

## METODOLOGI KENDALI LOGIK TAMBAHAN PADA SISTEM TUNGKU REDUKSI ME-11

ACHMAD SUNTORO

Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir – BATAN  
Kawasan Puspitek Serpong, Tangerang 15310,  
Banten Telp.( 021) 7560896  
E-mail : suntoro@batan.go.id

### Abstrak

**METODOLOGI KENDALI LOGIK TAMBAHAN PADA SISTEM TUNGKU REDUKSI ME-11.** Perubahan serbuk  $U_3O_8$  menjadi serbuk  $UO_2$  dilakukan melalui proses reduksi yang melibatkan penggunaan gas hidrogen sebagai pereduksi pada suhu  $700\text{ }^\circ\text{C}$ . Kendali logik atas sistem instrumentasi dalam proses tersebut sangat diperlukan dengan titik berat faktor keselamatan (safety) selama proses berlangsung, mengingat gas hidrogen dapat bersifat mudah meledak pada kondisi tertentu. Antisipasi sistem tungku kalsinasi-reduksi ME-11 untuk mengatasi gangguan selama proses reduksi berlangsung masih belum optimal. Oleh karena itu kendali logik tambahan akan dipasang dengan antisipasi enam jenis gangguan tambahan. Makalah ini berisi metodologi kendali logik yang akan dipasang pada tungku kalsinasi reduksi ME-11 sebagai kendali tambahan tersebut.

*Kata kunci: metodologi, kendali logik, proses reduksi, tungku reduksi, gangguan proses.*

### Abstract

**A METHODOLOGY OF ADDITIONAL LOGIC CONTROL FOR REDUCTION FURNACE ME-11.** A conversion of powder  $U_3O_8$  into powder  $UO_2$  is done by way of reduction process at a furnace temperature  $700\text{ }^\circ\text{C}$  involving hydrogen gaseous as the reducer. Logic control of the instrumentation process of the reducing activity is necessarily important in this activity with the emphasize on its safety system during the process, because the hydrogen gaseous is potentially explosive at a certain condition. The furnace system safety of calcination-reduction furnace ME-11 to anticipate for any disturbances during the reducing process is not yet optimal. Additional logic control will be provided in the ME-11 furnace system by introducing six disturbances to be solved. This paper contains logic control methodology that will be applied to the additional logic control of the calcination-reduction furnace ME-11.

*Keywords: methodology, logic control, reduction process, reduction furnace, process disturbance*

### PENDAHULUAN

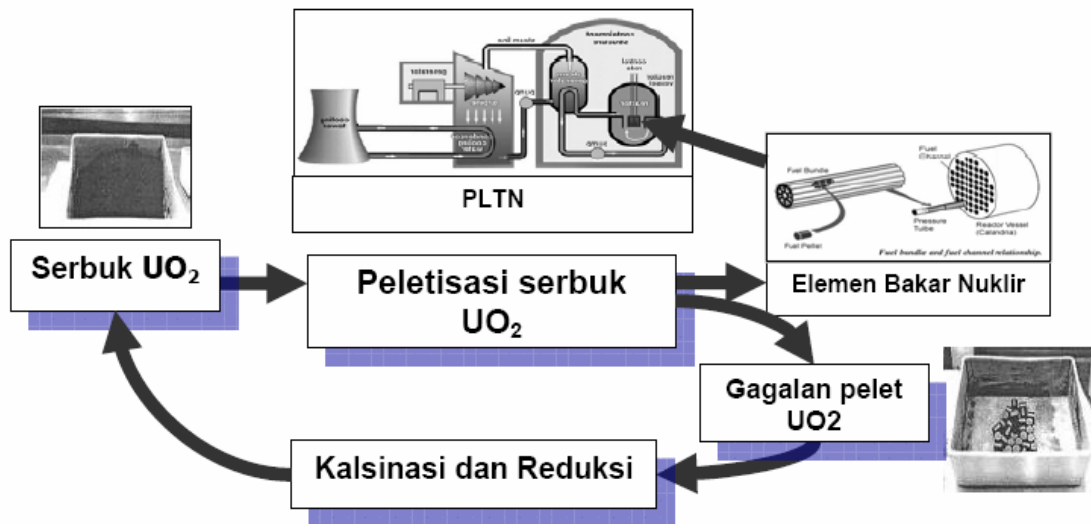
Bagan umum proses pembuatan bahan bakar nuklir adalah seperti pada Gambar 1. Proses kalsinasi dan reduksi digunakan untuk daur ulang produk gagal pelet bahan bakar, yang untuk kemudian diproses kembali menjadi bahan bakar yang memenuhi persyaratan. Proses reduksi melibatkan penggunaan gas hidrogen dan suhu tinggi. Sedangkan proses

kalsinasi atau oksidasi hanya menggunakan udara. Oleh karena itu sistem keselamatan dalam proses reduksi memerlukan perhatian lebih.

Kendali logik yang dimaksud dalam makalah ini adalah sistem *switching* dari instrumentasi yang terlibat dalam proses, dengan titik berat berjalannya proses secara menyeluruh dengan faktor utama adalah keselamatan. Istilah kendali logik digunakan untuk membedakan dengan kendali proses yang

mempunyai titik berat pada keberhasilan atas obyek yang diproses (kendali logik satu *layer* di atas kendali proses). Sesungguhnya kedua jenis kendali tersebut sangat erat hubungannya dan tidak mungkin dipisahkan, tetapi untuk memudahkan penjelasan dalam makalah ini,

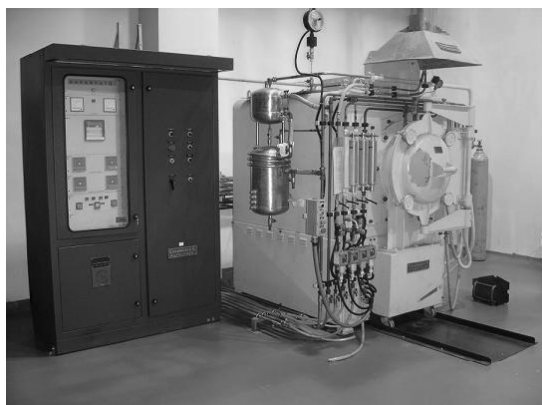
kendali proses diasumsikan telah berjalan dengan baik dan akan memberi masukan ke kendali logik selama proses reduksi berlangsung. Metodologi kendali logik yang akan diterapkan dan dijelaskan dalam makalah ini bersifat *ON-OFF (binary)*.



Gambar 1. Siklus Operasi Pembuatan Bahan Bakar Nuklir.

## PROSES REDUKSI

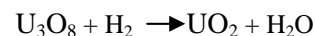
Pelet  $UO_2$  dari hasil proses pembuatan bahan bakar yang gagal untuk memenuhi persyaratan sebagai bahan bakar nuklir harus dipisahkan untuk didaur ulang dan diproses kembali menjadi pelet yang memenuhi syarat. Untuk itu bentuk pelet  $UO_2$  gagal tersebut harus dirubah fisiknya menjadi serbuk.



Gambar 2. Tungku Kalsinasi Dan Reduksi ME-11.

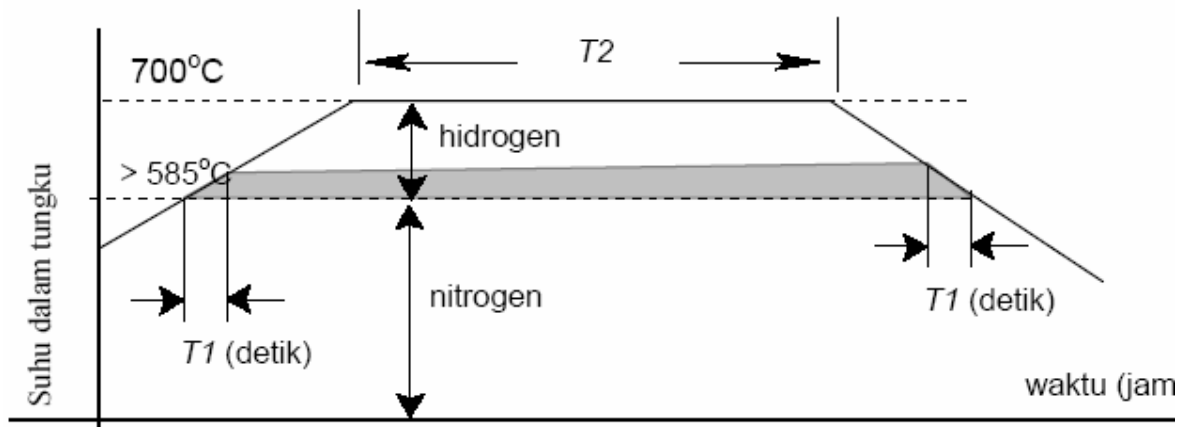
Pemanasan pelet  $UO_2$  dalam aliran udara pada suhu di atas  $500^{\circ}C$  akan mengubah pelet tersebut menjadi serbuk  $U_3O_8$ , yang dikenal

dengan proses kalsinasi. Selanjutnya proses reduksi digunakan untuk mengubah serbuk  $U_3O_8$  tersebut menjadi serbuk  $UO_2$ , yaitu pemanasan dalam tungku yang dialiri gas hidrogen pada suhu  $700^{\circ}C$ <sup>[1]</sup>. Bentuk fisik sistem tungku kalsinasi-reduksi ME-11 seperti pada Gambar 2. Proses reduksi  $U_3O_8$  akan mengikuti reaksi kimia dalam tungku sebagai berikut:



$H_2O$  yang terjadi akibat reaksi akan berbentuk uap panas dan keluar dari tungku bersama-sama dengan gas  $H_2$  lebihan, sedangkan serbuk  $UO_2$  akan tetap tinggal di dalam tungku. Uap air panas selanjutnya dijebak oleh ruang kondensasi hingga menjadi air sebelum sempat keluar ke udara bebas, dan gas  $H_2$  lebihan akan keluar dari sistem tungku untuk kemudian dibakar oleh nyala api dari gas *LPG* di ruang pembakaran.

Proses reduksi melibatkan penggunaan gas hidrogen, nitrogen dan *LPG* serta tungku pemanas, dimana serbuk  $U_3O_8$  yang akan direduksi ada di dalam tungku tersebut, dan pola temperatur dan aliran gasnya seperti ditunjukkan pada Gambar 3<sup>[2]</sup>.



Gambar 3. Pola Proses Reduksi.

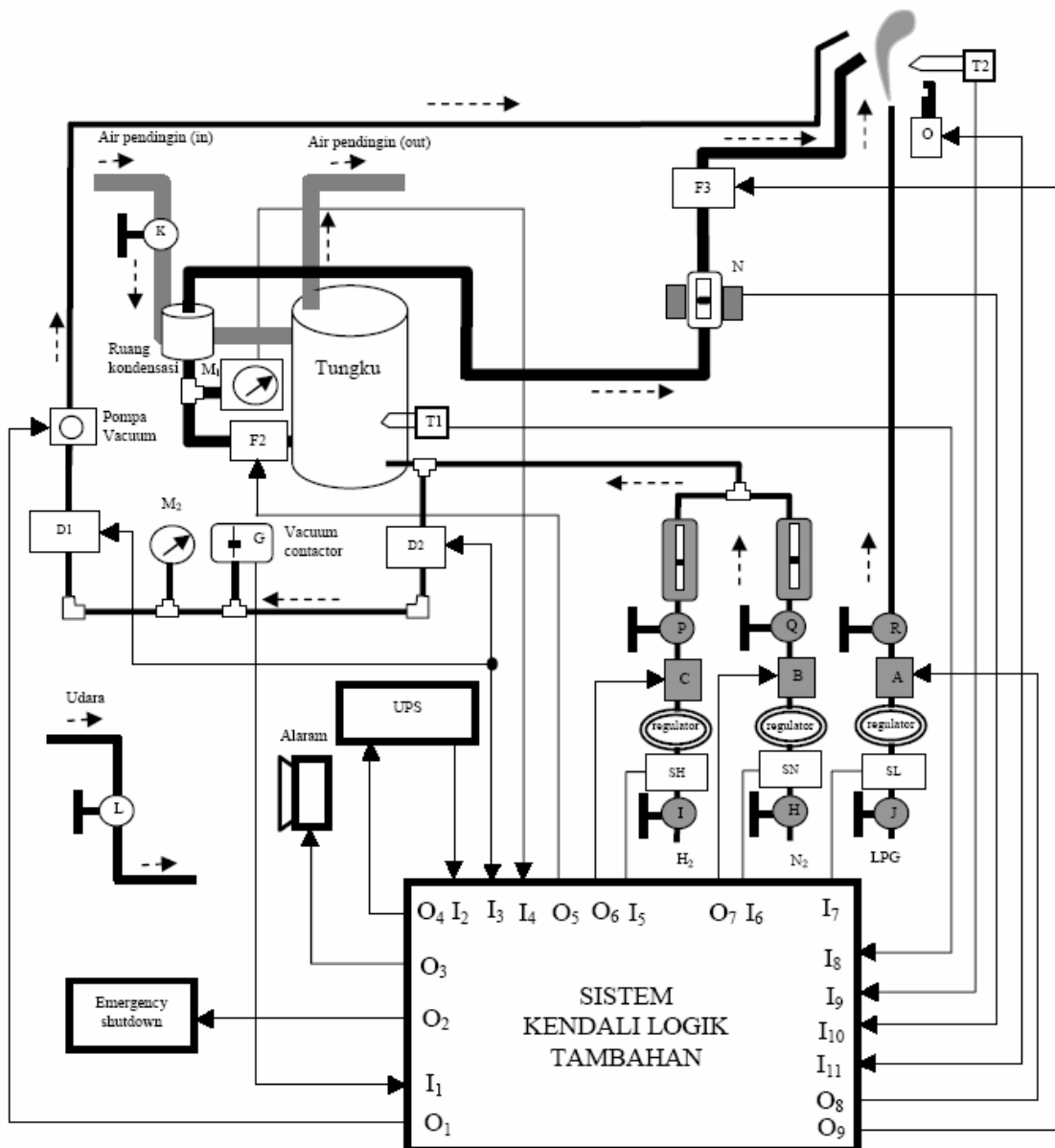
Sebelum proses reduksi dimulai, pompa vakum dinyalakan untuk mengosongkan udara di dalam tungku. Setelah udara kosong maka gas nitrogen dialirkan masuk untuk kemudian keluar dari tungku dengan tidak memberi kesempatan udara luar masuk kembali ke tungku (dibuat gas nitrogen bertekanan lebih tinggi dari udara luar).

Dalam kondisi gas nitrogen mengalir tersebut, temperatur tungku dinaikkan dan gas LPG dinyalakan. Jika temperatur dalam tungku telah melewati *auto-ignition* temperatur dari gas hidrogen yaitu  $585^{\circ}\text{C}^{[3]}$ , maka katup gas hidrogen dibuka sehingga gas hidrogen mengalir juga bersama-sama dengan gas nitrogen ke dalam tungku. Kedua gas tersebut mengalir bersama dalam waktu  $T_1$  detik untuk selanjutnya hanya gas hidrogen saja yang mengalir dan keluar dari tungku dan dibakar oleh api dari gas LPG. Sementara itu temperatur dalam tungku terus dinaikkan hingga  $700^{\circ}\text{C}$  dan kemudian dijaga konstan selama  $T_2$  jam.  $T_1$  dan  $T_2$  adalah variabel yang nilainya bisa diatur.

Dalam proses reduksi tersebut, kendali logik akan menerima masukan dari variabel

proses baik yang ditentukan oleh operator tungku dan dari sistem tungku sebagai akibat dari proses yang berlangsung. Dalam kondisi normal, masukan dari kendali logik hanya dari operator dan sistem tungku saja, tetapi antisipasi kondisi tidak-normal harus dilakukan dengan titik berat sasaran untuk meningkatkan faktor keselamatan. Masukan pada kondisi tidak-normal bukan berasal dari dua hal tersebut saja, tetapi akan datang dari luar sistem, misalnya: api pembakar gas hidrogen padam, tidak ada aliran listrik dari PLN, dan gangguan lain yang mungkin bisa terjadi baik dari luar maupun dari sistem tungku itu sendiri.

Antisipasi sistem tungku kalsinasi reduksi ME-11 terhadap kondisi tidak-normal dalam operasi belum optimal karena dalam banyak tindakan atas kegagalan diserahkan pada operator, oleh karena itu sistem kendali logik perlu ditambahkan dalam rangka meningkatkan faktor keselamatan operasinya. Posisi kendali logik tambahan yang diperlukan, secara blok diagram, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Bagan Tungku Reduksi Dengan Kendali Logik Tambahan.

## METODOLOGI

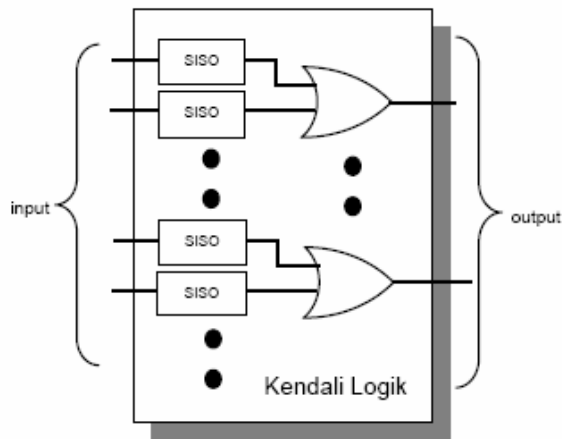
Proses kalsinasi hanya melibatkan penggunaan udara, sedangkan proses reduksi menggunakan gas nitrogen, hydrogen, dan LPG. Dari segi kendali logik akan dibuat kendali logik proses kalsinasi merupakan *subset* dari kendali logik reduksi. Oleh karena itu, dalam makalah ini hanya kendali reduksi yang akan dibahas.

Merujuk pada Gambar 4 yang merupakan konseptual disain proses reduksi, terlihat bahwa sistem kendali logik tambahan memiliki sebelas input dan delapan output. Secara diagramatik

terlihat sistem kendali menggunakan sistem MIMO (*multiple input multiple output*). Namun demikian tidak selalu sistem kerja MIMO harus diterapkan meskipun dilihat dari segi jumlah input dan outputnya berjumlah banyak. Sistem MIMO terlalu rumit untuk diterapkan pada sistem tungku ini, oleh karena itu pendekatan sistem *multiple SISO (single input single output)* yang akan digunakan.

Gambar 5.a memperlihatkan model multiple SISO untuk kendali logik tambahan. Sistem SISO yang dimaksud dalam makalah ini bisa berbentuk sistem SISO yang lengkap dengan umpan baliknya, dan sistem dalam

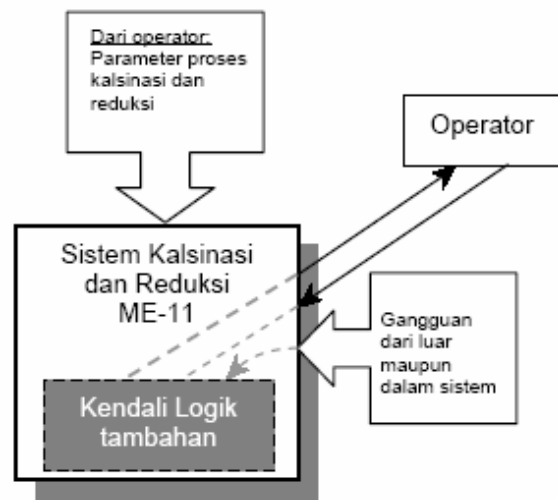
teknik digital berupa rangkaian kombinasional atau skwensial. Pengendalian suhu dalam tungku, aliran gas buang, dan tekanan gas dalam tungku misalnya merupakan kendali proses SISO dengan umpan balik. Kendali logik tambahan akan memonitor kegiatan SISO tersebut untuk selanjutnya mengambil tindakan sesuai dengan algoritma yang digunakan.



Gambar 5a. Pendekatan MIMO dengan SISO

Gambar 5.b memperlihatkan posisi kendali logik tambahan pada sistem tungku ME-11. Sistem tungku ME-11 (*existing*) menyerahkan semua tindakan kepada operator jika terjadi gangguan selama operasi<sup>[2]</sup>. Kendali tambahan berusaha mereduksi tugas operator jika gangguan terjadi yaitu dengan berusaha mencoba mengatasi gangguan tersebut bersama-sama dengan operator dalam rentang waktu tertentu (sesuai dengan algoritma yang digunakan).

Ada banyak variabel gangguan yang berpotensi akan masuk ke sistem dan harus bisa di atasi, namun demikian hanya 13 input gangguan yang dipilih untuk di atasi oleh kendali logik tambahan bersama-sama dengan operator. Dari 13 gangguan tersebut 6 adalah gangguan tambahan. Jenis gangguan tersebut masuk ke sistem kendali logik dikelompokkan menjadi empat kelompok, yaitu Gagal#1 hingga Gagal#4. Tabel 1 adalah jenis gangguan dan kategori pengelompokannya.



Gambar 5b. Kondisi Kendali Logik Tambahan

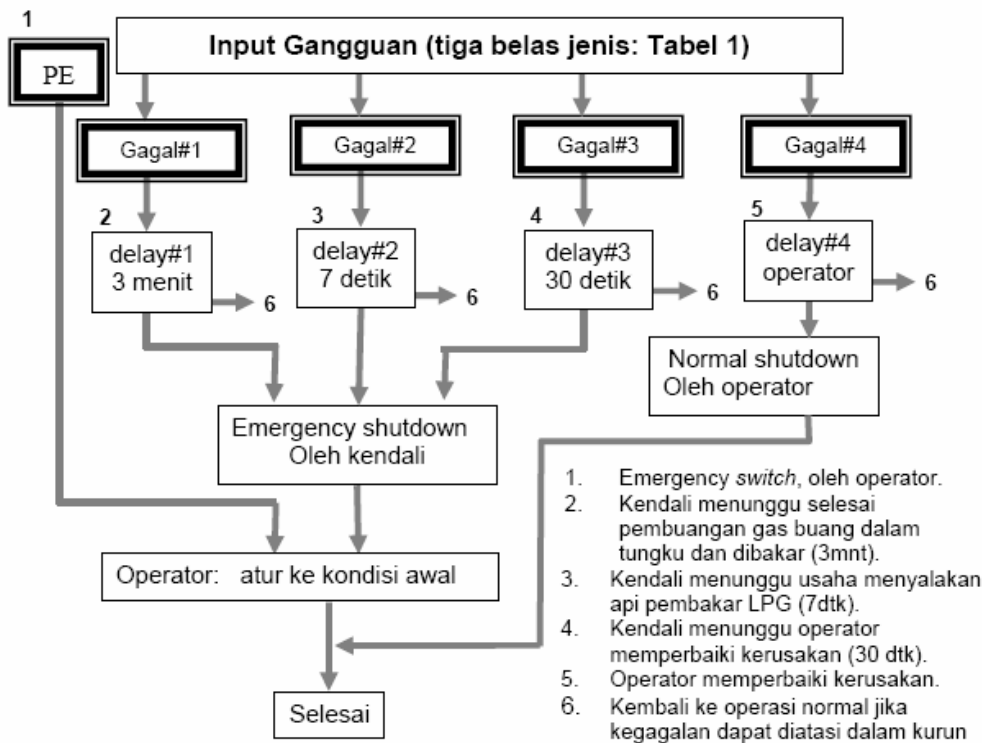
Pengelompokan gangguan dibuat berdasarkan tingkat pengaruhnya terhadap sistem tungku reduksi secara menyeluruh serta tindakan yang harus dilakukan oleh kendali logik untuk mengatasinya. Penentuan ini dilakukan secara subyektif berdasarkan pengalaman empiris operasional di lapangan, dan mengacu pada dokumen yang berkaitan dengan keselamatan dalam penggunaan gas hidrogen<sup>[3, 4, 5, 6, 7]</sup>.

Rencana yang diterapkan pada kendali tambahan ini adalah: sinyal gagal akan muncul karena dipicu oleh adanya gangguan, dan gangguan tersebut harus di atasi oleh operator maupun kendali logik bersama-sama. Jika operator maupun sistem kendali logik tidak mampu mengatasi dalam waktu yang ditentukan, maka kendali logik akan menghentikan sistem operasi secara *emergency shut-down*. Tenggang waktu yang ditentukan untuk penyelesaian tersebut ditentukan berdasarkan pengalaman selama operasi. Angka-angka waktu yang diberikan pada Gambar 6 merupakan angka sementara (*default*), sebagai gambaran yang akan ditentukan nanti secara empiris (dengan persetujuan bersama).

Tabel 1. Jenis Input Gangguan dan Pengelompokannya.

No	Jenis Gangguan	Kelompok
+1.	Listrik PLN padam*.	Gagal#1
+2.	Api pembakar gas LPG padam.	Gagal#2
+3.	Kebocoran gas hidrogen di lingkungan.	Gagal#3
4.	Tekanan gas dalam tungku tinggi.	Gagal#3
+5.	Aliran gas buang tinggi.	Gagal#3
+6.	Tekanan gas udara-tekan saat H <sub>2</sub> ber-operasi rendah**.	Gagal#3
7.	Suhu air pendingin naik.	Gagal#4
8.	Tekanan gas nitrogen rendah.	Gagal#4
9.	Temperatur tungku tinggi	Gagal#4
+10.	Aliran gas buang rendah	Gagal#4
11.	Tekanan gas hidrogen rendah	Gagal#4
12.	Tekanan gas LPG rendah	Gagal#4
13.	Tekanan gas dalam tungku ketika H <sub>2</sub> mengalir rendah.	Gagal#4

\* Menjadi Gagal #2 jika saat itu gas N<sub>2</sub> yang beroperasi. + Input gagal tambahan.  
\*\* Menjadi Gagal #4 jika saat itu gas N<sub>2</sub> yang beroperasi.



Gambar 6. Diagram Alir (Algoritma) Kendali Logik Tambahan

### Aliran Sinyal Gangguan

Sinyal gangguan akan muncul jika gangguan yang tertulis di Tabel 1 terjadi. Sinyal tersebut berupa sinyal biner OFF atau ON. OFF berarti tidak terjadi gangguan dan ON terjadi gangguan. Berikut ini penjelasan aliran sinyal gangguan dari diagram pada Gambar 6 (algoritma):

1. Jika switch emergency PE ditekan oleh operator (terjadi gangguan yang mengharuskan proses harus dihentikan secara manual oleh operator), maka seluruh sistem tungku terputus hubungannya dengan aliran listrik, termasuk supply listrik oleh UPS. Pengaturan ke kondisi awal oleh operator terhadap semua switch dan valve

- dilakukan untuk membuat agar sistem tungku pada posisi istirahat.
2. Jika sinyal Gagal#1 aktif (listrik PLN padam), maka UPS akan menggantikan aliran listrik memberi supply hanya pada rangkaian kendali logik, sehingga sistem kendali logik tetap beroperasi. Selama waktu 3 menit nitrogen masuk ke tungku untuk mendorong keluar gas yang ada di dalam tungku saat itu dan dibakar. Dengan waktu 3 menit tersebut diperhitungkan tungku telah berisi penuh gas nitrogen menggantikan gas sebelumnya untuk selanjutnya sistem tungku dimatikan oleh kendali logik. Waktu 3 menit bersifat variabel yang bisa dirubah untuk disesuaikan secara empiris. Jika dalam waktu sebelum 3 menit aliran listrik kembali normal, maka sistem reduksi meneruskan operasinya dengan catatan: operator harus menekan switch masuknya hidrogen secara manual jika suhu masuknya hidrogen sudah tercapai (meskipun mode masuknya hidrogen yang dipilih adalah otomatis).
  3. Jika sinyal Gagal#2 aktif (api pembakar gas LPG padam), maka sistem pemantik otomatis akan aktif berusaha menyalakan gas LPG dalam rentang waktu 7 detik, dan pada posisi ini katup masuk dan keluar tungku ditutup oleh kendali logik. Jika dalam waktu tersebut LPG gagal untuk menyala, maka sistem tungku akan dimatikan oleh kendali logik. Jika berhasil nyala operasi dilanjutkan (katup masuk dan keluar tungku dibuka kembali oleh kendali logik). Waktu 7 detik bersifat variabel yang bisa dirubah untuk disesuaikan.
  4. Jika sinyal Gagal#3 aktif (lihat Tabel 1), maka kendali logik memberi waktu 30 detik untuk sistem tungku dan atau operator mengatasi gangguan tersebut. Jika gangguan dapat di atasi, maka operasi berjalan kembali. Jika gangguan tidak dapat di atasi maka sistem tungku akan dimatikan oleh kendali logik. Waktu 30 detik bersifat variabel yang bisa dirubah untuk disesuaikan.
  5. Jika sinyal Gagal#4 aktif (lihat Tabel 1), maka kendali logik akan menunggu untuk memberi kesempatan kepada operator mengatasi gangguan yang terjadi. Jika gangguan dapat di atasi, maka langsung

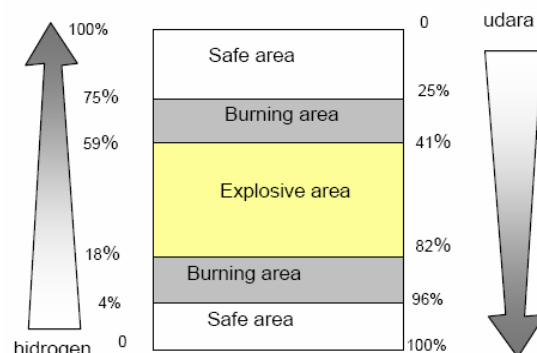
operasi berjalan kembali oleh kendali logik. Jika operator tidak mampu mengatasi gangguan maka operator harus mematikan sistem tungku secara normal. Sinyal Gagal#4 ini adalah masukan yang sudah ada pada kendali logik ME-11, jadi bukan masukan tambahan kecuali gagal karena gas buang rendah.

Sistem kendali logik ME-11 (*existing*) hanya mengatasi butir 1 dan 5 dalam algoritma Gambar 6 dengan penyelesaiannya diserahkan ke operator. Butir 2, 3 dan 4 akan di atasi oleh logik kendali tambahan bersama-sama dengan operator. Selama terjadi gangguan dan sistem dalam penantian untuk di atasi, maka alarm akan berbunyi. Input gagal dengan tanda (+) merupakan tambahan yang belum diantisipasi oleh sistem tungku ME-11 yang lama (*existing*).

Sinyal Gagal pada butir 1 hingga 5 bisa masuk secara bebas (paralel) ke kendali logik. Input yang satu bebas terhadap yang lain, sehingga sebenarnya kendali logik tambahan dan kendali logik yang ada (*existing*) merupakan lima sistem yang dihubungkan OR untuk mematikan sistem tungku. Input gagal tersebut masing-masing merupakan output sistem SISO yang mempunyai feedback (No. 2, 4, 5, 9, 10, dan 13 pada Tabel 1) dan sisanya adalah output sistem digital kombinasional.

### Gas Hidrogen

Hidrogen adalah gas ringan (lebih ringan dari udara), tidak berwarna dan berbau. Jika terbakar tidak menunjukkan adanya nyala dan akan menghasilkan panas yang sangat tinggi<sup>[3,4]</sup>. Gambar 7 memperlihatkan karakteristik gas hidrogen dalam kontek adanya tambahan energi dari luar dan campuran udara.



Gambar 7. Karakteristik Campuran (Volume) Gas Hidrogen dan Udara<sup>[3,4]</sup>

Energi dari luar sebesar 20  $\mu\text{J}$  dari letikan api telah mampu membakar atau meledakkan gas tersebut. Meskipun tanpa energi dari luar, gas hidrogen dapat terbakar atau meledak pada suhu 585°C jika campurannya terpenuhi<sup>[3, 4]</sup>.

#### Aliran Gas Hidrogen

Aliran gas hidrogen yang keluar dari tungku harus dikendalikan<sup>[7]</sup>. Jika aliran gas hidrogen lebih dari reaksi reduksi di dalam tungku terlalu tinggi, maka aliran ini harus diturunkan karena berpotensi menyebabkan ledakan yaitu menyebabkan prosentasi volume hidrogen dan udara melewati batas aman Gambar 7. Aliran terlalu tinggi dan terlalu rendah akan menyalahi parameter proses dan berakibat gagalnya hasil proses reduksi. Kendali proses lengkap dengan sistem *feedback* dijalankan untuk mengatasi aliran gas hidrogen tersebut. Jika daerah kerja aliran yang ditetapkan gagal dijalani oleh kendali proses, maka kendali logik akan bertindak sesuai dengan algoritma pada Gambar 6.

Proses keluar dan masuknya gas dari dan ke tungku dilakukan oleh katup F3 dan F2 (Gambar 4). Tindakan untuk menutup aliran gas, dilakukan dengan menutup kedua katup dalam waktu yang sama, tetapi ketika membuka F2 dibuat terlambat 2 detik. Hal ini dimaksud untuk mengurangi terjadinya *overshoot* (menghembus) aliran gas yang berpotensi mematikan nyala api *LPG* dan berpotensi melewati batas aman Gambar 7. Waktu 2 detik adalah variabel yang bisa diatur dan ditentukan secara empiris. Tekanan gas dalam tungku, baik ketika gas nitrogen maupun hidrogen yang sedang mengalir selalu dikendalikan oleh kendali proses seperti pada aliran gas hidrogen.

#### PEMBAHASAN

Disain sistem kendali logik (*existing*) ME-11 operasinya berorientasi manual oleh operator. Sistem kendali logiknya mendapat masukan dari deteksi gangguan digunakan untuk memberi sinyal warning berupa lampu maupun alarm, namun tidak berusaha untuk mengatasi gangguan yang terjadi. Tindakan akibat gangguan diserahkan sepenuhnya kepada operator. Kendali logik tambahan akan berusaha mengatasi gangguan yang terjadi secara paralel dengan operator dan dengan

jumlah jenis gangguan lebih banyak dari semula (Tabel 1).

Oleh karena itu, kendali tambahan akan menambah beberapa sistem SISO yang bekerja secara individu di dalam sistem dan merupakan bagian dari sistem tungku ME-11 menyeluruh. Dengan mengacu pada Gambar 4, tambahan tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut.

#### Sistem Vakum



Gambar 8a. Ruang Tungku ME-11 dan Penutupnya.

Disain ME-11 tidak menggunakan sistem *vakum* ketika proses reduksi akan dimulai, namun cukup dimulai dengan *flushing* gas nitrogen. Namun demikian pembersihan udara (*purging*) sebelum hidrogen masuk menurut *Safetygram#4* untuk gas hidrogen mengharuskan proses vakum untuk instalasi yang akan dilalui hidrogen, jika instalasi tersebut tidak sederhana<sup>[5]</sup>.



Gambar 8b. Potensi Udara Terjebak Dalam Tungku

Penulis berpendapat bahwa instalasi pada ME-11 tersebut tidak sederhana karena ada tempat di dalam tungku yang memungkinkan

untuk udara terjebak seperti yang ditunjukkan dengan dua lingkaran pada Gambar 8.b. Dudukan dua plat siku memanjang terlungkup dan berongga direkatkan oleh las titik berpotensi menyimpan udara dan sulit keluar hanya dengan *flushing* gas nitrogen. Oleh karena itu, sistem *vakum* perlu ditambahkan.

#### **Sistem Pemantik.**

Gas hidrogen yang keluar dari tungku harus dibakar oleh nyala api dari gas *LPG*. Penyalaan gas *LPG* pada disain ME-11 dilakukan secara manual oleh operator. Merujuk pada dokumen ES & H manual untuk gas hidrogen<sup>[3]</sup> penyalaan harus dilakukan tidak secara manual, tetapi menggunakan alat bantu seperti rangkaian elektronik. Berdasarkan dokumen tersebut, sistem SISO pemantik otomatis ditambahkan. Sistem ini bekerja mengikuti algoritma pada Gambar 6, posisi Gagal#2.

#### **Sistem Aliran Gas Buang.**

Disain ME-11 tidak mendeteksi aliran gas buang. Jika dilihat dari Gambar 7, potensi gas hidrogen meledak jika dibakar apabila mempunyai komposisi lebih dari 18% volume dengan udara. Bahkan prosentase tersebut bisa turun hingga 13.8 % jika energi pembakar ditingkatkan<sup>[6]</sup>.

Gas hidrogen yang terbakar akan menghasilkan panas (kalor) yang tinggi, lebih tinggi dari panas yang dihasilkan pembakaran bensin<sup>[4]</sup>. Aliran terlalu tinggi berpotensi untuk membentuk komposisi di atas batas aman tersebut. Oleh karena itu, aliran gas buang hidrogen harus dikendalikan. Sebuah SISO untuk aliran gas buang dipasang. Pemasangan kendali ini merujuk dokumen EH & S untuk gas hidrogen<sup>[3]</sup> dan *Safety Standard* untuk sistem gas hidrogen dari NASA<sup>[7]</sup>.

#### **Sistem UPS.**

Sistem tungku ME-11 didisain untuk bekerja tidak ada gangguan aliran listrik. Sehingga jika aliran listrik dari PLN padam, sistem kendali tungku secara menyeluruh tidak bekerja termasuk sistem katup *LPG* yang bekerja *normally close*. Nyala *LPG* akan padam sementara gas hidrogen tetap mengalir sebanyak isi tungku, hingga habis, karena didorong keluar oleh gas nitrogen yang mempunyai katup *normally open*. Kondisi ini

setara dengan kejadian gas yang bocor sehingga harus dihindari.

Sistem UPS (*uninterruptable power supply*) ditambahkan hanya untuk memberi aliran listrik pada sistem kendali logik, sehingga ketika gas hidrogen dalam tungku didorong keluar oleh gas nitrogen, api dari *LPG* tetap menyala meskipun listrik dari PLN padam (*supply* katup *LPG* diambil alih oleh UPS). Sistem UPS ini bekerja sama dengan sistem pemantik dalam operasinya.

#### **Tekanan Gas dalam Tungku.**

Jika terjadi tekanan gas dalam tungku berlebih, maka peringatan (*warning*) diberikan oleh sistem ME-11 agar operator bertindak. Kendali logik tambahan mengikuti pola disain ME-11 tersebut, namun dengan tambahan. Ketika *warning* diberikan, kendali tambahan menutup katup masuk sehingga tekanan gas dalam tungku tidak terus naik sementara operator belum bertindak. Algoritma pada Gambar 6 dijalankan, posisi Gagal#3.

#### **Katup Hidrogen.**

Disain tungku ME-11 untuk katup hidrogen menggunakan *redundancy* dua *solenoid valve* yang dihubungkan secara seri. Sistem *redundancy* katup ini diganti menggunakan hanya sebuah *solenoid-pneumatic valve*. Katup pengganti tersebut hanya akan aktif jika logik aliran listrik dan tekanan udara (*pneumatic*) yang digunakan untuk membuka katup keduanya siap. Penggantian ini merujuk pada sistem katup tungku sintering ME-06 Degussa<sup>[8]</sup> yang menggunakan gas hidrogen dalam operasinya. Jika tekanan gas untuk katup tersebut turun, maka *warning* akan aktif dan algoritma posisi Gagal#3 dijalankan.

### **KESIMPULAN**

Metodologi sistem kendali logik tambahan untuk tungku reduksi ME-11 telah dijelaskan secara kualitatif-grafis. Dengan cara penyampaian ini diharapkan akan lebih mudah dipahami oleh para praktisi (teknisi) yang lebih sering mendengarkan, atau membaca ungkapan kata, dan melihat gambar atau diagram.

Penambahan masukan gangguan (untuk tujuan pengembangan) yang tidak tercantum pada Tabel 1 dapat dilakukan dengan hubungan

OR pada tingkat seperti yang telah dijelaskan atau dengan menambah komponen *delay* baru jika diperlukan (pada Gambar 6).

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Martini S., 1985, *Technical note on risks evaluation for BATAN safety assesment of the fuel fabrication development laboratory.*, Nira.
2. Alamari., 1987, *Operation Directions for the Furnace Type RM/20.*, BATAN RSG-LP Quality Lifetime Document., 35.0591.24.
3. ES & H Manual, January 12 2006, "Document 18.4 Hydroge", Volume II, Part 18, Revision 3.
4. Los Alamos National Laboratory, Hydrogen Safety, Doc. No: ESH13-401-sb-8/00.
5. Air Products., Safetygram #4: 2004, *Gaseous Hydrogen.*, Air products and Chemicals, Inc.
6. <http://www.airproducts.com/nr/rdonlyres/3c6d640e-93c5-4bd0-8f21-8f7344c66554/0/safetygram4.pdf>
7. National Safety Council, Agustus 2006, "Data Sheet 1-700-Rev 86".
8. NASA, 1997, "Safety Standard for Hydrogen and Hydrogen Systems"., Office of Safety and Mission Assurance., Washington DC 20546.
9. <http://www.hq.nasa.gov/office/codecd/doctree/canceled/871916.pdf>
10. Hanau B Wolfgang., 1983, "Wiring Diagram", Dokumen No.: 3.802-81515.1., Degussa.

#### TANYA JAWAB

##### Pertanyaan

1. Jelaskan apa yang dimaksud dengan proses kalsinasi! (Supriyono)
2. Waktu yang dibutuhkan agar proses terjadi dengan sempurna? (Supriyono)
3. Bagaimana untuk mengatasi aliran hydrogen yang berlebihan? (Sajima)
4. Mengapa kendali logic tambahan harus dibuat? (Ferry Suyatno)

##### Jawaban

1. Tujuan utama sistem tungku ini adalah agar pellet  $UO_2$  yang rusak dapat kembali diproses. Pellet  $UO_2$  harus di rubah menjadi serbuk kembali. Proses kalsinasi

akan merubah pelet  $UO_2$  menjadi serbuk  $U_3O_8$ . Selanjutnya serbuk  $U_3O_8$  dengan proses reduksi akan menjadi serbuk  $UO_2$ , jadi proses kalsinasi dalam sistem tungku ini adalah sebagai proses awal.

2. Pertanyaan ini seharusnya ditujukan kepada process engineer pengguna tungku (peneliti-nya). Saya sebagai pengembang tidak mengetahui berapa lama waktu yang dibutuhkan, tetapi sistem tungku didisain untuk memfasilitasi untuk proses tersebut hingga selesai.
3. Pada awalnya (disain sistem tungku lama) hal ini dilakukan secara manual, dan selanjutnya (disain tambahan) sebuah flow-switch akan selalu memonitor laju aliran tersebut. Jika aliran melewati batas, maka kendali tambahan akan menutup katup aliran masuk hydrogen tersebut.

Karena banyak gangguan ketika proses operasi reduksi sedang berlangsung harus diserahkan kepada operator untuk bertindak. Padahal tingkat gangguan ditinjau dari segi keselamatan kerja bervariasi, sehingga kadang-kadang ada gangguan yang diperlukan penanganan dalam waktu relatif singkat yang mungkin operator tungku tidak mampu melaksanakannya. Dengan rangkaian kendali logic tambahan ini, operator akan sangat terbantu untuk kondisi tersebut. Kendali logic tambahan bekerja bersama-sama dengan operator dalam mengatasi gangguan yang terjadi selama proses reduksi berlangsung