

## SISTEM SWITCHING POMPA VAKUM TAMBAHAN PADA TUNGKU REDUKSI ME-11

Achmad Suntoro  
Pusat Rekayasa PerangkatNuklir- BATAN

### ABSTRAK

*Telah dipasang pompa vakum berikut sistem switchingnya untuk meningkatkan faktor keselamatan kerja operasi tungku ME-11 pada proses reduksi, karena proses reduksi melibatkan gas hidrogen yang berpotensi menyebabkan ledakan pada komposisi tertentu dengan udara. Proses vakum dilaksanakan diawal proses reduksi. Sistem switching didisain berpola interlock sehingga kesalahan operator tungku dalam mengikuti urutan prosedur operasi proses reduksi dapat ditekan. Konsep solusi mekanisme tambahan diberikan dalam makalah ini jika sampel serbuk di dalam tungku tertarik ke luar tungku akibat bekerjanya sistem vakum ini. Tekanan udara hasil proses vakum yang diinginkan 500 mBar karena hanya digunakan untuk mencegah terjadinya komposisi udara-hidrogen yang berpotensi menimbulkan ledakan. Instalasi vakum beserta sistem switchingnya telah diuji dan dapat bekerja sesuai dengan disain yang ditetapkan.*

*Kata kunci: vakum tungku, switching vakum, flushing.*

### ABSTRACT

*A vacuum pump has been installed together with its switching system to increase the safety factor operation of the ME-11 furnace system for reduction process, because reduction process involving hydrogen gas which has potential eruption for a certain composition with air. The vacuum process will be conducted at the begining of the reduction process. The switching system has been designed with interlock system base to protect any unprocedural action by the furnace's operator during the reduction process. A concept of additional mechanism in case of that powder sample inside the furnace chamber flow out the chamber during the vacuum process is given. The air pressure required for the vacuum activity is 500 mBar as it will be used to prevent the air-hydrogen composition causing eruption not to happen. The vacuum installation including its switching system has been tested, and the result shows that it works properly as what mention in the design document.*

*Keywords : vacuum furnace, switching vacuum, flushing.*

## 1. PENDAHULUAN

Akhir proses peletisasi dalam fabrikasi bahan bakar nuklir akan menghasilkan pelet  $UO_2$  yang memenuhi syarat standar dan yang tidak memenuhi syarat. Pelet yang tidak memenuhi syarat 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 kalsinasi digunakan untuk merubah pelet  $UO_2$  menjadi serbuk  $U_3O_8$ , dan reaksi kimia reduksi digunakan untuk

merubah serbuk  $U_3O_8$  menjadi serbuk  $UO_2$ .

Reaksi kimia reduksi dilakukan dengan pemanasan dalam ruang tertutup dalam lingkungan gas hidrogen yang mengalir (berlebih). Hal yang perlu mendapat perhatian adalah bahwa gas hidrogen dapat meledak pada suhu dan komposisi dengan udara tertentu, atau jika mendapat energi tambahan dari luar (seperti pemanasan) pada komposisi tertentu tersebut<sup>[1]</sup>. Oleh karena itu, komposisi campuran hidrogen dan udara yang berpotensi menyebabkan terjadinya ledakan tersebut harus dihindari. Untuk gas hidrogen yang ada di dalam tungku, bentuk usaha

pencegahannya adalah dengan mengosongkan terlebih dahulu udara dalam ruang tungku dan menggantikannya dengan gas nitrogen sebelum gas hidrogen mengalir masuk ke dalam tungku. Untuk aliran gas hidrogen yang ke luar tungku, aliran gas hidrogen tersebut diatur kecepatannya sehingga dapat dibakar dengan aman di ruang pembakarannya<sup>[2]</sup>.

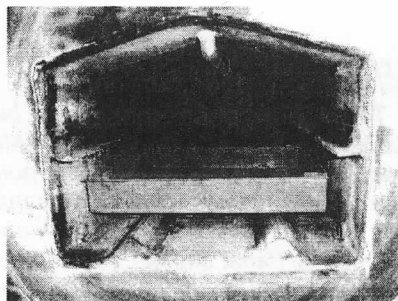
Tungku ME-11 didisain untuk dapat dioperasikan sebagai tungku proses reduksi (disamping tungku kalsinasi), tetapi tidak dilengkapi dengan sistem proses pengosongan udara (vakum). Usaha pencegahan terjadinya potensi komposisi campuran yang harus dihindari di dalam tungku hanya dilakukan dengan mendorong keluar udara dalam tungku dengan gas nitrogen. Modifikasi dilakukan pada sistem tungku ini dengan menambah sistem vakum untuk mengosongkan udara di dalam tungku sebelum gas nitrogen mendorong masuk ke dalam ruang tungku.

Posisi kerja sistem vakum di dalam proses reduksi secara menyeluruh merupakan perhatian khusus dalam rangka menetapkan disain *switching* operasi sistem vakum tersebut. Makalah ini menjelaskan sistem *switching* proses vakum tersebut agar sesuai dengan prosedur operasi reduksi yang diinginkan dengan menerapkan sistem *interlock* untuk menghindari kesalahan prosedur oleh operator.

## 2. PERTIMBANGAN DISAIN

Penambahan pompa vakum pada sistem tungku ME-11 dilakukan dengan pertimbangan keselamatan operasional sebagai berikut: pertama dengan melihat sistem kerja tungku sintering ME-06 (berada dalam satu gedung dengan tungku ME-11) yang digunakan dalam proses peletisasi bahan bakar nuklir operasinya menggunakan gas hidrogen. Pompa vakum digunakan pada awal proses di tungku ME-06 tersebut untuk menghindari komposisi campuran udara dan hidrogen yang

berpotensi dapat menyebabkan ledakan, dan mencegah terjadinya oksidasi pada filamen tungku karena tungku beroperasi pada suhu sangat tinggi (1800°C).



**Gambar 1.** Potensi jebakan udara dalam ruang tungku.

Pada ruang tungku ME-11 terdapat dudukan profil siku terlungkup direkatkan dengan las titik seperti pada Gambar 1. Profil siku tersebut diantisipasi berpotensi akan berisi udara didalamnya dan terjebak sulit keluar tungku atau sulit bercampur secara homogen dengan gas nitrogen mendorong keluar tungku. Dari dua pertimbangan tersebut, pompa vakum akan dipasang pada tungku ME-11 sebagai tambahan, mengikuti pedoman pada *Safetygram#4* untuk gas hidrogen<sup>[3]</sup>.

Karakteristik campuran udara dan gas hidrogen yang berpotensi menimbulkan ledakan terletak pada prosentasi volume udara 41% s/d 82 %<sup>[1]</sup>. Secara menyeluruh terhadap volume ruang tungku, angka tersebut cukup tinggi untuk dicapai setelah proses pendorongan udara oleh gas nitrogen dari luar tungku, sehingga beberapa disain sistem tungku yang menggunakan gas hidrogen tidak menggunakan pompa vakum diawal prosesnya. Disain tersebut dilaksanakan pada ruang tungku yang di dalamnya tidak mengandung potensi jebakan udara. Kondisi ruang tungku ME-11 mengandung potensi jebakan tersebut. Oleh karena itu, antisipasi terjadinya kondisi tidak homogen pada tempat

berpotensi terjadi jebakan udara perlu dilakukan.

Antisipasi terjadinya jebakan udara ini dijadikan pertimbangan utama dalam penambahan penggunaan pompa vakum pada tungku ME-11. Sebagai catatan, pernah terjadi letupan kecil didalam tungku ME-06 ketika beroperasi di tahun 1998 dan menyebabkan filamen tungku putus. Kejadian ini diduga disebabkan oleh fenomena tidak homogen pada jebakan udara didalam tungku ME-06 karena proses *flushing* (termasuk vakum) yang telah dilakukan kurang sempurna.

### 3. TATA KERJA

Tiga pola tata kerja dikembangkan dalam makalah ini yaitu instalasi mekanik, sistem operasi, dan rangkaian *switching* dari sistem vakum tambahan tersebut.

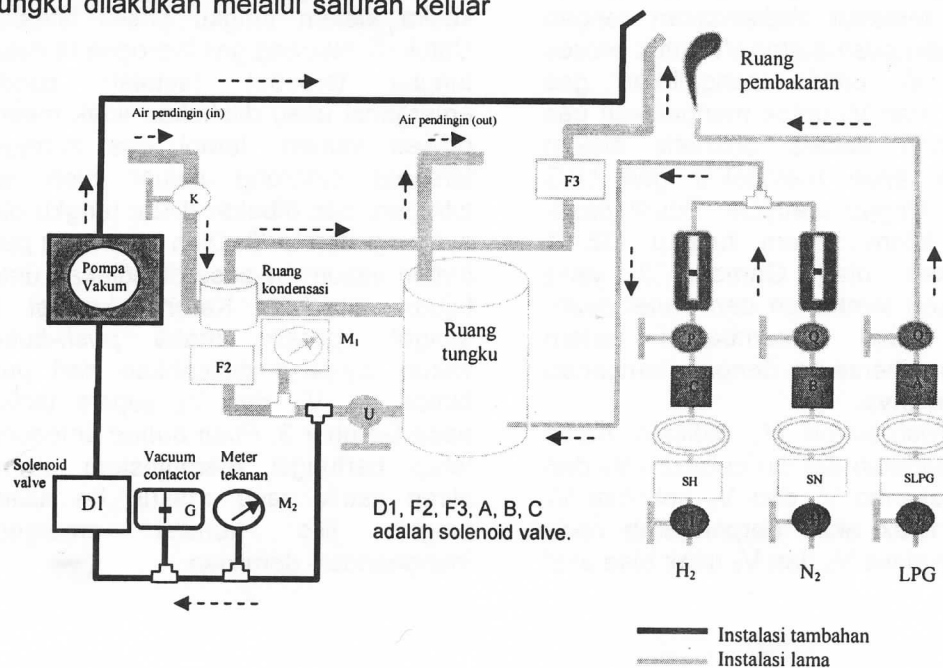
#### 3.1 INSTALASI MEKANIK

Diagram instalasi mekanik tambahan pompa vakum pada sistem tungku ME-11 ditunjukkan pada Gambar 2. Instalasi tambahan digambar dengan garis yang jelas (hitam) dan instalasi lama digambar dengan garis samar (abu-abu). Penyedotan udara dalam tungku dilakukan melalui saluran keluar

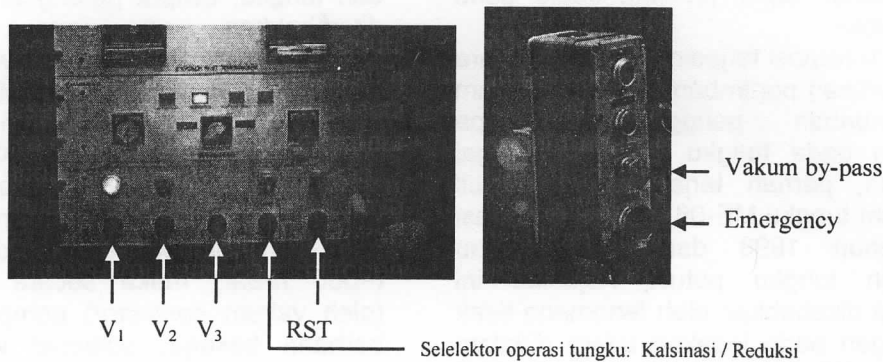
dari tungku. Empat perangkat mekanik ditambahkan yaitu: pompa vakum, *solenoid valve* D1, vakum *contactor* G, dan meter pengukur tekanan M.

Ketika sistem vakum bekerja maka *solenoid valve* D1 pada Gambar 2 akan membuka, *solenoid valve* B dan C menutup. Jika tekanan dalam tungku telah mencapai tekanan yang diinginkan (~500 mBar) maka secara otomatis (oleh vakum *contactor*) pompa vakum berhenti bekerja, *solenoid valve* D1 menutup, dan *solenoid valve* B membuka. Ini berakibat gas nitrogen masuk ke tungku yang telah kosong dari udara melalui *solenoid valve* B. Akibatnya tekanan di dalam tungku akan naik hingga di atas tekanan udara di luar, dan tungku telah berisi gas nitrogen.

Proses vakum ini dapat diulang kembali jika diinginkan. Jika tidak diulang, ketika tekanan dalam tungku telah diatas tekanan udara luar, maka proses vakum harus segera dihentikan dengan membuka *solenoid valve* F2 dan F3 secara manual. Pada kondisi ini, gas nitrogen mengalir masuk dan ke luar ruang tungku ME-11 dan tidak memberi kesempatan udara luar untuk masuk ke dalam tungku. Prosedur operasi reduksi selanjutnya harus dilakukan karena proses vakum telah selesai.



Gambar 2. Tambahan sistem pompa vakum.



Gambar 3. Posisi *push-button* operasional tungku.ME-11

### 3.2 OPERASIONAL

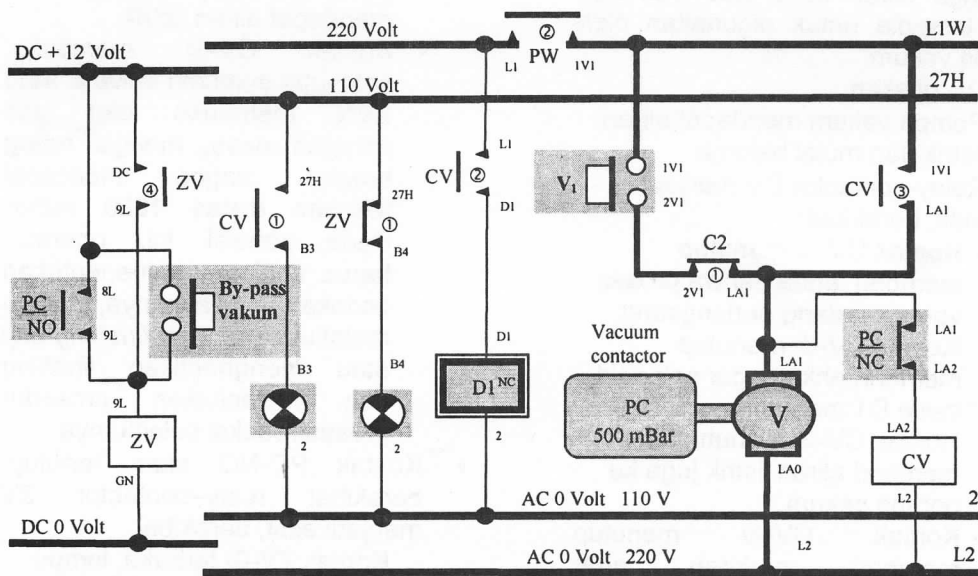
Prosedur kerja dalam proses reduksi diawali dengan memenuhi persyaratan dasar proses reduksi, yaitu: sistem pendingin, udara tekan untuk instrumen, gas LPG, gas nitrogen, dan gas hidrogen semua telah memenuhi persyaratan untuk operasi. Persyaratan dasar tersebut dapat segera dipenuhi oleh operator tungku dengan memutar katup manual aliran yang bersesuaian.

Urutan langkah selanjutnya adalah proses vakum yang dilanjutkan dengan mengalirkan gas nitrogen masuk dan keluar ruang tungku, dan penyalaan api pembakar gas hidrogen oleh gas LPG. Secara operasional langkah tersebut dilaksanakan dengan penekanan *push-button*  $V_1$  untuk proses vakum,  $V_2$  untuk mengalirkan gas nitrogen, dan  $V_3$  untuk mengalirkan gas LPG yang secara otomatis sistem pemantik akan membakar gas LPG tersebut hingga menyala. Posisi *push-button* dalam sistem tungku ME-11 ditunjukkan oleh Gambar 3 yang merupakan tambahan dari panel *push-button* akibat penambahan sistem vakum ini bersama dengan tambahan kendali lainnya.

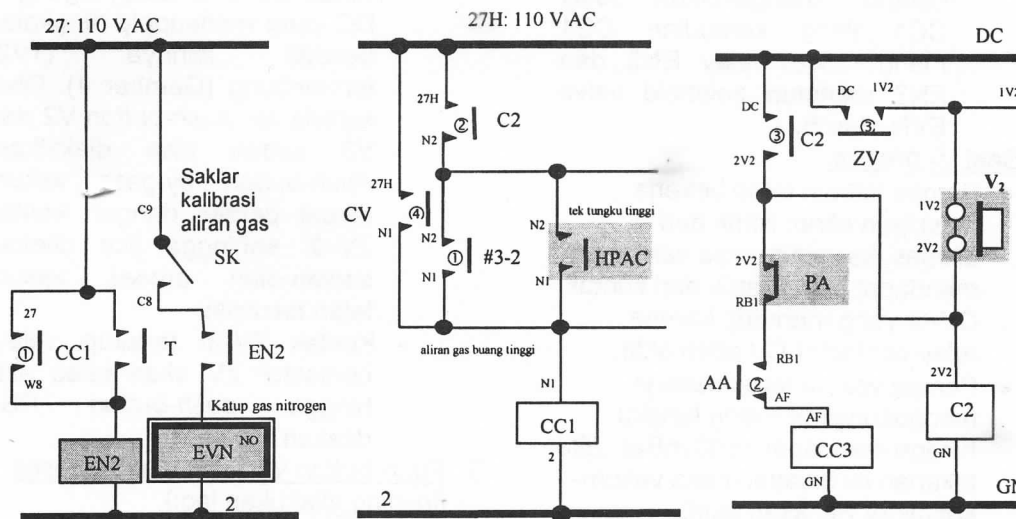
*Push-button*  $V_1$  didisain harus ditekan terlebih dahulu sebelum  $V_2$  dan  $V_3$ . Penekanan  $V_2$  dan  $V_3$  sebelum  $V_1$  ditekan tidak akan berpengaruh pada sistem. Artinya  $V_2$  dan  $V_3$  tidak bisa aktif

sebelum  $V_1$  ditekan. Demikian juga karena proses vakum hanya dilakukan sekali diawal proses, maka setelah  $V_2$  ditekan maka  $V_1$  tidak bisa lagi mengaktifkan sistem vakum. Kondisi ini didisain untukantisipasi kesalahan tekan oleh operator selama proses reduksi berjalan (proses *interlock* diberlakukan).

Namun demikian, dalam kondisi tertentu adakalanya proses vakum tidak diperlukan diawal operasi, sehingga *push-button*  $V_2$  dan  $V_3$  harus dapat diaktifkan tanpa harus mengaktifkan proses vakum  $V_1$ . Kondisi ini diperlukan jika operasi reduksi tungku sebelumnya dihentikan secara emergensi, sehingga didalam tungku berisi gas hidrogen ketika sistem tungku posisi istirahat. Untuk membuang gas hidrogen di dalam tungku tersebut (setelah kondisi emergensi usai) dilakukan tidak melalui proses vakum, tetapi gas hidrogen tersebut didorong keluar oleh gas nitrogen, dan dibakar diluar tungku oleh nyala api dari LPG. Oleh karena itu *push button* vakum by-pass disediakan untuk tujuan tersebut. Karena kondisi ini sangat spesifik, maka *push-button* vakum by-pass dipisahkan dari *push button*  $V_1$ ,  $V_2$ , dan  $V_3$  seperti terlihat pada Gambar 3. *Push button* *emergency* tetap berfungsi memutuskan semua aliran listrik yang masuk ke sistem tungku jika kondisi emergensi menghendaki demikian.



B3: Indikator proses vakum; B4: Indikator syarat vakum ; V: Pompa vakum



Gambar 4. Rangkaian *switching* sistem pompa vakum tungku ME-11

### 3.3 RANGKAIAN SWITCHING

Sistem vakum hanya digunakan satu kali di awal proses reduksi, oleh karena itu sistem *interlock* diberlakukan untuk menghindari kesalahan urutan dalam penekanan *push-button*  $V_1$ ,  $V_2$ , atau  $V_3$ . Sehingga disain *switching* sistem elektrik pompa vakum ini berkonsentrasi pada proses terciptanya *interlock* tersebut, dengan realisasi seperti pada Gambar 4 yang berisi potongan-

potongan rangkaian berkaitan dengan sistem vakum. Rangkaian listrik pada Gambar 4 tersebut merupakan bagian dari rangkaian menyeluruh sistem *switching* tungku ME-11 yang dapat dilihat pada [4]. Penjelasan cara kerjanya adalah sebagai berikut.

#### 1. Saklar pilihan Reduksi-Kalsinasi pada posisi Reduksi.

Relay-contactor PW menjadi aktif, berakibat kontak PW-⊙ menutup

sehingga aliran listrik 220 Volt dari PLN tersedia untuk digunakan oleh pompa vakum.

## 2. Saat $V_1$ ditekan.

- Pompa vakum mendapat aliran listrik dan mulai bekerja.
- Relay-contactor CV menjadi aktif, berakibat:
  - Kontak CV-① menutup memberi tanda bahwa proses vakum sedang berlangsung.
  - Kontak CV-② menutup memerintahkan agar solenoid valve D1 membuka.
  - Kontak CV-③ menutup dan memberi aliran listrik juga ke pompa vakum.
  - Kontak CV-④ menutup memberi perintah agar solenoid valve B (EVN pada Gambar 4) menutup, yaitu dengan mengaktifkan relay CC1 yang kemudian CC1 mengaktifkan relay EN2 dan EN2 menutup solenoid valve EVN atau B.

## 3. Saat $V_1$ dilepas.

- Pompa vakum tetap bekerja meskipun aliran listrik dari  $V_1$  dilepas, karena pompa vakum mendapat aliran listrik dari kontak CV-③ yang menutup karena relay-contactor CV telah aktif.
- Pompa vakum terus bekerja mengosongkan ruang tungku hingga mencapai ~500 mBar. Jika tekanan ini dicapai maka vakum-kontaktor PC akan aktif.

## 4. Tekanan ruang tungku mencapai ~500 mBar.

Vakum-kontaktor PC akan aktif:

- Kontak PC-NC akan terbuka, berakibat relay-contactor CV tidak aktif, berakibat:
  - Kontak CV-① membuka, sehingga lampu indikator proses vakum padam.
  - Kontak CV-② menutup, mencegah udara dari saluran keluar masuk kembali ke tungku.
  - Kontak CV-③ membuka, sehingga pompa vakum

berhenti bekerja karena tidak mendapat aliran listrik.

- Kontak CV-④ membuka, sehingga solenoid valve B atau EVN membuka dan gas nitrogen masuk mengisi ruang tungku hingga mencapai tekanan diatas 1000 mBar. Pada kondisi ini, operator harus aktif untuk menentukan tindakan selanjutnya, yaitu melakukan proses *flushing* lagi atau menghentikan *flushing* dan melanjutkan prosedur proses reduksi selanjutnya.
  - Kontak PC-NO akan tertutup, berakibat relay-contactor ZV menjadi aktif, berakibat:
    - Kontak ZV-① terbuka, lampu warning persyaratan vakum padam.
    - Kontak ZV-③ tertutup, tegangan DC yang mensupply rangkaian kendali lainnya (1V2) tersambung (Gambar 4). Oleh karena itu, *push-button* V2 dan V3 sudah bisa diaktifkan. *Push-button* by-pass vakum dibuat paralel dengan kontak ZV-③ sehingga jika ditekan seolah-olah proses vakum telah tercapai.
    - Kontak ZV-④ tertutup, relay-contactor ZV akan tetap aktif hingga *push-button* RST ditekan
5. *Push-button*  $V_1$  ditekan lagi (proses *flushing* dilakukan lagi).  
Tindakan dan kejadian nomor 3 & 4 berlaku lagi, dengan pengecualian bahwa kontak relay ZV tetap aktif meskipun vakum-contactor PC untuk PC-NO membuka. Jadi pada posisi ini *push-button*  $V_2$  &  $V_3$  aktif jika ditekan.
6. *Push-button*  $V_2$  ditekan.  
Relay-Contactor C2 aktif, berakibat:
- Kontak C2-① terbuka, berakibat pompa vakum tidak lagi mendapat aliran listrik meskipun  $V_1$  ditekan. Kontak  $V_1$  tidak dapat bekerja lagi.
  - Kontak C2-② menutup, berakibat relay CC1 dapat dikendalikan

oleh sistem pengaman lain. Relay CC1 digunakan untuk mengendalikan solenoid valve B atau EVN gas nitrogen. Solenoid valve F2 & F3 membuka (tidak ditampilkan pada Gambar 4) sehingga gas nitrogen mengalir masuk lalu keluar ruang tungku. Kontak C2-③ menutup, berakibat relay C2 akan tetap aktif.

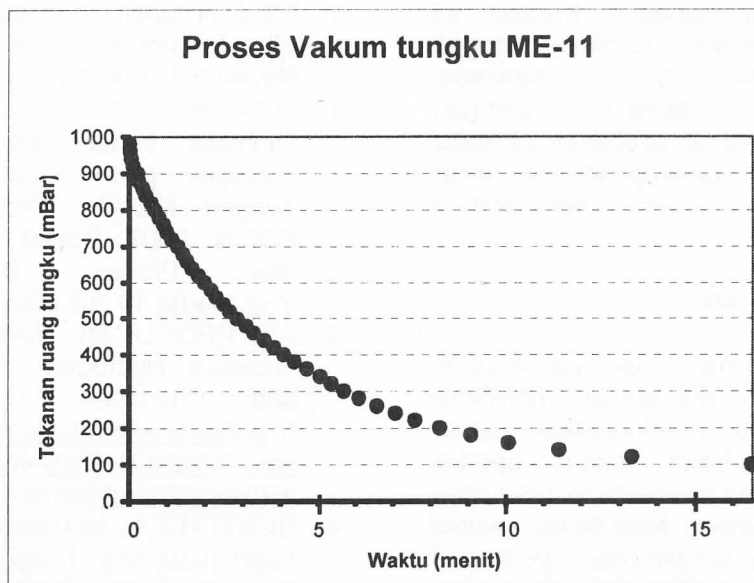
### 3. DATA PERCOBAAN DAN PEMBAHASAN

Uji coba penggunaan tambahan sistem vakum telah dilaksanakan, dan hasilnya sesuai dengan pola *interlock* yang diinginkan. Data hasil penurunan tekanan dalam tungku sebagai akibat proses vakum yang dijalankan diperlihatkan pada Gambar 5. Dari kurva penurunan tekanan dalam tungku tersebut (Gambar 5) terlihat bahwa kurva mendekati bentuk peluruhan (*decay*) secara eksponensial, sehingga penurunan tekanan dalam tungku terjadi cukup cepat diawal proses vakum dan selanjutnya akan menjadi makin lambat.

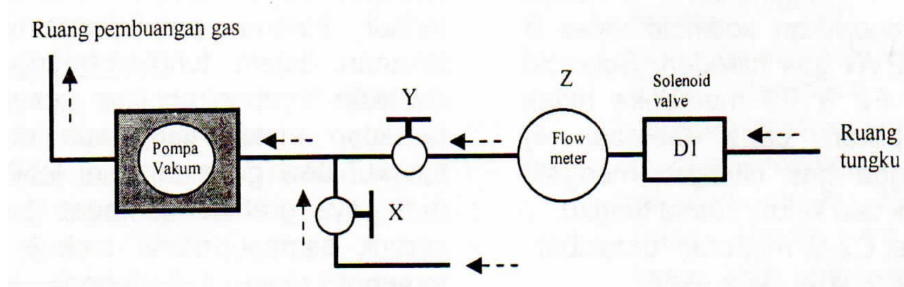
Cepatnya penurunan tekanan diawal proses vakum tersebut membawa konsekwensi terhadap sampel yang ada di dalam tungku. Jika sampel berbentuk serbuk, maka besar

kemungkinan sampel tersebut akan ikut tersedot keluar tungku. Hal ini bisa terjadi karena perubahan menurun tekanan dalam tungku tersebut bisa diartikan menimbulkan gaya tarik terhadap materi yang ada di dalam tungku. Jika gaya tarik ini lebih besar dari gaya grafitasi terhadap butir-butir serbuk sampel, maka serbuk sampel tersebut akan ikut tertarik ke luar tungku.

Perlu dilakukan eksperimen untuk tertarik atau tidaknya serbuk sampel dalam tungku. Ketika makalah ini dibuat, eksperimen tersebut belum dilakukan. Jika sampel serbuk tersebut tertarik oleh proses vakum, maka perlu tambahan mekanisme kerja ketika proses vakum dijalankan, yaitu merealisasikan konsep bahwa penurunan tekanan dalam tungku dibuat linier dengan koefisien penurunan (*slope*) bernilai rendah, misalnya dibuat 20 mBar/menit seperti yang ditunjukkan pada 5 menit terakhir pada Gambar 5. Konsep ini dapat direalisasikan dengan mengatur aliran pengosongan tungku sehingga perubahan tekanan selama pengosongannya bernilai rendah. Hal ini dapat dilakukan secara otomatis atau manual dengan tambahan sistem kendali mekanik antara pompa vakum dan *solenoid valve* D1 pada Gambar 1.



Gambar 5. Penurunan tekanan dalam tungku ME-11 akibat proses vakum.



Gambar 6. Konsep instalasi tambahan untuk sampel serbuk dalam tungku.

### 3.1. KONSEP SOLUSI UNTUK SAMPEL SERBUK

Gambar 6 adalah konsep untuk mengatasi jika sampel serbuk ikut tertarik keluar ketika proses vakum dijalankan. Pada awal proses vakum, *rotary valve* Y tertutup dan *rotary valve* X terbuka. Kondisi ini akan membuat pompa vakum tidak menarik udara dalam tungku, tetapi menarik udara luar ketika dioperasikan. Selanjutnya secara perlahan-lahan *valve* Y dibuka dan secara perlahan-lahan juga *valve* X ditutup sedemikian rupa sehingga aliran udara yang dibaca pada flow meter Z selalu tetap. Nilai aliran tersebut harus ditentukan terlebih dahulu dari eksperimen (misal 20 mBar/menit) bahwa dengan nilai aliran tersebut maka serbuk sampel dalam tungku tidak tertarik keluar oleh proses vakum yang sedang berjalan. Kondisi ini dilakukan secara kontinyu hingga tekanan dalam tungku mencapai tekanan yang diinginkan. Dengan konsep mekanisme tambahan ini maka sampel serbuk diharapkan tidak akan tertarik keluar tungku oleh pompa vakum.

### 4. KESIMPULAN

Penambahan sistem vakum pada tungku ME-11 merupakan modifikasi dalam rangka meningkatkan faktor keselamatan kerja dalam operasi tungku. Konsep mekanisme tambahan untuk menghindari tertariknya sampel serbuk ke luar tungku masih perlu diuji keberhasilannya. Disamping itu, sistem vakum ini telah menambah

kemampuan sistem tungku ME-11 dalam operasinya, yaitu dapat digunakan untuk operasi pemanasan pada kondisi vakum dengan sedikit modifikasi pada sistem *switchingnya*, karena sistem *switching* yang terpasang saat ini didisain untuk vakum proses reduksi.

### 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis sangat berterima kasih kepada saudara Zaidi, Djoko Kisworo, Triarjo, dan Dede Sutarya staf Bidang Bahan Bakar Nuklir, Kelompok Proses Konversi dan Fabrikasi Bahan Bakar Nuklir - PTBN BATAN, atas bantuan teknis-nya selama kegiatan instalasi dan percobaan berlangsung.

### 6. DAFTAR PUSTAKA

1. ES & H MANUAL, Volume II, Part 18, Document 18.4 Hydrogen, Revision 3, January 12, 2006.
2. SUNTORO A., Pemantik LPG Otomatis untuk Pembakar Gas Hidrogen pada Proses Reduksi Tungku ME-11., Prosiding PPI-PDITN 2007 Pustek Akselerator dan Proses Bahan-Batan, Yogyakarta 10 Juli 2007, pp. 55-62.
3. AIR PRODUCTS., Safetygram #4: Gaseous Hydrogen., Air products and Chemicals, Inc., 2004., <http://www.airproducts.com/nr/rdonl yres/3c6d640e-93c5-4bd0-8f21-8f7344c66554/0/safetygram4.pdf>.
4. SUNTORO A., Modifikasi Kendali Logik (*switching*) Tungku ME-11: Dokumen Teknis Operasi dan Hasil Modifikasi., Revisi 0., 2006.