

## PEMBUATAN SIMULATOR PENGENDALI BATANG KENDALI REAKTOR NUKLIR PENELITIAN

Budiono\*, Margono\*, Aliman\*, F.P. Wattimury\*, Niam Z\*\*, Kusmayanto\*\*  
Pusat Penelitian Teknik Nuklir - Badan Tenaga Atom Nasional

\*\* Fisika Teknik - Institut Teknologi Bandung

### ABSTRAK

PEMBUATAN SIMULATOR PENGENDALI BATANG KENDALI REAKTOR NUKLIR PENELITIAN. Pada penelitian ini telah dirancang suatu simulator sistem kendali kedudukan batang kendali reaktor nuklir dengan menggunakan komputer mikro. Reaktor nuklir disimulasikan dengan rangkaian komputer analog. Sebuah motor langkah digunakan sebagai penggerak batang kendali. Posisi batang kendali yang dikendalikan secara otomatis adalah batang kendali *regulating* (regulating rod). Sistem diperlengkapi dengan antar muka komputer PPI 8255 (paralel input output) dan rangkaian ADC-12 bit (pengubah analog ke digital). Dari hasil percobaan dan analisis didapatkan bahwa sistem stabil pada daerah tetapan penguatan  $0 < k < 137$  untuk pengendali PI dan pada daerah tetapan penguatan  $0 < k < 22,3$  untuk pengendali PID. Dengan pengendali PI diperoleh respon transien dengan maksimum overshoot 5%, sedangkan untuk pengendali PID diperoleh respon transien dengan maksimum overshoot 4%.

### ABSTRACT

DESIGN OF CONTROL SYSTEM SIMULATOR FOR CONTROL ROD IN A RESEARCH NUCLEAR REACTOR. In this paper had been designed simulator of control rod system of rod nuclear reactor, using microcomputer as controller. Nuclear reactor is simulated with an analog computer circuit which has a step motor to rod driver. Automatic controll can be done only on the regulating rod. The system was equipped by computer interface PPI 8255 IC (paralel input output) and analog to digital converter (ADC-12 bit). The results show that the system stable on the range of PI constant gain  $0 < k < 137$  and the range of PID constant gain  $0 < k < 22.3$ . By PI controller transient respons has overshoot maximum 5%, while for PID controller transient respons has overshoot maximum 4%.

### PENDAHULUAN

Seperti pada peralatan konversi energi yang lain, reaktor nuklir juga perlu dikendalikan untuk memberikan kinerja yang konstan pada kondisi kerja yang diinginkan. Jumlah neutron hasil reaksi berantai reaktor nuklir dapat dikendalikan dengan menggunakan bahan penyerap neutron yang disebut batang kendali dengan cara menaikkan atau menurunkan batang kendali. Menaikkan batang kendali berarti mengurangi jumlah neutron yang terserap sehingga reaktivitas bertambah. Dengan demikian keluaran daya reaktor juga akan naik. Daya yang ditimbulkan oleh teras reaktor akan mengakibatkan timbulnya xenon serta naiknya temperatur bahan bakar dan moderator. Hal ini akan mempengaruhi reaktivitas reaktor. Untuk menjaga agar reaktivitas konstan maka perlu dilakukan pengaturan kedudukan batang kendali.

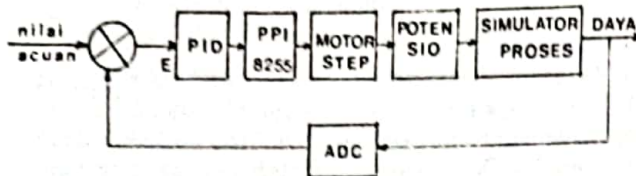
Dengan berkembangnya komputer digital maka proses pengendalian analog dapat digantikan oleh cara dikrit. Dalam hal ini komputer mikro digunakan sebagai sistem pengendalinya kedudukan batang kendali, sehingga perubahan reaktivitas dalam reaktor dapat dikompensasi oleh reaktivitas negatif yang ditimbulkan oleh batang kendali. Pada penelitian ini telah dilakukan perancangan dan pembuatan simulator pengendalian kedudukan batang kendali reaktor nuklir. Sebagai batasan masalah yang dilakukan pada penelitian ini adalah :

- Menganggap bahwa reaktor yang dimodelkan adalah reaktor titik (tidak memperhitungkan ketergantungan besaran reaktor terhadap distribusi ruangan).
- Sistem yang dikendalikan dibatasi pada sistem linier, satu masukan satu keluaran dan tidak tergantung waktu.

- Pengendalian secara otomatis dirancang hanya untuk batang kendali regulator saja.
- Reaktor yang disimulasikan adalah dengan satu grup neutron kasip.

### BAHAN DAN TATA KERJA

Diagram blok sistem kendali batang kendali reaktor nuklir yang dirancang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram blok sistem kendali kedudukan batang kendali reaktor nuklir

Perancangan sistem kendali ini dikendalikan dengan menggunakan simulator proses yang menirukan proses reaktor nuklir; kriteria perancangannya disesuaikan dengan komponen-komponen perangkat keras yang ada di pasaran. Komponen-komponen perangkat keras pendukung pada sistem ini adalah:

- Simulator proses yang terdiri dari rangkaian komputer analog (menggunakan IC Op-Amp).
- Pengubah analog ke digital ADC-12 bit.
- Programmable Peripheral Interface (PPI)-8255.
- Rangkaian penguat daya (driver) dan motor langkah
- Catu daya.

Keluaran daya simulator proses dibaca oleh ADC-12 bit kemudian selanjutnya oleh komputer dibandingkan dengan nilai acuan yang diberikan. Adanya perbedaan antara keduanya oleh komputer dianalisis melalui pengendali kemudian dikirimkan sinyal untuk menggerakkan motor langkah melalui PPI-8255. Motor langkah menggerakkan batang kendali.

#### Sistem pengendali

Ada beberapa pengendali otomatis yang sering digunakan dalam sistem pengendalian proses, akan tetapi setiap pengendali disesuaikan dengan pemakaiannya. Dalam penelitian ini pengendali yang digunakan adalah pengendali PID dan PI, dengan menggunakan komputer mikro IBM-PC. Persamaan matematis untuk fungsi alih pengendali PID dapat dilihat

pada persamaan 1, sedangkan untuk fungsi alih pengendali PI dapat dilihat pada persamaan 2.

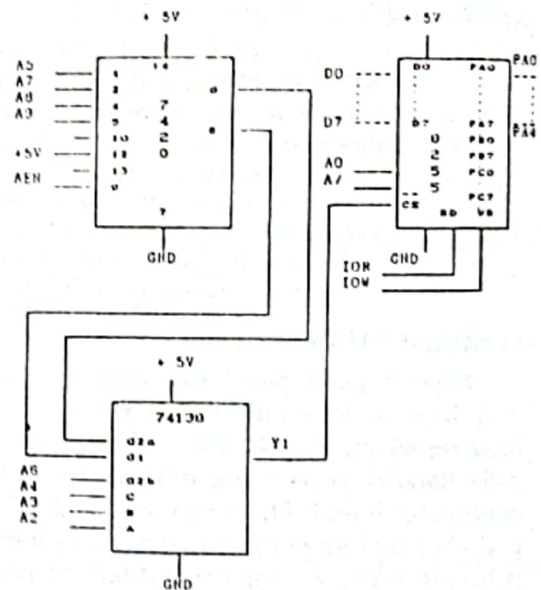
$$G_k(s) = K ( 1 + 1/T_i s + T_d s ) \quad (1)$$

$$G_k(s) = K ( 1 + 1/T_i s ) \quad (2)$$

K= tetapan proporsional;  $T_i$ =waktu pengintegralan;  $T_d$ =waktu pendeferensialan.

#### PPI 8255 sebagai perangkat I/O

PPI 8255 merupakan komponen chip IC yang digunakan sebagai antarmuka IBM-PC, yang dapat diprogram sebagai masukan-keluaran paralel (I/O). Dalam perancangan sistem kendali kedudukan batang kendali ini, PPI-8255 digunakan untuk menggerakkan motor langkah. Agar PPI 8255 dapat diprogram oleh komputer IBM-PC, maka perlu dibuat peta pengalamatan yaitu antara 3A4H-3A7H. Rangkaian antarmuka PPI 8255 yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 2.



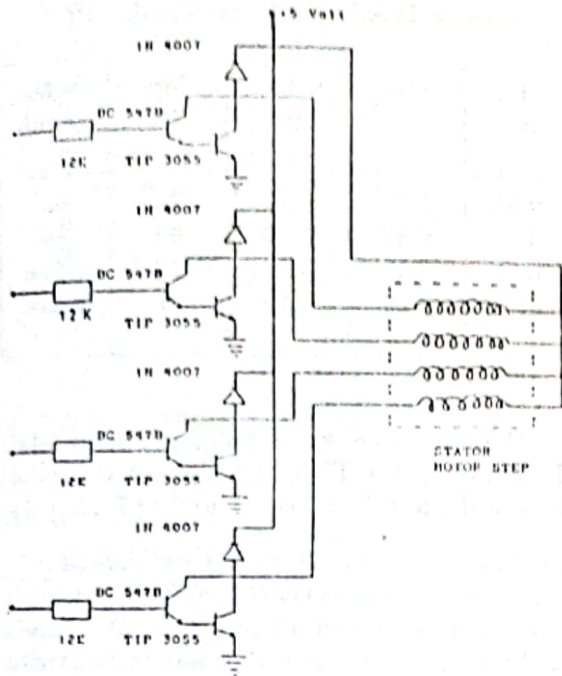
Gambar 2. Antarmuka PPI 8255

#### Motor langkah dan rangkaian penguat daya

Pada umumnya ada beberapa jenis motor yang digunakan untuk sistem pengendalian, yaitu motor ac, motor dc dan motor langkah sebagai penggerak batang kendali reaktor nuklir. Agar motor langkah dapat bekerja sesuai dengan program, diperlukan rangkaian penguat daya dan rangkaian penggerak dari



komputer mikro dengan 4 bit logika melalui saluran PAO-PA3 (PPI 8255). Rangkaian penguat daya tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian penguat daya driver motor langkah

**Potensiometer**

Sebagai simulator batang kendali, dipilih suatu rangkaian pembagi tegangan yaitu potensiometer. Tegangan keluaran potensiometer merupakan masukan bagi simulator reaktor nuklir. Potensiometer yang dipakai adalah potensiometer dengan jumlah putaran total 10 x 360°, dengan spesifikasi linieritas ± 0,25% dan sensitifitas ± 5%.

**Simulator proses reaktor nuklir**

Persamaan kinetika reaktor titik dengan pendekatan satu grup neutron kasip dapat dituliskan seperti pada persamaan 3 dan persamaan 4.

$$\frac{dn}{dt} = \frac{\delta k}{1^*} n - \frac{\beta}{1^*} n + \lambda C \quad (3)$$

$$\frac{dc}{dt} = \frac{\beta}{1^*} n - \lambda C \quad (4)$$

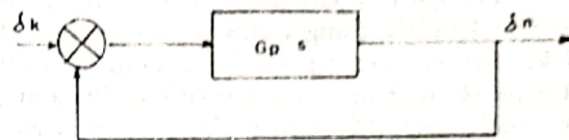
C=konsentrasi rata-rata dari neutron kasip; λ = nilai rata-rata dari konstanta peluruhan; β=fraksi total neutron kasip; 1\*=umur hidup

efektif neutron; k=reaktivitas; n=jumlah neutron.

Menurut Corbin, fungsi alih reaktor dapat didekati dengan persamaan 5:

$$Gp(s) = \frac{s + 0,125}{s(s + 50)} \quad (5)$$

Selama reaktor bekerja akan timbul panas dan xenon, yang merupakan elemen umpan balik (feed back). Timbulnya panas dan xenon menyebabkan timbulnya reaktivitas negatif pada reaktor. Dalam pembuatan simulator proses reaktor ini, diandaikan bahwa reaktivitas negatif dianggap sebagai balikan satu (unity feed back), yang diagram bloknya dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram blok umpan balik reaktor nuklir

Fungsi alih proses reaktor dengan elemen umpan baliknya dapat dinyatakan pada persamaan 6.

$$Gpf(s) = \frac{s + 0,125}{s^2 + 51s + 0,125} \quad (6)$$

Dalam domain waktu persamaan 6, dapat direalisasi menjadi rangkaian simulator proses, yang dapat dinyatakan dalam persamaan 7.

$$Y + 51Y + 0,125Y = X + 0,125X \quad (7)$$

Dari persamaan 7, rangkaian simulator proses dapat dibuat dengan menggunakan beberapa komponen Op-amp, misalnya sebagai penjumlah, pengurang, penguat, integrator dan rang-



Gambar 5. Diagram rangkaian simulator reaktor nuklir.

kaian inverter. Rangkaian simulator dapat dilihat pada Gambar 5.

**Perangkat ADC**

Kartu perangkat ADC (pengubah analog ke digital) ini mudah didapatkan di pasaran dan dapat dipasang pada slot IBM-PC. Alamat yang digunakan untuk mengoperasikan ADC tersebut, yaitu dari 278H-27FH. Spesifikasi rangkaian ADC tersebut adalah sebagai berikut: 12 bit 16 kanal, tegangan masukan 0-9volt, unipolar, waktu konversi 60 s/kanal.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

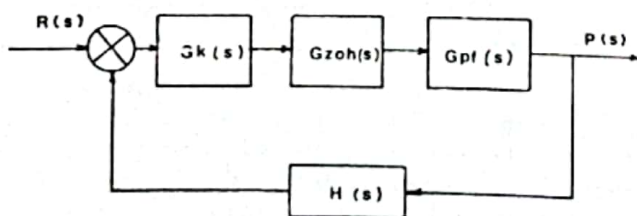
*Diagram blok fungsi alih sistem kendali*

Gambar 1 memperlihatkan fungsi alih sistem kendali yang dirancang, sedangkan Gambar 6 memperlihatkan diagram blok fungsi alih sistem kendali. Fungsi alih sistem pengendali Gk(s) dapat dilihat pada persamaan 1 dan 2. Untuk mengubah sinyal diskrit dari komputer menjadi sinyal kontinyu, dipilih Zero Order Hold (ZOH) dengan fungsi alih seperti pada persamaan 8.

$$G_{zoh}(s) = \frac{1 - e^{-Ts}}{s} \quad (8)$$

Rangkaian ADC digunakan untuk mengubah sinyal kontinyu menjadi sinyal diskrit; dalam hal ini fungsi alih H(s) adalah merupakan *sampler*. Untuk menerapkan fungsi alih dalam domain s pada sistem kendali Gambar 6 ke dalam program komputer, maka domain s tersebut lebih dahulu ditransformasikan ke domain z dengan transformasi Tustin, seperti pada persamaan 9.

$$s = \frac{2(1 - z^{-1})}{T(1 + z^{-1})} \quad (9)$$



Gambar 6. Diagram blok fungsi alih sistem kendali batang kendali reaktor nuklir

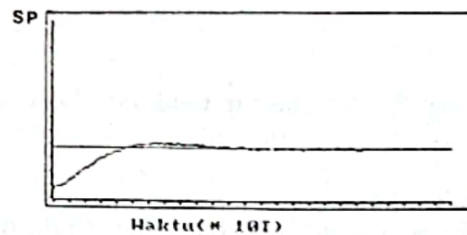
**Hasil uji coba pengendali PI**

Sistem yang dibuat diujicobakan dengan menggunakan program pascal. Hasil penyetelan parameter PI dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil uji coba pengendali PI

| T (s) | K    | Ti (s) | Mp (%) | Osilasi penuh |
|-------|------|--------|--------|---------------|
| 0,5   | 0,50 | 0,10   | 73     | ya            |
| 0,5   | 0,40 | 0,10   | 63     | ya            |
| 0,5   | 0,40 | 0,20   | 16     | tidak         |
| 0,5   | 0,18 | 0,13   | 5      | tidak         |

Respon sistem kendali dengan pengendali PI pada K=0,18 s, Ti=0,13 s, T=0,5 s, diperoleh Mp=5%, dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Respon sistem kendali dengan pengendali PI

**Hasil uji coba pengendali PID**

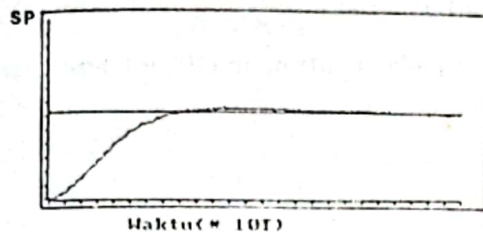
Hasil uji coba penyetelan parameter pengendali PID dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil uji coba pengendali PID

| T (s) | K   | Ti (s) | Td (s) | Mp (%) | Osilasi penuh |
|-------|-----|--------|--------|--------|---------------|
| 0,5   | 2,7 | 3,5    | 1,5    | 8      | tidak         |
| 0,5   | 2,6 | 3,5    | 0,3    | 4      | tidak         |
| 0,5   | 3,0 | 3,2    | 1,5    | 14     | tidak         |
| 0,5   | 2,6 | 4,2    | 0,4    | -      | tidak         |



Respon sistem kontrol dengan pengontrol PID pada  $K=2,6$  s,  $T_i=3,5$  s,  $T_d=0,3$  s,  $T=0,5$  s, serta  $M_p=4\%$  dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Respon sistem kendali dengan pengendali PID

#### Analisis kestabilan sistem

Kestabilan sistem dapat ditentukan dari akar persamaan karakteristik diagram blok Gambar 6. Sistem dikatakan stabil jika semua akarnya terletak dalam lingkaran satuan ( $|z| < 1$ ). Pada pengendali PI untuk  $T=0,5$  s,  $T_i=0,13$  s, diperoleh kestabilan sistem pada daerah penguatan  $0 < K < 137$ . Sedang pada pengendali PID untuk  $T=0,5$  s,  $T_i=3,5$  s,  $T_d=0,3$  s, diperoleh kestabilan sistem pada daerah penguatan  $0 < K < 22,3$ .

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Schultz, M.A., Control of Nuclear Reactors and Power Plants, Mc Graw Hill Inc, New York (1961).
2. Katz P., Digital Control Using Microprocessors, Prentice Hall International Inc, London (1981).
3. Corbin, H.C., Analysis of the zero power reactor transfer function, Ramo Wooldridge Research Laboratory (1979).
4. Ash, M., Nuclear Reactor Kinetics, McGraw Inc., New York (1979).
5. Ogata, K., Modern Control Engineering, Prentice Hall International Inc, New Delhi (1984).
6. Van Rennes, A.B and Simon J.C., Dynamics and Control of Nuclear Power Plants, Nuclear Engineering and Science Conference, Cleveland, Ohio (1955).

#### DISKUSI

Arlinah .K :

1. Dalam rumus fungsi alih ada konstanta yang bernilai 0,125. Coba jelaskan dari mana datangnya konstanta ini.

#### KESIMPULAN DAN SARAN

##### Kesimpulan

1. Dari penyetelan parameter pengendali, diperoleh harga maksimum *overshoot* sebesar 5% untuk pengendali PI. Sedang untuk pengendali PID diperoleh maksimum *overshoot* sebesar 4%.
2. Dari analisis kestabilan diperoleh hasil bahwa sistem stabil untuk harga penguatan  $0 < K < 137$  pada pengendali PI. Sedang pada pengendali PID diperoleh penguatan  $0 < K < 22,3$ .
3. Dengan menggunakan komputer mikro, data keluaran proses dapat disimpan dan dianalisis kembali untuk melihat apakah parameter PID dan PI sudah sesuai dengan yang diinginkan.

##### Saran

1. Perangkat lunak dan keras pendukung simulator sistem kendali otomatis kedudukan batang kendali dapat dikembangkan lebih lanjut agar dapat diimplementasikan langsung ke proses sesungguhnya.
2. Aktuator penggerak batang kendali harus dicoba dengan motor jenis lain (misal motor ac), yang mempunyai torsi lebih besar. Karena dalam pengendalian yang sesungguhnya aktuator akan menggerakkan batang kendali dengan massa yang cukup besar. Perlu dipelajari karakteristik dari aktuator yang dipakai, karena mempengaruhi kinerja sistem yang dikendalikan.

2. Perkataan "pembuatan simulator" mempunyai arti bahwa ada suatu perangkat di mana kita bisa memperlakukan simulator tersebut untuk melakukan pengendalian secara fisik (artinya ada bentuk fisik yang mewakili batang kendali)

**Budiono :**

1. Rumus fungsi alih dengan angka 0,125 berasal dari rumus dasar kinetika reaktor kemudian secara *engineering* dibuat oleh Corbin dengan fungsi alih  $G(s) = \frac{S + 1,025}{S + (S + 50)}$
2. Dalam hal ini batang kendali yang dibuat adalah berupa besi batangan (40 cm) dengan diberi gerigi (ulir) dan digerakkan oleh motor langkah.

**Djarmiko :**

1. Apa beda penelitian tahun lalu (1991) dengan tahun ini (1992)?
2. Apakah ada rencana membuat pengatur pengendali itu sendiri atau tidak ?

**Budiono :**

1. Penelitian tahun 1991 hanyalah simulasi dengan perangkat lunak saja. Sedang tahun 1992 simulator menggunakan perangkat keras dan lunak.
2. Untuk di PPTN saat ini tidak ada rencana pembuatan alat pengendali tersebut, tetapi di PPNY saat ini sedang dirancang untuk percobaan kontrak reaktor Kartini.

**Uju Jujuratishela :**

1. Dalam simulasi ini digunakan asumsi 1 grup neutron kasip. Sesungguhnya dalam reaktor ada 6 grup neutron kasip dan simulasi seyogyanya untuk keadaan yang sebenarnya. Apa kendalanya tidak disimulasi dengan keadaan yang sesungguhnya?
2. Apakah simulasi ini untuk operasi daya nominal (1 Mw)?
3. Bila tidak (lanjutan no 2) untuk daya tinggi, kenapa dalam fungsi pindahnya sudah ada suku umpan balik?

**Budiono :**

1. Karena penelitian ini dasar untuk sistem kontrol batang kendali reaktor nuklir, maka diambil yang paling mudah perhitungannya (1 grup neutron kasip), secara *engineering* hasil 6 grup hampir sama dengan 1 grup.
2. Karena simulator ini hanya untuk kontrol batang kendali, maka daya *output* dianggap normal yang sudah ada umpan balik.
3. Umpan balik tersebut kami anggap bahwa daya reaktor baru naik, mungkin 500 watt, tetapi hal ini hanyalah simulator kontrol batang kendali.