

REDUKSI ORDE MODEL REAKTOR NUKLIR DALAM DOMAIN FREKUENSI DAN WAKTU*

Djoko Hari Nugroho*



ID990000028

ABSTRACT

REDUCED ORDER FOR NUCLEAR REACTOR MODEL IN FREQUENCY AND TIME DOMAIN. In control system theory, a model can be represented by frequency or time domain. In frequency domain, the model was represented by transfer function. In time domain, the model was represented by state space. For the sake of simplification in computation, it is necessary to reduce the model order. The main aim of this research is to find the best order in nuclear reactor model. Model order reduction in frequency domain can be done utilizing pole-zero cancellation method; while in time domain utilizing balanced aggregation method. The balanced aggregation method was developed by Moore (1981). In this paper, the two kinds of method were applied to reduce a nuclear reactor model which was constructed by neutron dynamics and heat transfer equations. To validate that the model characteristics were not change when model order reduction applied, the impulse response was utilized for full and reduced order. It was shown that the nuclear reactor order model can be reduced from order 8 to 2. Order 2 is the best order for nuclear reactor model.

ABSTRAK

REDUKSI ORDE MODEL REAKTOR NUKLIR DALAM DOMAIN FREKUENSI DAN WAKTU. Dalam teori kontrol, model dapat direpresentasikan dalam domain frekuensi dan waktu. Dalam domain frekuensi model direpresentasikan dalam fungsi transfer. Dalam domain waktu, model direpresentasikan dalam ruang keadaan (*state space*). Untuk mempermudah komputasi di dalam operasi sistem kontrol, perlu dilakukan reduksi orde model. Tujuan penelitian ini adalah untuk memperoleh orde model terbaik untuk model reaktor nuklir. Reduksi orde dalam domain frekuensi menggunakan metode *pole-zero cancellation*; sedangkan reduksi orde dalam domain waktu dikembangkan oleh Moore (1981) menggunakan metode *balanced aggregation*. Kedua metode diterapkan untuk mereduksi orde model reaktor nuklir yang disusun berdasarkan model dinamika neutron dan perpindahan panas. Untuk membuktikan bahwa karakteristik model tidak berubah selama reduksi orde, maka dibuat tanggap impuls (*impulse response*) terhadap orde utuh dan orde reduksi. Dari hasil simulasi menggunakan MATLAB tampak bahwa model reaktor nuklir yang semula berorde 8 dapat direduksi menjadi orde 2. Orde 2 adalah orde terbaik untuk model reaktor nuklir sampel.

* Pusat Penelitian Teknologi Keselamatan Reaktor - BATAN

PENDAHULUAN

Perkembangan teori dan aplikasi sistem kontrol tidak dapat dilepaskan dari pengaruh komputer dan komputasi. Sistem kontrol berbasis komputer telah dipakai di banyak instalasi konvensional maupun nuklir. Diperkirakan dalam dekade mendatang, penggunaan sistem kontrol dalam basis mikrokomputer akan lebih banyak lagi. Efisiensi komputasi ditentukan oleh kualitas perangkat keras, perangkat lunak yang mendukungnya, dan algoritma atau simplifikasi orde matriks karakteristik sistem.

Dalam bidang sistem kontrol, akurasi pemodelan suatu sistem amat penting. Model dibuat semirip mungkin dengan sistem sesungguhnya agar sistem kontrol yang didisain mengacu pada model dapat digunakan untuk sistem yang sesungguhnya. Dalam domain frekuensi, model direpresentasikan ke dalam fungsi transfer. Dalam teori kontrol modern, model direpresentasikan dalam domain waktu, yaitu dalam ruang keadaan. Karakteristik sistem diwakili oleh matriks A dalam representasi ruang keadaan. Untuk sistem yang kompleks, matriks A ukurannya sangat besar. Untuk mempermudah komputasi yang melibatkan matriks A dalam representasi ruang keadaan dan numerator/denominator dalam fungsi transfer, maka dilakukan reduksi orde model.

Dalam domain frekuensi telah dikembangkan metode *pole-zero cancellation* untuk memperoleh orde terbaik sistem.

Tujuan penelitian ini adalah untuk memperoleh orde model terbaik untuk model reaktor nuklir

TEORI

Reduksi Orde dalam Domain Waktu

Dalam domain waktu, Moore (1981) mengembangkan metode untuk mereduksi orde model dengan menggunakan matriks transformasi $S=VDP\Sigma^{-1/2}$ sehingga sistem seimbang dan diperoleh bentuk sistem yang paling terkontrol (*controllable*) dan teramati (*observable*).

Sistem linier *time invariant* didefinisikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}x(t) &= Ax(t) + B(u) \\y(t) &= C(t)\end{aligned}$$

dimana A , B , dan C adalah matriks sistem, matriks masukan, dan matriks keluaran sedangkan A^T , B^T , dan C^T adalah transpose dari matriks A , B dan C .

Metode agregasi seimbang berdasarkan diagonalisasi gramian keterkontrolan (G_c) dan keteramatan (G_o), adalah

$$G_c = \int_0^{\infty} e^{At} B B^T e^{A^T t} dt$$

$$G_o = \int_0^{\infty} e^{A^T t} C^T C e^{At} dt$$

Matriks gramian memenuhi persamaan *Lyapunov*:

$$G_c \dot{A}^T + A G_c + B B^T = 0 \quad (1)$$

$$G_o A + A^T G_o + C^T C = 0 \quad (2)$$

Pendekatan keseimbangan pada reduksi model bertumpu pada komputasi matriks transformasi S sedemikian rupa sehingga G_c dan G_o menjadi sama dan diagonal.

Reduksi Orde dalam Domain Frekuensi

Dalam domain frekuensi model dinyatakan dalam fungsi transfer. Bila fungsi eigen dinyatakan sebagai $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$, maka fungsi transfer adalah:

$$H(s) = C(sI - A)^{-1} B$$

$$= \frac{NUM(s)}{den(s)}$$

$$= \frac{Z(s)}{p(s)} = k \frac{(s - Z(1))(s - Z(2)) \dots (s - Z(m))}{(s - p(1))(s - p(2)) \dots (s - p(n))}$$

Pada metode *pole-zero cancellation*, pole $p(s)$ dieliminasi oleh zero $Z(s)$, sehingga diperoleh suku yang optimal.

Pemodelan Reaktor Nuklir

Model sistem reaktor daya nuklir terdiri atas model dinamika neutron dan model dinamika perpindahan panas. Untuk model reaktor daya, dipergunakan mekanisme umpan balik negatif temperatur. Diasumsikan model reaktor adalah sebagai berikut(1):

1. reaktor nuklir berpendingin air ringan dan tak mendidih,
2. reaktor bekerja pada daya rendah,

3. reaktor baru beroperasi sebentar
4. reaktor kuasi-homogen (*quasi homogeneous*),
5. elemen bakar tak berkelongsong.
6. perpindahan panas aksial diabaikan
7. distribusi fluks dan Panas secara radial adalah seragam

Dengan demikian formulasi model dapat diwakili oleh persamaan (3), (4) dan (5)

$$\delta \dot{n} = -\frac{\beta}{\Lambda} \delta n + \sum_{i=1}^m \lambda_i \delta c_i + \frac{\alpha_f \delta T n_0}{\Lambda} + \frac{\delta p_{eks} n_0}{\Lambda} \quad (3)$$

$$\delta \dot{C}_i = \frac{\beta_i}{\Lambda} \delta n - \lambda_i \delta C_i \quad (4)$$

$$\frac{dT_f}{dt} = \frac{q}{c_m} - \frac{T_f}{\tau} \text{ atau } \dot{T} = K \delta n - \frac{T_f}{\tau} \quad (5)$$

dimana: τ adalah konstanta waktu perpindahan panas

Dalam domain waktu, model sistem reaktor nuklir dapat direpresentasikan dalam ruang keadaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx \end{aligned}$$

$$\begin{pmatrix} \delta \dot{n} \\ \delta \dot{C}_1 \\ \delta \dot{C}_2 \\ \delta \dot{C}_3 \\ \delta \dot{C}_4 \\ \delta \dot{C}_5 \\ \delta \dot{C}_6 \\ \delta \dot{T}_f \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{\beta}{\Lambda} & \lambda_1 & \lambda_2 & \lambda_3 & \lambda_4 & \lambda_5 & \lambda_6 & \frac{\alpha_f n_0}{\Lambda} \\ \frac{\beta_1}{\Lambda} & -\lambda_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\beta_2}{\Lambda} & 0 & -\lambda_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\beta_3}{\Lambda} & 0 & 0 & -\lambda_3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\beta_4}{\Lambda} & 0 & 0 & 0 & -\lambda_4 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\beta_5}{\Lambda} & 0 & 0 & 0 & 0 & -\lambda_5 & 0 & 0 \\ \frac{\beta_6}{\Lambda} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\lambda_6 & 0 \\ K & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{\tau} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta n \\ \delta C_1 \\ \delta C_2 \\ \delta C_3 \\ \delta C_4 \\ \delta C_5 \\ \delta C_6 \\ \delta T_f \end{pmatrix} + \delta p_{eks} \begin{pmatrix} \frac{n_0}{\Lambda} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$A = \begin{pmatrix} -64 & 3,88 & 1,4 & 0,311 & 0,116 & 0,0317 & 0,0127 & -4,676.10^5 \\ 1,68 & -3,88 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 8,24 & 0 & -1,4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 26,3 & 0 & 0 & -0,311 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 12,1 & 0 & 0 & 0 & -0,116 & 0 & 0 & 0 \\ 13,7 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0,0317 & 0 & 0 \\ 2,46 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0,0127 & 0 \\ 4,19 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0,2427 \end{pmatrix}$$

$$B = (4,676.10^9 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0)^T$$

$$C = (1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0)$$

Dalam domain frekuensi model sistem reaktor nuklir dapat direpresentasikan dalam fungsi transfer sebagai berikut:

$$H(s) = \left(4,676.10^9\right) \frac{(s+0,0127)(s+0,0317)(s+0,116)(s+0,311)(s+1,4)(s+3,88)(s+0,2427)}{(s+32,1213-1399,3569i)(s+32,1213+1399,3569i)(s+3,88)(s+1,4)(s+0,311)(s+0,116)(s+0,0317)(s+0,0127)}$$

TATA KERJA

Reduksi Orde dalam Domain Waktu

Untuk domain waktu, dilakukan reduksi orde menggunakan program MATLAB. Karena matriks A orde 8, maka dibuat reduksi orde kesatu sampai dengan ke-7. Karakteristik model tampak dari tanggap impuls. Untuk memvalidasikan akurasi reduksi orde, maka disimulasikan tanggap impuls reduksi orde kesatu sampai ke-7. Hasilnya ditampilkan pada Gambar 1a dan 1b.

Reduksi Orde dalam Domain Frekuensi

Bila pole $p(s)$ dieliminasi oleh zero $Z(s)$, akan diperoleh suku yang optimal. Fungsi transfer sistem menjadi

$$H(s) = \left(4,676.10^9\right) \frac{(s + 0,2427)}{(s + 32,1213 - 1399,3569i)(s + 32,1213 + 1399,3569i)}$$

Untuk memvalidasikan akurasi reduksi orde, maka disimulasikan tanggap impuls reduksi orde. Tanggap impuls dibuat menggunakan MATLAB, dan hasilnya ditampilkan pada Gambar 2.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Reduksi orde pada domain waktu yang tercantum pada Gambar 1a dan 1b menunjukkan adanya karakteristik yang berbeda antara model orde penuh dengan model orde reduksi. Reduksi orde 1 menunjukkan karakteristik yang amat berlainan dengan orde lengkap. Sedangkan reduksi orde berikutnya, yaitu reduksi orde 2 sampai dengan 7 menunjukkan karakteristik yang sama atau hampir sama dengan orde lengkap.

Reduksi orde pada domain frekuensi menunjukkan keadaan yang hampir serupa. Pada Gambar 2 tampak bahwa kurva orde lengkap (orde 8) sama dengan kurva orde 2 hasil *pole-zero cancelling*. Kesamaan bentuk kurva pada tanggap impuls menunjukkan kesamaan karakteristik model.

KESIMPULAN

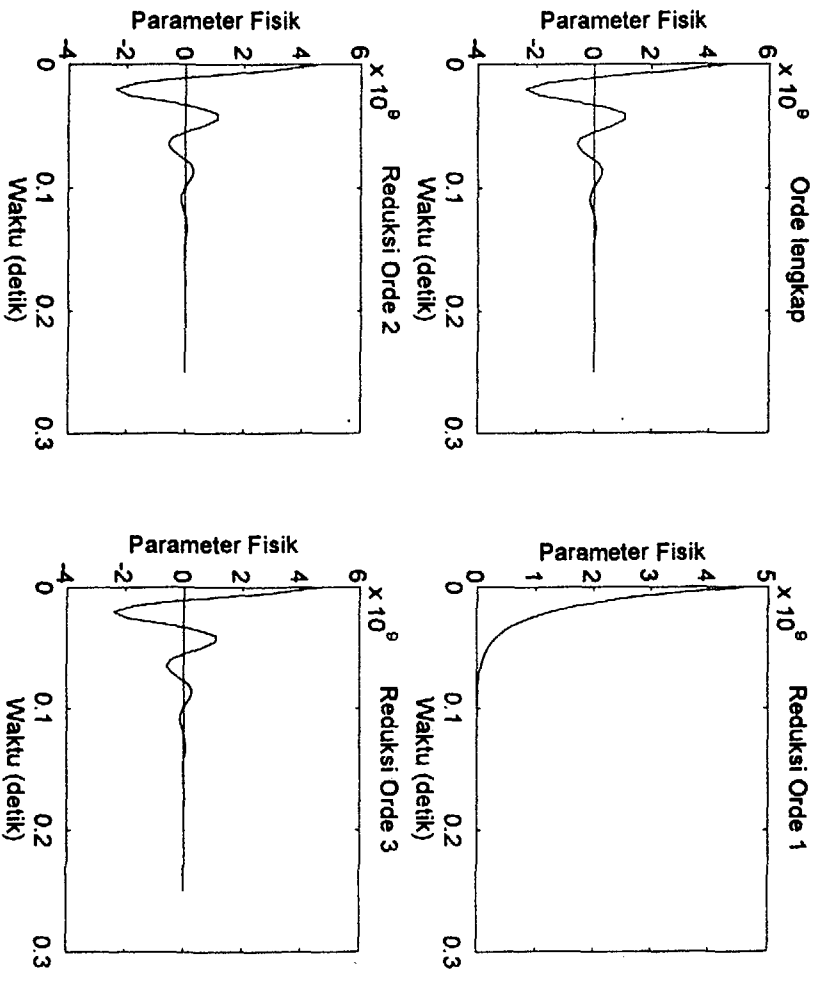
Berdasarkan hasil simulasi, dapat disimpulkan bahwa:

1. Reduksi orde dalam domain frekuensi hasilnya sama dengan reduksi orde dalam domain waktu.
2. Model sistem reaktor nuklir yang diamati dapat direduksi ordenya, dan orde optimalnya adalah 2.

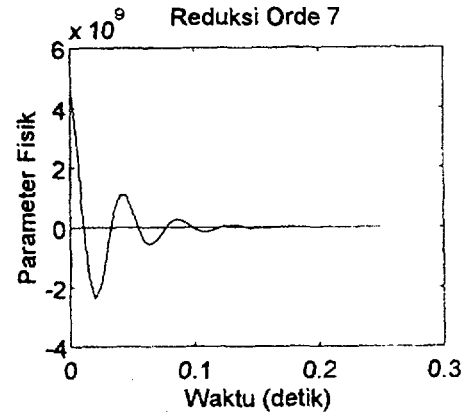
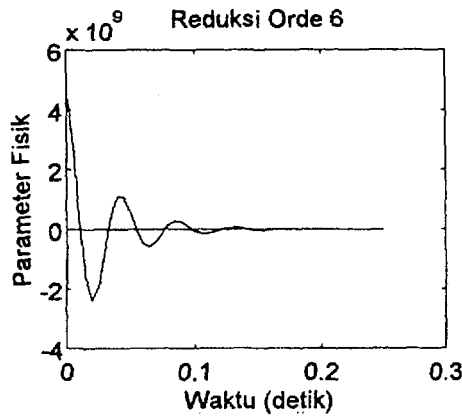
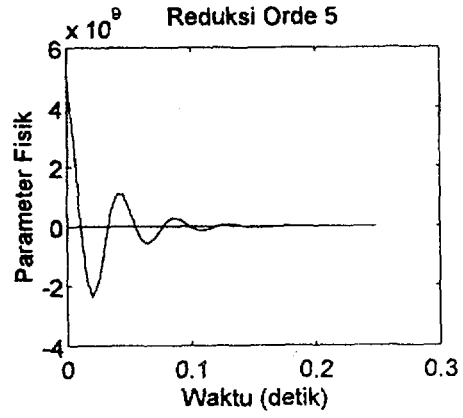
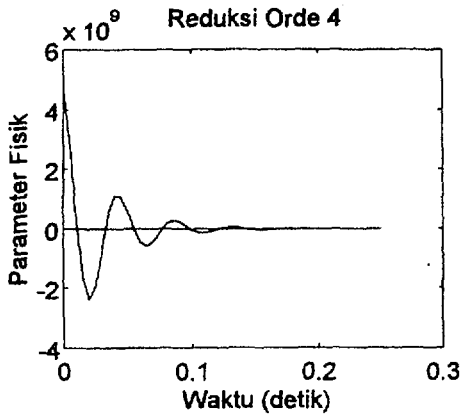
DAFTAR PUSTAKA

1. H.N. DJOKO, "Simulasi dan Analisis Stabilitas Pembangkit Derau Reaktor Nuklir Model ARMA", Lokakarya Komputasi Dalam Sains dan Teknologi Nuklir V, Jakarta, (1995)

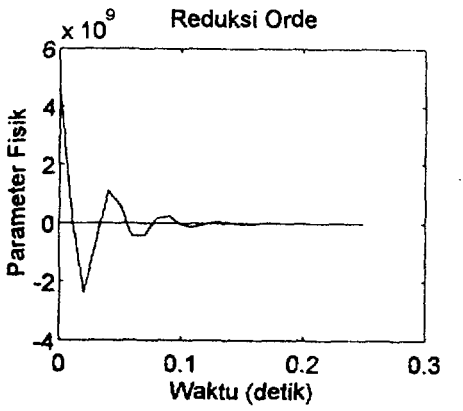
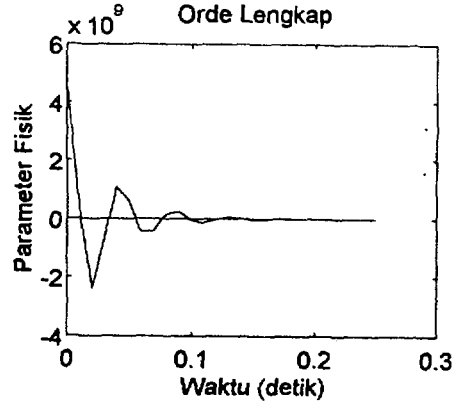
2. M.JAMSIDHI, M. TAROKH, B. SHAFAI, "Computer-Aided Analysis and Design of Linear Control System", Prentice-Hall International Editions, Englewood Cliffs, (1992)
3. R.R. MOHLER, C.N. SHEN, "Optimal Control of Nuclear Reactors", Academic Press, New York, (1970)



Gambar 1a. Reduksi Orde Model dalam Domain Waktu



Gambar 1b. Reduksi Orde Model dalam Domain Waktu



Gambar 2. Reduksi Orde Model dalam Domain Frekuensi

LAMPIRAN

Notasi

β	fraksi neutron kasip
n	jumlah neutron
l	umur neutron, (detik)
λ_i	konstanta peluruhan neutron kasip kelompok ke-i
C_i	sumber neutron konstan
q	sumber neutron konstan
Λ	umur generasi neutron
ρ	reaktivitas, (\$)
α_f	koefisien reaktivitas temperatur, ($^{\circ}C$)
q_f	panas yang dibangkitkan dari reaksi pembelahan, (MeV/det)
T_f	temperatur rerata teras, ($^{\circ}C$)
c_m	kapasitas panas efektif massa teras, (MeV/ $^{\circ}C$)

DISKUSI

SARWO D. DANUPOYO

State-space dan domain frekuensi saling berkaitan. Bila orde model dalam domain frekuensi diturunkan / direduksi, apakah jumlah *state* berubah setelah dikembalikan ke *state-space*-nya?

DJOKO HARI NUGROHO

Jumlah *state* berubah, tetapi karena *state* hasil reduksi merupakan *state* dominan (terbukti dari *impulse response* sama dengan orde lengkap), maka orde 2 merupakan orde terbaik.

SAHALA LUMBANRAJA

Anda menyimpulkan bahwa orde 2 merupakan orde terbaik. Apa alasan Anda menyimpulkan demikian, padahal semakin tinggi orde matematis akan memberikan hasil yang lebih baik?

DJOKO HARI NUGROHO

Prinsip efisiensi dalam komputasi adalah menggunakan memory (RAM) komputer dan waktu sesedikit mungkin namun masih mempresentasikan karakteristik sistem. Dari hasil simulasi terbukti bahwa sistem dalam domain waktu dan frekuensi dapat direduksi menjadi orde 2, yang merupakan orde minimal yang dapat diperoleh yang masih mempunyai karakteristik sama dengan orde lengkap.

**NEXT PAGE(S)
left BLANK**