

RANCANG BANGUN KONTROL RECTIFIER UNTUK SIMULASI FENOMENA PANAS PELURUHAN PADA UNTAI UJI TERMOHIDRAULIKA REAKTOR

Sudarno, Aliq, Ahmad Abtokhi

Pusat Pengembangan Teknologi Keselamatan Nuklir, BATAN
Kawasan Puspiptek Gd.80 Serpong, Tangerang - 15314.

Abstrak.

RANCANG BANGUN KONTROL RECTIFIER UNTUK SIMULASI FENOMENA PANAS PELURUHAN PADA UNTAI UJI TERMOHIDRAULIKA REAKTOR. Untai Uji Termohidraulika Reaktor (UUTR) adalah suatu instalasi yang khusus digunakan untuk mempelajari fenomena hidraulika reaktor nuklir tipe PWR atau PHWR secara experimental. UUTR dirancang untuk operasi mode normal, daya pada batang pemanas langsung nol pada saat terjadi shutdown. Dalam penelitian ini telah dilakukan modifikasi sistim kontrol daya UUTR dengan tujuan untuk dapat melakukan simulasi panas peluruhan. Modifikasi dilakukan pada bagian pembangkit sinyal setting daya yang sebelumnya menggunakan potentiometer yang digerakkan oleh motor DC, diganti dengan rangkaian DAC yang sinyalnya dibangkitkan dari perhitungan komputer. Hal ini untuk mengatasi kecepatan motor yang terbatas, sehingga tidak dapat dilakukan perubahan daya secara cepat. Dari hasil pengujian, sistem yang baru mempunyai kesalahan absolut 6.25 kW yang dihasilkan dari kesalahan konversi DAC sebesar 0.5 LSB. Kesalahan ini lebih kecil daripada metode konversi umumnya yang mempunyai kesalahan 1 LSB. Besarnya nilai kesalahan daya juga tergantung pada konfigurasi setting daya maksimal, pada rangkaian DAC disini dirancang untuk daya maksimum 3.2 MW. Kecepatan setting daya dengan DAC juga lebih tinggi dibanding potentiometer. Waktu sampling terkecil yang digunakan 10 ms masih jauh lebih besar dari waktu konversi DAC, sehingga hasil sinyal analog masih sesuai dengan nilai digitalnya.

Kata Kunci : panas peluruhan, kontrol rectifier

1. Pendahuluan

Untai Uji Termohidraulika Reaktor (UUTR) adalah simulator yang khusus digunakan untuk mempelajari sifat-sifat termohidraulika reaktor nuklir jenis PWR (*Pressurized Water Reactor*) melalui simulasi eksperimental. Eksperimen-eksperimen yang dapat dilakukan dengan fasilitas ini meliputi eksperimen kondisi mantap (*steady state*) maupun eksperimen kondisi tak mantap (*transient*). Eksperimen kondisi mantap dilakukan untuk mengamati penurunan tekanan, fraksi uap, dan fluks panas kritis. Sedangkan eksperimen kondisi tak-mantap untuk memahami fenomena kecelakaan kehilangan pendingin. Simulator ini mempunyai daya nominal 3,2 MW (1/1150 daya PWR) dibangkitkan pada batang pemanas yang mendapatkan catu daya listrik arus searah 127 V/25,2 kA (Anhar R.A. dkk., 1993).

Untai Uji Termohidraulika Reaktor ini mempunyai keterbatasan dimana fenomena panas peluruhan yang dibangkitkan setelah reaktor nuklir *shutdown*, tidak dapat disimulasikan. Hal ini disebabkan karena sistem pengatur daya yang ada memang hanya dirancang untuk operasi normal. Sedangkan pada operasi abnormal atau saat simulasi kecelakaan, sistem akan dikendalikan oleh sistem trip. Sistem trip ini bekerja apabila terdapat parameter-parameter tertentu yang nilainya melampaui batas keselamatan.

Pemecahan Masalah Yang Ada

Untuk memberikan kemampuan tambahan pada UUTR, yaitu agar sistem dapat mensimulasikan fenomena panas peluruhan setelah *shutdown*, pernah dilakukan studi untuk mempelajari sistem pengatur daya yang ada (Ahmad Abtokhi dkk, 1994). Dari studi tersebut disimpulkan perlunya

perancangan satu rangkaian antisipasi trip dan rangkaian pengontrol gerak motor-potensiometer. Ide dasarnya adalah agar sistem trip tidak bekerja (non aktif) pada saat sistem mengalami *shutdown*, dan dengan menerapkan pengontrol gerak motor-potensiometer maka penurunan daya listrik dapat diprogram untuk mendekati model panas peluruhan reaktor nuklir.

Namun demikian ide di atas belum dapat digunakan untuk mendapatkan simulasi panas peluruhan yang memuaskan, karena dari hasil eksperimen, kecepatan gerak motor-potensiometer masih terlalu lambat untuk menirukan variasi penurunan daya pada panas peluruhan reaktor nuklir.

Pada penelitian ini dipelajari sistem pengatur daya yang tidak lagi menggunakan motor-potensiometer, melainkan dengan membuat sinyal kontrol yang dapat diprogram dengan komputer. Dengan demikian kelambatan yang disebabkan oleh komponen mekanik motor-potensiometer dapat dihindari, dan akurasi sinyal kontrol juga akan lebih baik karena dapat diprogram secara numerik melalui komputer.

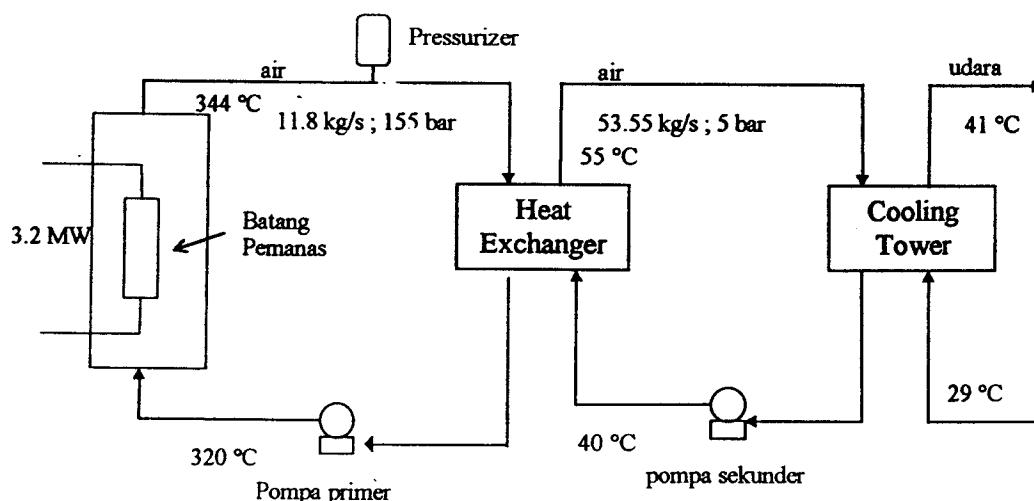
2. Landasan Teori

Untai Uji Termohidraulika Reaktor (UUTR) adalah simulator reaktor nuklir tipe PWR yang digunakan untuk mempelajari keselamatan reaktor khususnya dari aspek termohidrauliknya. Seperti halnya dalam reaktor nuklir, UUTR juga terdiri dari dua bagian (sistem), yaitu sistem primer dan sekunder. Bedanya, pada UUTR ini sumber panas dalam sistem primer tidak dibangkitkan oleh hasil reaksi fisi nuklir, tetapi oleh batang pemanas listrik (disebut bundel uji).

Beberapa perangkat yang penting dalam UUTR dan berkaitan langsung dengan penelitian ini yaitu sistem pendingin utama (terdiri dari sistem pendingin primer dan sekunder), sistem catu daya dan sistem pengatur daya.

Sistem Pendingin Utama

Sistem pendingin utama terdiri dari sistem pendingin primer dan sekunder. Daya termal nominal 3,2 MW yang dibangkitkan oleh batang pemanas diambil oleh pendingin primer yang dipompakan ke reaktor dengan debit 11,8 kg/s dan tekanan 155 bar. Aliran panas dari sistem primer ini melewati alat penukar panas tipe kalandria dan tabung (*shell and tube*). Pendingin sekunder kemudian memindahkan panas ke udara luar dengan debit 53,55 kg/s dan tekanan 5 bar melalui *cooling tower* yang terdiri dari sembilan penukar panas jenis tabung bersirip (*finned-tube*). Skema dari sistem pendingin utama ini ditunjukkan oleh Gambar 1.

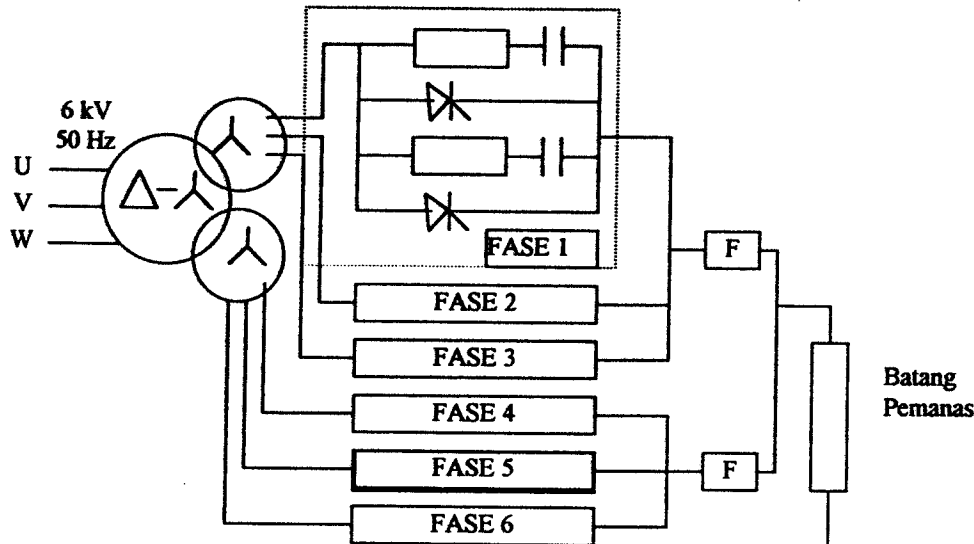


Gambar 1. Sistem pendingin utama

Sistem Catu Daya

Untuk mensimulasikan panas yang dibangkitkan pada reaktor nuklir, UUTR menggunakan batang pemanas dengan catu daya listrik. Daya listrik batang pemanas disuplai oleh dua buah trafo (TR2 dan TR3) melalui rangkaian penyearah 6 fasa seperti pada gambar 2.

Dalam rangkaian *rectifier*, arus tiap fase disearahkan dengan menggunakan 10 thyristor, agar arus keluaran yang dihasilkan cukup besar untuk mensuplai batang pemanas. Tiap thyristor dilengkapi dengan rangkaian RC yang berfungsi untuk mencegah adanya lonjakan tegangan tiba-tiba ke bagian penyearah. Untuk mengantisipasi adanya kerusakan, setiap fasa dilengkapi dengan petunjuk trip yaitu kontaktor yang berguna untuk mematikan sistem apabila ada kerusakan pada thyristor.

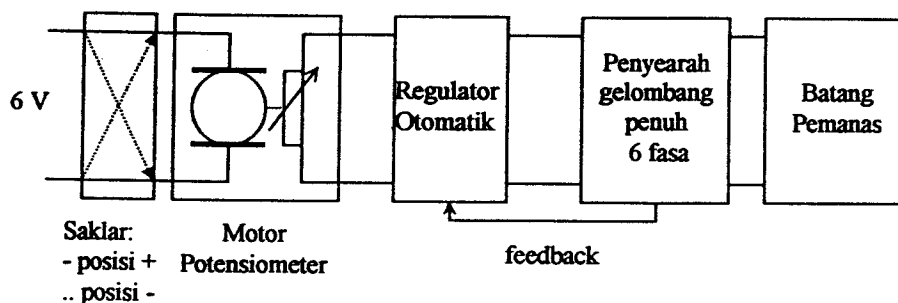


Gambar 2. Sistem catu daya UUTR.

Sistem catu daya dilengkapi dengan sistem trip yang berfungsi untuk memutus suplai daya ke batang pemanas apabila harga parameter tertentu melampaui batas. Sumber terjadinya trip berasal dari dua macam kondisi. Parameter trip pertama berasal dari kegagalan komponen elektrik itu sendiri, seperti kondisi trafo (temperatur trafo, jumlah oli pendingin), terputusnya fuse thyristor, sudut picu yang berlebihan atau adanya kerusakan. Disamping itu, trip dapat juga terjadi akibat dilampauinya batas keselamatan pada parameter termohidraulik seperti temperatur batang pemanas, tekanan dan debit pendingin serta permukaan air di dalam *pressurizer*.

Sistem Pengatur Daya

Sistem pengatur daya yang terpasang terdiri dari saklar untuk menaik-turunkan daya, motor-potensiometer, regulator otomatis dan rangkaian penyearah gelombang penuh enam fasa. Skema sistem pengatur daya ini ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema sistem pengatur daya

Jika saklar berada pada posisi (+), maka daya listrik pada batang pemanas akan bertambah, sebaliknya posisi (-) akan menurunkan daya. Pengaturan daya dilakukan secara manual oleh operator dengan memutar saklar ke posisi (+) atau (-). Saklar ini akan menjalin kontak listrik, sehingga terjadi aliran listrik ke motor. Perputaran motor ini diperlukan untuk mengubah nilai resistansi potensiometer

sehingga mengubah arus input regulator otomatis. Regulator otomatis adalah rangkaian pemacu dengan umpan balik (*feedback*). Penggunaan sinyal umpan balik ini akan membuat daya yang disuplai ke batang pemanas menjadi stabil. Perubahan sudut picu yang dihasilkan akan mengubah daya yang diberikan oleh rangkaian penyearah thyristor. Sistem pengatur daya berfungsi untuk mode operasi normal, tidak untuk *shutdown*.

Batang pemanas merupakan bagian dari kanal uji (*test section*). Di dalam kanal uji terdapat 36 batang pemanas berbentuk silinder yang disusun persegi 6x6 terbuat dari bahan Inconel. Pada daya nominal 3,2 MW, arus dan tegangan pada batang pemanas mencapai 127 Volt dan 25,2 kA.

Fenomena Panas Peluruhan

Panas peluruhan adalah panas yang dihasilkan setelah reaktor *shutdown*. Sisa panas ini perlu diperhitungkan, karena terbukti masih mampu melelehkan teras reaktor apabila gagal diatasi dengan baik; seperti yang dialami pada kecelakaan reaktor TMI-2 (Liebmann, 1991). Panas ini dihasilkan oleh reaksi fisi yang disebabkan neutron kasip dan panas peluruhan dari produk fisi di dalam bahan bakar serta produk aktivasi yang dibangkitkan di dalam bahan struktur reaktor. Untuk jenis reaktor air ringan dengan bahan bakar Uranium-235, panas yang dibangkitkan dari reaksi fisi oleh neutron kasip dapat dinyatakan dengan persamaan (Todreas-Kazimi, 1990):

$$\frac{P_f}{P_0} = 0.0625 e^{-0.01254t_s} + 0.0935 e^{-960t_s} \quad (1)$$

Sedangkan panas dari produk fisi serta produk aktivasi yang diperoleh secara empiris dari berbagai data eksperimen dapat dinyatakan dengan :

$$\frac{P_d}{P_0} = 0.066 \left[t_s^{-0.2} - (t_s + T_s)^{-0.2} \right] \quad (2)$$

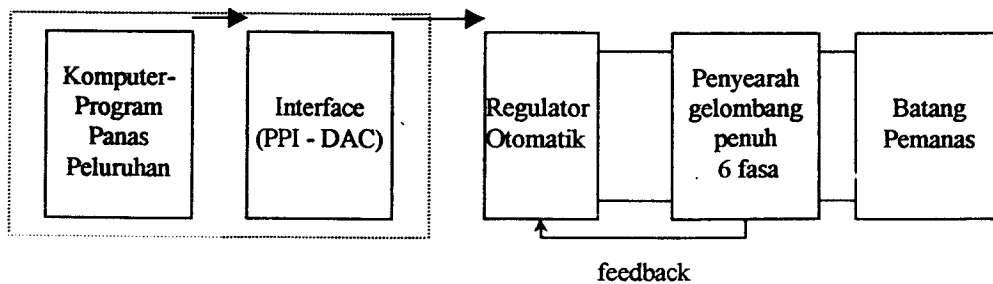
dengan P_f adalah daya panas dari reaksi fisi, P_d daya panas dari peluruhan produk fisi dan produk aktivasi, P_0 daya panas sebelum *shutdown*, t_s waktu setelah reaktor *shutdown* dan T_s waktu operasi dari *start-up* sampai *shutdown*.

3. Rancangan Sistem Kontrol Yang Dimodifikasi

Seperti yang telah dikemukakan dalam bagian pendahuluan tulisan ini, bahwa dari hasil eksperimen, sistem kontrol daya yang menggunakan potentio-motor tidak dapat melakukan variasi daya dengan kecepatan seperti yang terjadi dalam fenomena panas peluruhan. Hal ini dikarenakan kelambatan pada perputaran motor potentionya. Mengingat sistem tersebut dirancang untuk operasi normal.

Untuk mengatasi hal tersebut, dalam penelitian ini diusulkan modifikasi sistem kontrol daya, yaitu rangkaian pembangkit arus *setting* daya yang sebelumnya menggunakan potensiomotor, diganti dengan rangkaian *interface* yang menghasilkan arus *setting* daya berdasarkan hasil perhitungan dari komputer. Karena semua rangkaian pengendali terdiri dari komponen elektronik, maka besarnya sinyal keluaran *interface* untuk kontrol daya dapat diubah-ubah dengan cepat.

Skema sistem kontrol daya yang baru dapat digambarkan seperti berikut:



Gambar 4. Skema sistem kontrol daya yang dimodifikasi.

Dari skema Gambar 4 dua blok pertama (program komputer dan kartu elektronik PPI-DAC) adalah bagian baru yang dibuat dalam penelitian ini.

Program Panas Peluruhan

Program panas peluruhan berfungsi untuk menghitung besarnya sinyal keluaran rangkaian DAC (*digital to analog converter*) sesuai dengan persamaan (2). Secara keseluruhan sistem kendali daya adalah jenis kontrol untai tertutup. Hal ini dapat dilihat dari Gambar 4, adanya sinyal umpan balik dari blok penyearah arus AC ke blok regulator otomatis. Dengan demikian kestabilan sistem dapat terjaga dengan baik.

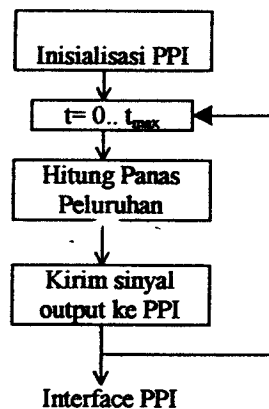
Untuk dapat melakukan simulasi panas peluruhan, sistem kendali berfungsi sebagai *controller* bukan *regulator*. Sistem diharapkan dapat mengikuti perubahan nilai *setting* yang diberikan oleh program komputer. Pembangkitan sinyal *setting* dapat dianggap sebagai kontrol untai terbuka, tidak memerlukan sinyal umpan balik dari proses untuk menghitung nilai *setting* untuk waktu berikutnya. Asumsi yang digunakan adalah proses dapat mengikuti perubahan nilai *setting* dengan kecepatan dan kestabilan yang cukup baik. Diagram alir dari program panas peluruhan tertampil dalam Gambar 5.

Rangkaian Interface - PPI 8255

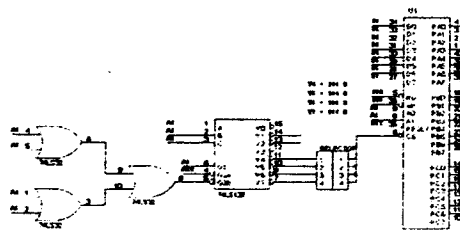
PPI (Programmable Peripheral Interface) 8255 dari Intel adalah *chip* paralel dengan tiga port 8 bit bidireksional (port A, B dan C). Khusus untuk port C dapat diakses secara bit per bit, sehingga sering digunakan sebagai bit kontrol. Setiap port dapat berfungsi sebagai port *input*, *output* atau bidireksional, tergantung pada mode kerja yang digunakan. PPI 8255 mempunyai tiga mode, yaitu:

- mode 0: Basic Input/Output
- mode 1: Strobed Input/Output
- mode 2: Bi-directional Bus.

Dalam penelitian ini, karena fungsi PPI hanya untuk mengirim sinyal dari komputer ke DAC, maka PPI difungsikan dalam mode 0, dengan port A sebagai jalur output data. Gambar rangkaian PPI dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 5. Diagram alir program penghitungan panas peluruhan.

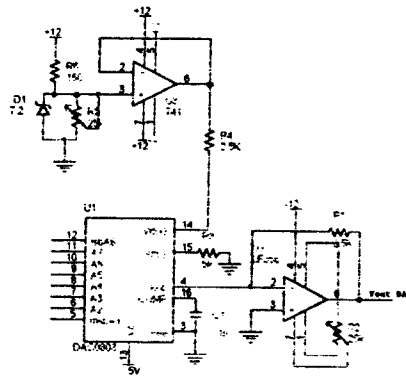


Gambar 6. Rangkaian interface PPI.

Rangkaian PPI tersebut dapat menggunakan basis alamat memori komputer 300H, 304H, 308H atau 30CH dengan memasang *jumper selector* pada posisi 1, 2, 3 atau 4.

Rangkaian DAC (Digital to Analog Converter)

Sinyal yang dikirim dari PPI masih berupa sinyal digital, sehingga perlu diubah ke bentuk sinyal analog untuk dapat digunakan sebagai sinyal referensi pada regulator otomatis. Di sini rangkaian pengubah sinyal dari digital ke analog (DAC) menggunakan DAC 0808 dari National Semiconductor, seperti terlihat pada gambar 7.



Gambar 7. Rangkaian DAC 0808

DAC 0808 merupakan konverter dari digital ke analog jenis *current-switching* DAC dengan spesifikasi *settling-time* untuk skala penuh adalah 150 ns, dissipasi daya 33 mW dengan pencatuan +/- 5 V. DAC 0808 memerlukan tegangan referensi (+Vref) untuk memberikan arus referensi Iref (pada pin 14). Besar arus referensi yang diijinkan berkisar 1.9 mA dan 2.1 mA. Harga kapasitor kompensasi yang dianjurkan antara 15,37 pF dan 75 pF. Biasanya kapasitor kompensasi dihubungkan langsung dengan VEE untuk menghindari *ripple* tegangan catu negatif.

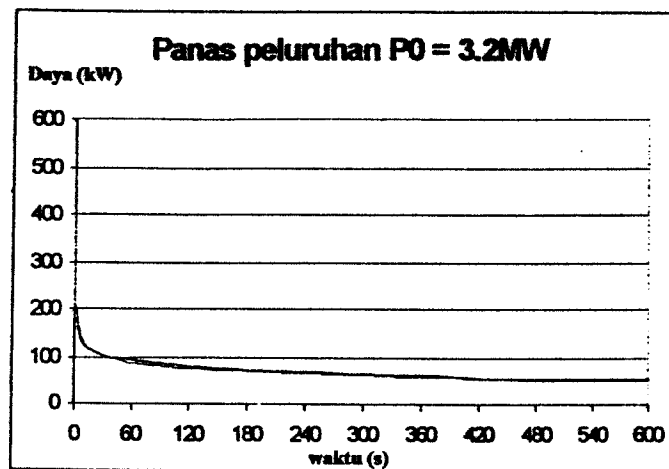
Prinsip kerja DAC ini adalah mengubah level input data digital 8 bit menjadi arus keluaran, yang besarnya merupakan fungsi dari nilai digital masukan dan arus referensi. Hubungan arus keluaran I_{out} dengan masukan data digital dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$I_o = \frac{-V_{ref}}{R_{14}} \left[\frac{D_1}{2} + \frac{D_2}{4} + \Lambda + \frac{D_8}{256} \right] \quad (3)$$

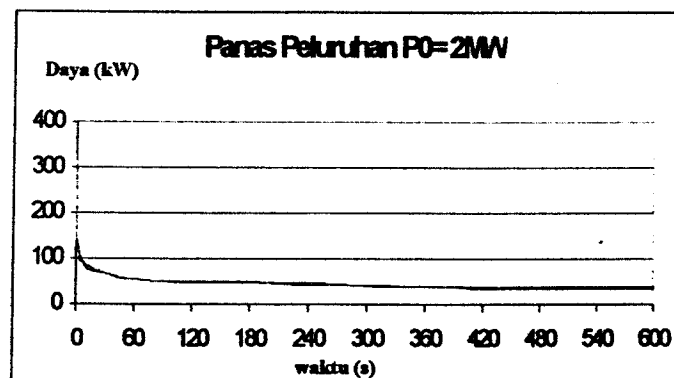
Sedangkan sinyal keluaran dari rangkaian DAC berupa tegangan $V_{out} = -I_{out} \times R_f$. Dengan nilai-nilai komponen seperti pada Gambar 7, didapat $V_{out} = 0$ volt untuk $D = 00H$ dan $V_{out} = 4.98$ volt untuk $D = FFH$. Untuk mengubah tegangan output rangkaian DAC menjadi arus *setting* pada regulator otomatis, perlu dipasang resistor secara seri.

4. Hasil Pengujian dan Pembahasan

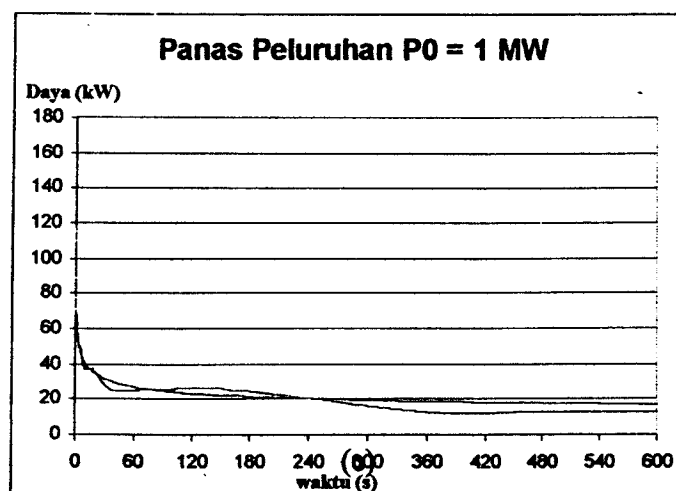
Pengujian program panas peluruhan dilakukan dengan cara mengukur tegangan output (nilainya proporsional terhadap arus *setting*). Hasil pengukuran ini dapat dibandingkan dengan nilai *setting* teoritis untuk menghasilkan panas peluruhan yang diinginkan. Percobaan dilakukan dengan menggunakan nilai daya awal pada saat *shutdown* (P_0) yang berbeda-beda. Waktu operasi reaktor (T_s) diambil 2 tahun. Hasil pengesanan ditampilkan dalam grafik Gambar 8.



(a)



(b)



Gambar 8. Panas peluruhan sesuai dengan keluaran DAC untuk daya initial
(a) 3,2 MW, (b) 2 MW dan (c) 1 MW.

Pembahasan

Dari hasil percobaan, nilai kesalahan absolut maksimum untuk tiap-tiap P_o ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai kesalahan absolut maksimum.

P_o (MW)	Kesalahan absolut maksimum (kW)	
	(kW)	$(e_{max}/P_o)(\%)$
3,2	6,0	0,19
2	6,1	0,31
1	6,1	0,61

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa untuk berbagai nilai daya inisial, nilai kesalahan absolut maksimum hampir sama, sekitar 6,1 kW. Nilai kesalahan ini dikarenakan adanya diskretisasi dalam sinyal *setting* daya keluaran dari DAC. Program komputer yang menghitung sinyal *setting* daya menggunakan metode pembulatan ke bilangan terdekat, sehingga kesalahan konversi adalah 0,5 LSB (*Least Significant Bit*). Setelah dikonversi ke daya, $0,5 \text{ LSB} = (0,5 / 256) * 3200 \text{ kW} = 6,25 \text{ kW}$. Kesalahan konversi ini lebih baik dari pada metode konversi menggunakan komparator yang mempunyai kesalahan konversi 1 LSB (atau 12,5 kW).

Karena rangkaian ADC menggunakan konfigurasi untuk *setting* daya maksimum 3,2 MW untuk semua percobaan, maka nilai absolut kesalahannya hampir sama. Namun kalau dilihat dari kesalahan relatif, maka semakin kecil daya inisial akan menghasilkan kesalahan relatif yang semakin besar.

Variasi sinyal *setting* daya dapat dilakukan dengan kecepatan yang cukup tinggi, disini waktu *sampling* terkecil yang digunakan adalah 10 ms. Waktu *sampling* ini jelas jauh lebih baik dibanding kemampuan kecepatan perubahan potentiometer sebelumnya, yang hanya 7,3°/detik. Pembangkit sinyal *setting* daya dengan DAC memerlukan waktu konversi yang sama untuk semua nilai masukan, yaitu sekitar 150 ns. Sedangkan dalam dalam potentiometer pencapaiannya secara sekuensial, sehingga untuk nilai *setting* yang lebih besar akan memerlukan waktu yang lebih lama.

Dilihat dari keadaan *transient*, panas peluruhan mempunyai nilai yang relatif tinggi pada awal terjadinya *shutdown*, namun dalam waktu yang sangat singkat. Setelah satu detik pertama sisa panas masih 6,42 % dan kemudian akan terus menurun seperti dalam Gambar 8.

Pada saat melakukan pengetesan, UUTR baru mengalami kerusakan pada bagian catu daya, sehingga percobaan dilakukan tanpa dihubungkan dengan proses yang ada. Namun demikian pengetesan rirkuit dapat digunakan untuk membandingkan kinerjanya terhadap rangkaian *setting* daya sebelumnya. Untuk mengetahui kinerja sistem kontrol secara keseluruhan, maka perlu dilakukan percobaan dengan menggabungkan sistem kontrol daya dengan UUTR. Kemungkinan sistem kontrol akan mengalami penurunan kinerja dibandingkan dengan hasil pada pengujian untai terbuka. Hal ini dikarenakan UUTR mempunyai waktu tanggap yang relatif besar dibanding sistem kendalinya sendiri. Untuk mengatasi hal ini dapat dilakukan sedikit modifikasi pada program komputernya.

5. Kesimpulan

Dalam penelitian ini telah dilakukan modifikasi sistim kontrol daya UUTR dengan tujuan untuk dapat melakukan simulasi panas peluruhan. Modifikasi dilakukan pada bagian pembangkit sinyal *setting* daya. Pada sistem yang lama, pembangkit sinyal *setting* daya menggunakan potentiometer yang digerakkan oleh motor DC. Kecepatan motor yang terbatas menyebabkan perubahan nilai *setting* daya tidak dapat dilakukan secara cepat. Sistem ini tidak dapat mensimulasikan panas peluruhan dimana perubahan daya sangat drastis pada saat awal setelah shut down. Pada sistem kendali yang dimodifikasi, sinyal *setting* daya dihitung dengan komputer kemudian hasilnya diubah menjadi sinyal analog melalui rangkaian DAC.

Dari hasil pengetesan, sistem yang baru mempunyai kesalahan absolut 6,25 kW yang dihasilkan dari kesalahan konversi DAC sebesar 0,5 LSB. Kesalahan ini lebih kecil daripada metode

konversi umumnya yang mempunyai kesalahan 1 LSB. Rangkaian DAC dirancang untuk daya maksimum 3,2 MW. Apabila dalam praktek daya yang digunakan tidak mencapai 3,2 MW, sebaiknya konfigurasi DAC juga disesuaikan untuk daya maksimum yang lebih kecil. Hal ini akan memperkecil nilai kesalahan *setting* daya. Kecepatan *setting* daya dengan DAC juga lebih tinggi dibanding potentiometer. Waktu *sampling* terkecil yang digunakan 10 ms menunjukkan bahwa waktu konversi ke analog masih memadai. Dalam percobaan ini sistem kontrol belum digabungkan dengan UUTR, karena terdapat kerusakan pada bagian catu daya UUTR.

6. Daftar Pustaka

- [1] Anhar Riza Antariksawan dkk, *Fasilitas Uji Thermohidrolika Reaktor (General Loop)*, PPTKR – BATAN, Serpong, 1993.
- [2] Ahmad Abtokhi dkk., *Rancang Bangun Sistem Pengendali Daya UUTR*, Laporan Teknis PPTKR, Serpong, 1994.
- [3] J. Liebmann, *Approche et Analyse de Surete des Reacteur a Eau Souspression*, Paris:CEA, 1991.
- [4] N.E. Todreas, M.S. Kazimi, *Nuclear System I: Thermalhydraulics Fundamentals*, Hemisphere Publishing Corp., 1990.
- [5] Aliq, *Perancangan Pengontrol Daya UUTR untuk simulasi panas peluruhan reaktor nuklir*, Tesis Magister, ITB, 1998.