

MODEL SISTEM DINAMIK TANGKI AIR MENGGUNAKAN IDENTIFIKASI SISTEM NONLINEAR HAMMERSTEIN-WIENER

Arjoni Amir
Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir-BATAN
Email : arjoniamir@batan.go.id

ABSTRAK

MODEL SISTEM DINAMIK TANGKI AIR MENGGUNAKAN IDENTIFIKASI SISTEM NONLINEAR HAMMERSTEIN-WIENER. Telah dilakukan percobaan simulasi pemodelan sistem dinamik dua tangki air yang dihubungkan secara seri menggunakan teknik identifikasi sistem nonlinear Hammerstein-Wiener. Sistem dinamik yang terjadi ditinjau dari perubahan tegangan listrik dari pompa air sebagai parameter input dan level air dalam tangki kedua sebagai parameter output. Hubungan kedua parameter ini adalah SISO (Single Input Single Output) dan nonlinear. Sistem dinamika antara kedua parameter ini dinyatakan dalam rekaman pasangan data input-output. Kombinasi parameter input blok nonlinear, blok linear, parameter output blok nonlinear, waktu delay n_k , dan pemakaian estimator nonlinearity seperti piecewise linear serta sigmoid network dengan jumlah blok nonlinearity tertentu akan menghasilkan beberapa struktur model nonlinear Hammerstein-Wiener yang akurat. Dari hasil percobaan simulasi diperoleh struktur model nonlinear Hammerstein-Wiener yang diindikasikan dengan nilai Loss Function (LF) yang kecil yaitu 0.00026746, kriteria Final Prediction Error yaitu 0.0002859 dan nilai Best Fit yaitu 89.49 %, Fit 90.32 %, orde struktur model [$n_b = 1$, $n_l = 6$, $n_k = 1$], dan dengan masing-masing jumlah blok nonlinear (input nonlinearity dan output nonlinearity) adalah 10.

Kata kunci : Identifikasi sistem, SISO (Single Input Single Output), nonlinear Hammerstein-Wiener

ABSTRACT

A DYNAMIC SYSTEM MODEL FOR A WATER TANK USING NONLINEAR HAMMERSTEIN-WIENER SYSTEM IDENTIFICATION. It has been simulated experiment at a model two water tanks connected in serial using nonlinear Hammerstein Wiener system identification technique. The dynamic system to be evaluated is taken from the voltage change of water pump as input parameter and the second tank water level as output parameter. Relationship of these parameters are SISO (Single Input, single Output) and nonlinear. Dynamic system between these parameters is expressed in a record of couple of data input-output. Combination of input parameter nonlinear block, linear block, output parameter nonlinear block, delay time n_k , and application of both estimator nonlinearity piecewise linear and sigmoid network with certain nonlinear number of block will yield some nonlinear Hammerstein Wiener model structure accurately. The result of the simulation experiment yield nonlinear Hammerstein Wiener model structure is indicated by value of Loss Function (small) 0.00026746, criterion of Final Prediction Error 0.0002859, assess Best Fit 89.49 %, Fit 90.32 %, orde of model structure [$n_b = 1$, $n_l = 6$, $n_k = 1$], and a sum of nonlinear block (input nonlinearity and output nonlinearity), 10.

Keyword : System identification, SISO (Single Input Single Output), nonlinear Hammerstein-Wiener

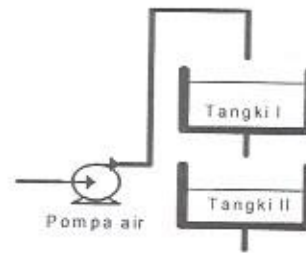
LATAR BELAKANG

Tujuan pembuatan model sistem dinamik tangki air menggunakan teknik identifikasi sistem nonlinear Hammerstein Wiener ini adalah untuk mendapatkan orde struktur model nonlinear Hammerstein Wiener sistem tangki air. Teknik identifikasi sistem menjadi langkah awal mengestimasi model dinamik tangki air (*plant*) [1,2]. Tangki air dianggap sebagai sistem *blackbox* dengan satu data input dan satu data output atau SISO (*Single Input Single Output*). Struktur model yang akan diestimasi adalah struktur model berdasarkan rekaman pasangan data input (tegangan listrik) – output (level air) dari sistem tangki tersebut. Pasangan data input - output tangki tersebut mewakili sifat – sifat dinamik sebuah proses (*plant*). Struktur model yang akan dipakai dalam proses simulasi adalah struktur model nonlinear Hammerstein-Wiener [4].

PENDAHULUAN

Gambaran Sistem Tangki air

Aliran air dalam pipa didorong oleh tekanan pompa air menuju ke tangki air pertama, dimana pompa air ini dioperasikan menggunakan sumber tegangan listrik. Tangki pertama menampung air tersebut yang keluar dari pipa, kemudian air dalam tangki ini keluar melalui pipa kecil yang vertikal terletak ditengah-tengah dasar tangki ini. Tangki kedua menampung air yang keluar dari tangki pertama diatas, air dalam tangki kedua ini juga dikeluarkan melalui pipa kecil yang terletak ditengah-tengah dasar tangki kedua ini, Gambar 1. Sistem aliran air ini mewakili sebuah sistem *plant* nonlinear, dimana model *plant* tersebut dilihat antara tegangan listrik pompa air (sebagai input) dan level air pada tangki kedua (sebagai output). Model sistem *plant* adalah SISO (*Single Input Single Output*).



Gambar 1.
Sistem tangki air 2 tingkat

TEORI

Teknik identifikasi sistem adalah menemukan hubungan sekumpulan data variabel dependent dan variabel independent yang dinyatakan dalam bentuk persamaan sebagai berikut [1,2],

$$y(t) = f^T(t)q + e(t) \quad (1)$$

dimana,

$f^T(t)$ = vektor regressor

$$= (f_1, f_2, \dots, f_p)^T$$

q = vektor parameter

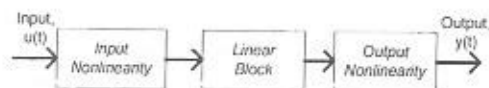
$$= (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_p)^T$$

$e(t)$ = *prediction error*

Biasanya variabel independent disebut juga vektor regressor sedangkan variabel dependent disebut juga response y .

1. Struktur Model Nonlinear Hammerstein-Wiener

Sistim dinamik struktur model nonlinear Hammerstein-Wiener ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar. 2

Struktur model nonlinear Hammerstein-Wiener, blok fungsi static nonlinear dan fungsi linear dihubungkan seri.

Struktur model nonlinear terdiri dari dua blok static nonlinear (*nonlinearity*) dan

satu blok linear. Kedua blok ini dihubungkan serial dengan input $u(t)$ dan prediksi output $y(t)$, dengan persamaan umum sebagai berikut [1],

$$\begin{aligned} y(t) &= h\{x(t)\} \\ x(t) &= \frac{B_{ji}(q)}{F_{ji}(q)}w(t) \\ w(t) &= f\{u(t)\} \\ f(x) &= \frac{1}{e^{-x} + 1} \\ y &= F(x) \end{aligned} \quad (2)$$

dimana,

$u(t)$ = input sistem
 $y(t)$ = output sistem
 f, h = fungsi nonlinear yang berhubungan dengan blok input nonlinearity dan blok output nonlinearity.
 $w(t)$ dan $x(t)$ = variabel internal.

$w(t)$ mempunyai dimensi yang sama dengan $u(t)$, dan $x(t)$ mempunyai dimensi yang sama dengan $y(t)$. $B_{ji}(q)$ dan $F_{ji}(q)$ merupakan fungsi polynomial yang terletak dalam blok linear. Output ny dan input nu membentuk matrik fungsi transfer B_{ji} dan F_{ji} dimana nilai $j=1,2, \dots ny$ dan nilai $i=1,2, \dots nu$. Bila struktur model hanya terdapat blok input linearity dan blok linear saja maka model struktur disebut struktur model *Hammerstein*. Sebaliknya bila struktur model hanya terdapat blok linear dan blok output linearity maka struktur model disebut struktur model *Wiener*. Untuk menentukan orde model maka jumlah *zero plus one* (n_b), jumlah pole (n_l) dan jumlah delay (n_k) dari input ke output dalam satuan jumlah sampel harus ditentukan nilainya.

2. Regressor, Orde Model dan Delay

Sinyal input $u(t)$ dan sinyal output $y(t)$ merupakan sinyal parameter regressor standar yang dihitung secara otomatis sebagai transformasi delay untuk orde model yang ditentukan. Orde model harus ditentukan terlebih dahulu

kemudian baru dilakukan perhitungan pendekatan untuk menentukan regressor standar. Regressor standar terdiri atas n_b, n_l dan n_k .

3. Estimator Nonlinearity untuk Struktur Model Nonlinear Hammerstein Wiener

Estimator nonlinearity terdiri dari bentuk kurva fungsi Deadzone, Piecewise Linear, Saturation, Sigmoid Network (SN). Wavelet network (WN). Fungsi Sigmoid Network diberikan oleh persamaan,

$$f(x) = \frac{1}{e^{-x} + 1} \quad (3a)$$

Dan fungsi Piecewise linear diberikan oleh persamaan,

$$y = F(x) \quad (3b)$$

$F(x)$ merupakan fungsi interpolasi linear.

4. Loss Function (LF)

Loss function didefinisikan dengan persamaan sebagai berikut [1,3],

$$V = \det\left(\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \varepsilon(t, \theta_N) (\varepsilon(t, \theta_N))^T\right) \quad (4)$$

Nilai LF berfungsi sebagai indicator untuk mengestimasi model. Akurasi model ditunjukkan oleh nilai LF terkecil.

5. Kriteria Final Prediction Error (FPE)

FPE didefinisikan dengan persamaan sebagai berikut [1,3],

$$FPE = V \left(\frac{1 + d/N}{1 + d/N} \right) \quad (5)$$

dimana,

V = loss function
 d = jumlah parameter yang diestimasi
 N = jumlah data estimasi

Model yang akurat mempunyai nilai FPE yang paling kecil.

6. Best Fit

Best Fit (%) didefinisikan dengan persamaan sebagai berikut [1,3],

$$\text{Best Fit} = \left(1 - \frac{|y - \hat{y}|}{|y - \bar{y}|} \right) \times 100 \% \quad (6)$$

dimana,

y = output yang diukur

\hat{y} = model prediksi output

\bar{y} = output rata-rata

Best Fit dinyatakan dalam ukuran prosentase (%), untuk kurva model output diperoleh dari perbandingan antara kurva model output dengan output data validasi, sedangkan Fit (%) dihitung menggunakan pasangan data estimasi.

DATA DAN PEMBAHASAN

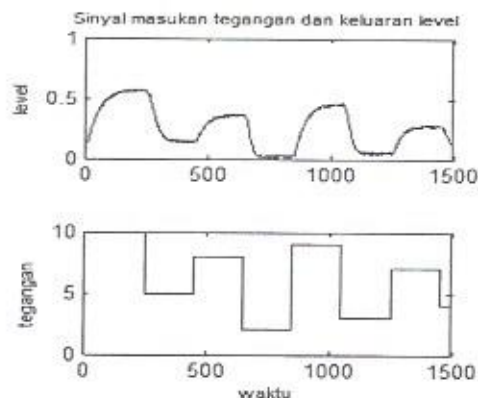
Data yang digunakan terdiri dari 3000 pasangan data input -output. Pasangan data mulai dari data pertama sampai dengan data ke 1500 akan dipakai untuk mengestimasi parameter model struktur, sedangkan pasangan data dari 1501 sampai dengan data ke 3000 dipakai untuk proses validasi, sebagai mana terlihat pada Gambar 3 dan Gambar 4. Hasil simulasi diberikan oleh Tabel 1. Orde model struktur Hammerstein Wiener ditentukan dengan memberikan nilai kepada *zero plus one* n_b , jumlah pole n_f dan jumlah delay n_k .

Hasil simulasi menggunakan perangkat lunak Matlab diberikan oleh Tabel 1, secara ringkas model struktur dipilih nonlinear Hammerstein-Wiener, dengan orde model yang dikombinasikan. Kombinasi orde model yang memberikan hasil yang signifikan adalah kombinasi $[n_b=1, n_f=6, n_k=1]$, dengan estimator nonlinearity menggunakan model fungsi Piecewise dengan jumlah blok nonlinear masing-masing 10. Hasil

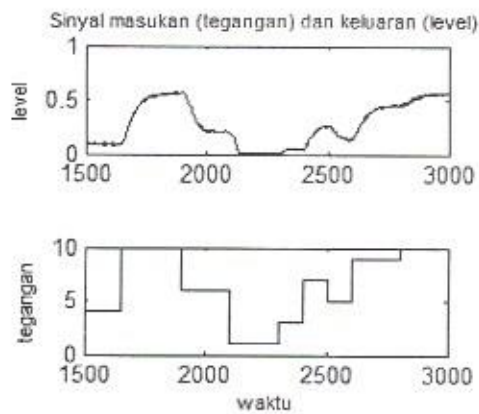
estimasi diberikan oleh kurva Gambar 5 sampai dengan Gambar 7. Nilai Loss Function, FPE, Fit (%), dan Best Fit (%) diberikan oleh Tabel 1.

Nilai Best Fit (%) terbesar diberikan oleh model $[n_b=1, n_f=6, n_k=1]$ dan $[n_b=1, n_f=6, n_k=2]$ yaitu 89.49 %. Pada orde model ini diperoleh nilai Fit 90.32 %, Best Fit 89.49 % dengan nilai FPE 0.0002859 dan nilai Loss Function 0.00026746.

Gambar 5 memberikan bentuk kurva autokorelasi (*autocorrelation*) dan korelasi silang (*crosscorrelation*) dengan level konfiden 99 %. Hasil autokorelasi residu untuk level output terlihat masih dalam batas kecil dari 1 %, begitu juga untuk korelasi silang masih dalam batas kecil dari 1 %.



Gambar 3.
Pasangan data input-output



Gambar 4.
Pasangan data input-output
untuk validasi

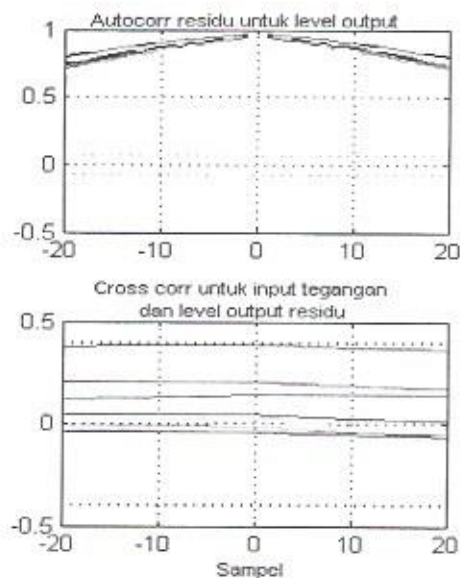
Gambar 6 menunjukkan kurva model output antara hasil pengukuran dan hasil simulasi dengan batas level konfiden 99 %.

Gambar 7 blok input linearity, memberikan kurva antara input tegangan dan nilai nonlinearity, dan Gambar 8 blok output linearity, kurva menunjukkan hubungan output level dengan nilai nonlinearity.

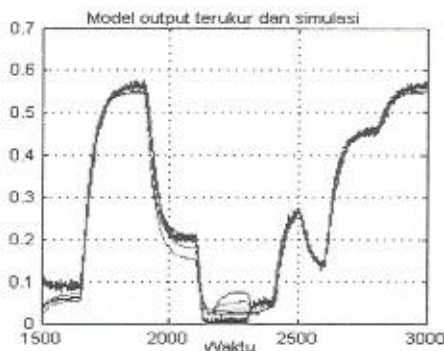
Gambar 9 bagian dari blok linear, kurva step response menunjukkan hubungan antara tegangan listrik dan level air dari seluruh struktur model

Tabel 1.
Hasil dari simulasi

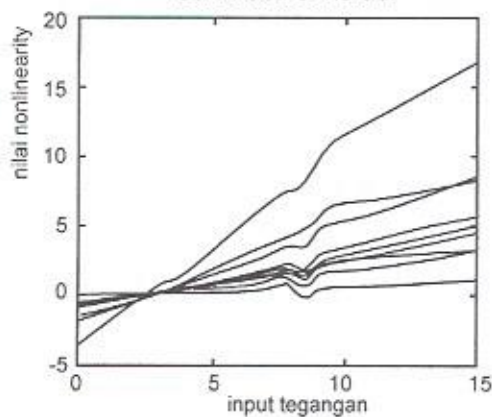
| No | Orde Model | | | Estimator nonlinearity | | | | Loss Function | FPE | Fit % | Best Fit % |
|----|------------|-------|-------|------------------------|--------|----------|--------|---------------|-----------|-------|------------|
| | n_b | N_l | n_k | Input | | Output | | | | | |
| | | | | Type | Jumlah | Type | Jumlah | | | | |
| 1 | 1 | 6 | 1 | Pwlinear | 10 | Pwlinear | 10 | 0.00026746 | 0.0002859 | 90.32 | 89.49 |
| 2 | 1 | 6 | 2 | Pwlinear | 10 | Pwlinear | 10 | 0.00026766 | 0.0002861 | 90.32 | 89.49 |
| 3 | 2 | 6 | 2 | Sigmoidnet | 10 | Pwlinear | 10 | 0.00026785 | 0.0002906 | 90.31 | 89.45 |
| 4 | 2 | 6 | 2 | Pwlinear | 10 | Pwlinear | 10 | 0.00027109 | 0.0002902 | 90.26 | 89.01 |
| 5 | 3 | 6 | 1 | Sigmoidnet | 10 | Pwlinear | 10 | 0.00029419 | 0.0003196 | 89.85 | 89.01 |
| 6 | 2 | 6 | 1 | Pwlinear | 10 | Pwlinear | 10 | 0.00026790 | 0.0002868 | 90.31 | 88.56 |
| 7 | 2 | 6 | 0 | Pwlinear | 10 | Pwlinear | 10 | 0.00034809 | 0.0003726 | 88.96 | 87.50 |
| 8 | 3 | 6 | 1 | Pwlinear | 10 | Pwlinear | 10 | 0.00026897 | 0.0002883 | 90.29 | 86.34 |
| 9 | 2 | 7 | 2 | Pwlinear | 10 | Pwlinear | 10 | 0.00028916 | 0.0003099 | 89.94 | 85.47 |



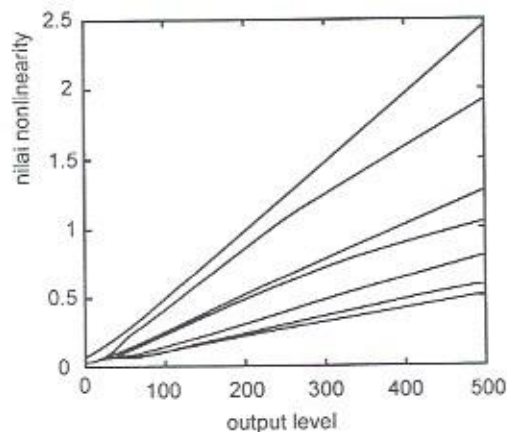
Gambar 5.
Kurva autokorelasi dan korelasi silang



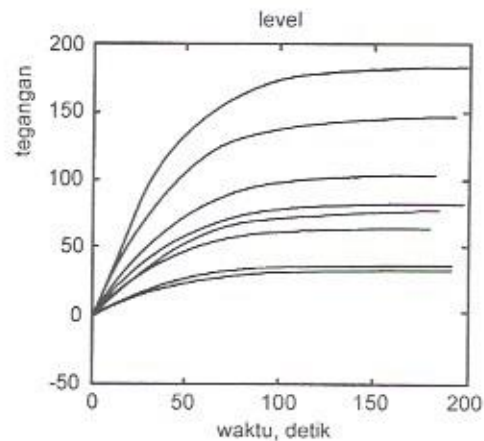
Gambar 6.
Kurva model output hasil pengukuran
dan hasil simulasi



Gambar 7
Kurva Input Nonlinearity



Gambar 8
Kurva output Nonlinearity



Gambar 9
Kurva step response antara input
tegangan dan output level
dari bagian blok linear

KESIMPULAN

Rekaman pasangan data input-output mengandung sifat-sifat dinamik dari sistem tangki air, struktur model sistem tangki air yang lebih akurat diperoleh dari kombinasi parameter zero n_b , jumlah pole n_r , waktu delay n_k , jenis estimator yang dipakai seperti piecewise linear dan dengan jumlah blok linearity masing-masing 10 untuk input linearity dan output linearity. Kriteria Loss Function, Final Prediction Error, Fit dan Best Fit dipakai untuk memberikan hasil percobaan simulasi dengan nilai error yang kecil (residu) sehingga diperoleh orde struktur model Hammerstein Wiener untuk sistem tangki air dengan kombinasi yaitu [$n_b = 1$, $n_r = 6$, $n_k = 1$], Loss Function = 0.00026746, FPE 0.0002859, Fit 90.32 % dan Best Fit 89.49 %.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. LJUNG, LENNART. 1987. "System Identification, Theory for the User". Prentice Hall, Inc. USA.
- [2]. JOHNSON, ROLF. 1993. "System Modeling And Identification". Prentice Hall, Inc., USA.

- [3]. LJUNG, LENNART. 2007. "*System Identification Toolbox 7 User Guide*". Mathworks, USA.
- [4]. ROBERT HABER; LASZLO KEVICZKY. 1999. "*Non Linear System Identification Input-Output Modeling Approach*". Kluwer Academic Publishers, London.