DC2). Supply tegangan AC 110 volt (27U) ini digunakan untuk mensuplai valve LPG dan valve saluran keluar tungku, sehingga pembakaran gas yang keluar dari tungku tetap terjadi meskipun ada gangguan dari PLN. Sedangkan tegangan DC digunakan untuk pemantik api LPG dan aliran gas.

Kerja dari UPS diatas ini tidaklah kontinyu dan hanya dipakai sebagai cadangan untuk suplai komponen diatas, sehingga ketika operasi pembakaran gas hidrogen tetap berlangsung meskipun listrik padam. Jika waktu listrik padam sebentar, maka proses bisa dilanjutkan, tapi jika waktu listrik padam lama (lebih dari 3 menit), maka proses dihentikan dan di lakukan proses awal menunggu listrik hidup kembali. Selama waktu 3 menit ini diharapkan gas nitrogen masuk ke tungku untuk mendorong keluar gas hirogen yang ada didalam tungku. Dengan waktu 3 menit ini, diperhitungkan tungku telah berisi penuh gas nitrogen untuk menggantikan gas hidrogen dan selanjutnya sistem tungku dimatikan oleh kendali logik.

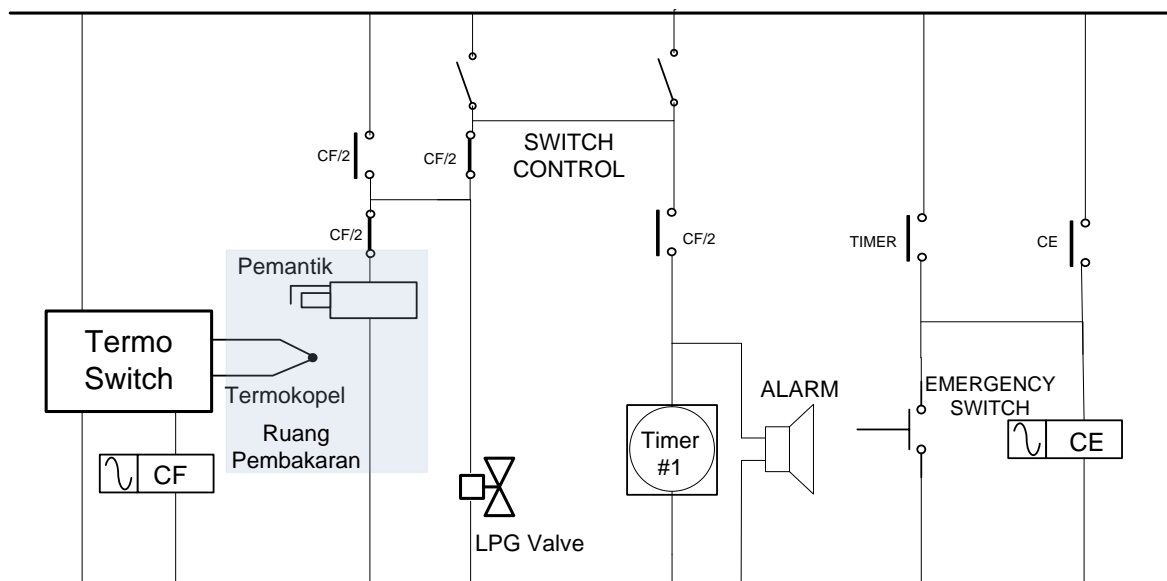
Simulasi pemandaman kendali kogik ini dilakukan dengan mematikan listrik secara mendadak ketika operasi berlangsung pada operasi pemanasan $300^{\circ}C$, Laju kenaikan $200^{\circ}C/jam$, Laju penurunan $180^{\circ}C/jam$, *Soaking time*/penahanan 1 jam, buka tutup valve hidrogen ($H_2\sim on/H_2\sim off$) pada suhu $150^{\circ}C$ tanpa membuka gas hidrogen, dengan tampilan grafik ditunjukkan gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4. Grafik Uji pemanasan pada suhu 300°C

Pada simulasi ini, aliran listrik dari PLN dimatikan selama 2 menit pada suhu 165 °C, sistem UPS berfungsi dengan memberikan catu daya pada valve LPG, saluran keluar tungku dan pemantik api LPG, sedangkan pemanasan suhu berhenti sementara selama beberapa saat, ini menunjukkan sistem bekerja. Setelah 2 menit listrik PLN dihidupkan kembali, suplai tungku kembali normal dari listrik PLN dan pemanasan tungku dilanjutkan sampai 300 °C.

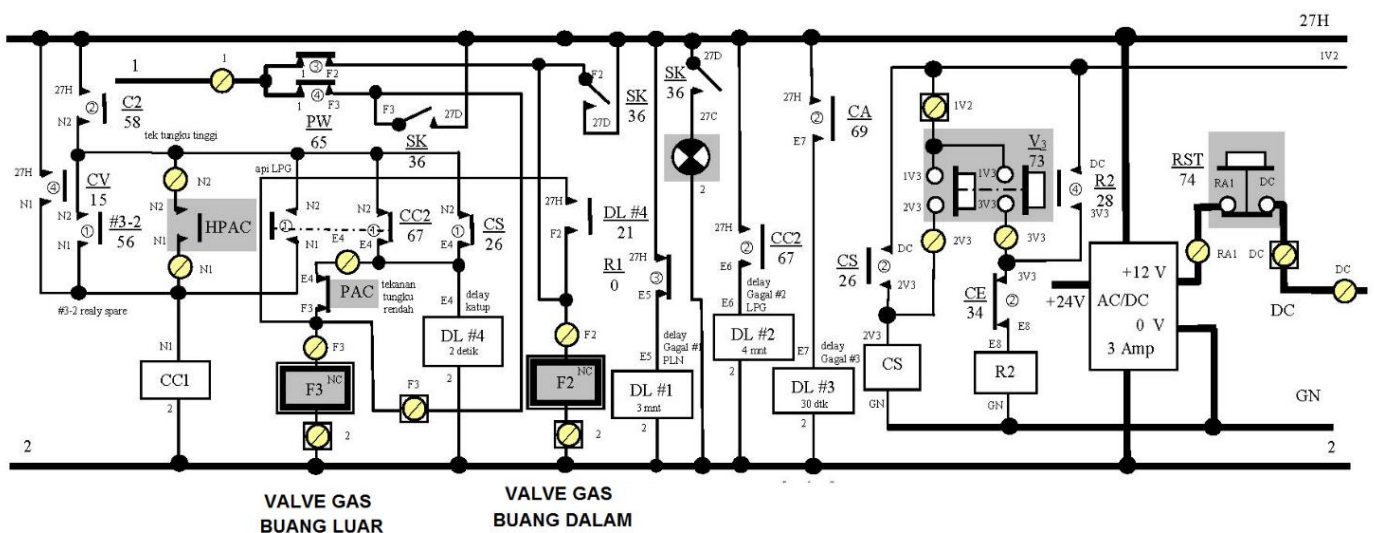
Gambar 5 di bawah ini menunjukkan sistem kendali logik otomatis pemantik LPG untuk mengatasi gangguan dari api pembakar gas yang padam.



Gambar 5. Rangkaian kendali logik LPG Valve tungku reduksi ME-11

Simulasi analisis rangkaian kendali logik gambar 5 dilakukan pada suhu rendah sesuai gambar 4, yaitu dengan mengaktifkan *switch* kontrol dan mematikan gas LPG sehingga valve LPG dan gas hidrogen menutup jika nyala api dari LPG padam. Pada kondisi ini secara otomatis alarm akan berbunyi dan pemantik akan hidup untuk mengeluarkan percikan api dan berusaha menghidupkan nyala api LPG dalam rentang waktu sesuai dengan timer #1. Setting timer dari pengalaman di set selama 30 detik. Jika dalam waktu yang ditentukan pada timer #1 telah lewat, dan LPG belum juga nyala, maka sistem kendali Gambar 5 diatas akan menghentikan kegiatan proses reduksi secara menyeluruh melalui saklar emergensinya. Kondisi ini dilakukan untuk menjaga keselamatan dalam operasi jika memang api dari LPG tidak bisa dinyalakan (LPG habis misalnya atau sebab-sebab lain-nya). Ketika sistem pemantik menyala, maka kendali logik memberi waktu 30 detik untuk sistem tungku agar operator mengatasi gangguan suplai gas LPG ini. Jika gangguan dapat diatasi, maka operasi berjalan kembali. Jika gangguan tidak dapat diatasi maka sistem tungku akan dimatikan oleh kendali logik. Waktu 30 detik bersifat variabel yang bisa dirubah untuk disesuaikan.

Gambar 6 di bawah ini menunjukkan sistem kendali logik otomatis untuk tekanan lebih tinggi atau terlalu rendah pada tekanan operasi reduksi ME-11. Setting tekanan di dalam tungku reduksi berdasarkan pengalaman 100 – 300 mmH₂O diatas tekanan atmosfer.



Tekanan Tungku Rendah : PAC : E11-F3 Open
Tekanan Tungku Tinggi : HPAC : N2-N1 Close

Gambar 6. Rangkaian kendali logik untuk tekanan naik dan turun

Simulasi analisis rangkaian kendali logik pada gambar 6 dilakukan pada suhu rendah sesuai gambar 4 dengan membuat kenaikan tekanan operasi reduksi, dimana jika terdapat kenaikan tekanan operasi reduksi diatas 300 mmH₂O, maka Alarm dan lampu warning nyala. Solenoid valve Nitrogen (N₂) dan Hidrogen (H₂) menutup. sementara valve Gas buang dalam (F₂) dan valve gas buang luar (F₃) membuka, maka tekanan gas dalam tungku akan turun. Jika tekanan gas dalam tungku turun (< 300 mmH₂O), maka alarm padam dan Nitrogen (N₂) dan Hidrogen (H₂) akan membuka kembali sesuai dengan kondisi proses saat gangguan teratasi, dan operasi berjalan terus. Jika dalam waktu 30 detik tekanan gas dalam tungku tidak terjadi penurunan tekanan, maka sistem kendali logik mematikan sistem tungku secara emergency shutdown, dan mengembalikan tungku ke kondisi awal sebelum proses reduksi.

Untuk tekanan rendah, simulasi dilakukan dengan membuat penurunan tekanan operasi reduksi di bawah < 100 mmH₂O, maka alarm dan lampu warning nyala. Valve Hidrogen menutup, valve nitrogen, valve Gas buang dalam (F₂) dan valve gas buang luar (F₃) membuka. Dari kondisi valve diatas, diharapkan tekanan gas dalam tungku akan naik. Jika gas H₂ sedang beroperasi dan dalam waktu 30 detik tekanan dalam tungku tidak juga naik, maka sistem kendali logik mematikan sistem tungku secara emergency shutdown, dan mengembalikan tungku ke kondisi awal sebelum proses reduksi.

Hasil analisis dengan simulasi dari tiga kejadian diatas menunjukkan sistem kendali logik bisa berfungsi sesuai keselamatan operasi proses reduksi. Untuk proses reduksi itu sendiri dilakukan pada suhu sebenarnya yaitu 800 °C, tetapi untuk pengujian analisis sistem kendali logik cukup pada suhu rendah yaitu 300 °C sesuai operasi yang ditunjukkan pada gambar 4 diatas.

IV. KESIMPULAN

Telah dilakukan analisis keselamatan sistem kendali logik alat tungku *Muffle Furnace* ME-11 pada proses operasi reduksi menggunakan gas H₂ sebagai bahan pereduksi. Analisis ini dilakukan dengan simulasi kendali logik terhadap tiga kegagalan berdasarkan pengalaman pada proses reduksi yaitu suplai listrik utama padam, api pembakar gas LPG padam dan terjadi tekanan di dalam tungku terlalu tinggi atau rendah. Hasil simulasi kendali logik menunjukkan kendali logik berfungsi dengan baik ketika terdapat tiga kegagalan diatas yaitu dengan melakukan perintah logik untuk pengamanan proses reduksi apakah meneruskan proses atau proses dihentikan. Dengan demikian proses reduksi tungku ME-11 dapat berlangsung dengan baik dan

dapat menjamin keamanan serta keselamatan dari kemungkinan kegagalan proses, baik terhadap peralatan maupun pekerja pada saat operasi berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Achmad Suntoro, Metodology Kendali Logik Tambahan Pada System Tungku Reduksi Me-11, Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir – BATAN
- [2] Achmad Suntoro, Dokumen Teknis Modifikasi Kendali Logik Proses Reduksi, 2009
- [3] ES & H Manual, Volume II, Part 18, Document 18.4 Hydrogen, Revision 3, January 12, 2006.
- [4] Los Alamos National Laboratory, Hydrogen Safety, Doc. No: ESH13-401-sb-8/00.
- [5] Air Products., Safetygram #4: Gaseous Hydrogen., Air products and Chemicals, Inc., 2004., <http://www.airproducts.com/nr/rdonlyres/3c6d640e-93c5-4bd0-8f21-8f7344c66554/0/safetygram4.pdf>
- [6] National Safety Council, Data Sheet 1-700-Rev 86, Agustus 2006.
- [7] NASA, Safety Standard for Hydrogen and Hydrogen Systems., Office of Safety and Mission Assurance., Washington DC 20546. 1997. <http://www.hq.nasa.gov/office/codec/doctree/canceled/871916.pdf>
- [8] IAEA, Nuclear Power Plant Instrumentation and Control – A Guidebook., Technical Reports Series No. 239., Interational Atomic Energy Agency, Vienna, 1984.
- [9] Achmad Suntoro, Pengembangan Teknik Penanggulangan Gangguan Listrik Pada Operasi Tungku Reduksi ME-11, Prosiding Pertemuan Ilmiah Nasional Rekayasa Perangkat Nuklir, Serpong, 2007, Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir – BATAN
- [10] Achmad Suntoro, Pemantik LPG otomatis untuk pembakar gas hidrogen pada proses reduksi tungku ME-11, Prosiding PPI-PDIPTN 2007, Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan , 2007

