

# PROSIDING SIMPOSIUM

ISBN : 979 - 26 - 0273 - 9

# 2<sup>nd</sup> ISRSC

## THE 2<sup>ND</sup> INDONESIAN SYMPOSIUM ON ROBOT SOCCER COMPETITION

Auditorium UNY, 24 Juni 2014



**ISRSC  
2014**

ISBN : 979-26-0273-9

# PROSIDING ISRSC 2014

Yogyakarta, 24 Juni 2014



**Indonesian Symposium on Robot Soccer  
Competition 2014**



[seminar.uny.ac.id/simposiumkrsbi2014](http://seminar.uny.ac.id/simposiumkrsbi2014)



**DAFTAR ISI**

HALAMAN JUDUL.....	i
SUSUNAN PANITIA.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
SAMBUTAN REKTOR UNY.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
SUSUNAN ACARA.....	viii

**Keynote speech:**

RESEARCH TOWARDS ROBOT THAT THINK-RTT Wahidin Wahab, Msc., Ph.D. (Universitas Indonesia) .....	1
---	---

**Pemakalah**

1. BALL ANTICIPATION METHOD USING LINEAR REGRESSION FOR HUMANOID SOCCER ROBOT GOALIE Imaduddin A. Majid, Hadha Afrisal, Ridho Nur Rahman, Handika Putra, Bayu Kanugrahan Luknanto, Fahmi Akbar Wildana, Ja'far Shodiq, Yusuf Fauzi Nur Iswahyudi, Aziz Fajar Riyadi, Ragil Sulisty, Hafidz Imam P., Dzikri Purnama Sigit, Farahiyah Syarafina, Bakhtiar Alldino Ardi Sumbodo, Adha Imam Cahyadi .....	6
2. IMPLEMENTASI MICRO SWITCH PADA GERAK JATUH ROBOT BIOLOID TIM SOCCER UT Jusman, Muh Surya Akbar, Ayuni .....	12
3. ACCELERATION AND DECELERATION OPTIMIZATION USING INVERTED PENDULUM MODEL ON HUMANOID ROBOT EROS-2 Azhar Aulia Saputra, Achmad Subhan Khalilullah, Indra Adji Sulistijono .....	17
4. PENGOLAHAN CITRA DIGITAL PADA ROBOT KRSBI MENGGUNAKAN MAINCONTROL BERBASIS GUI DENGAN BAHASA C PADA SISTEM OPERASI WINDOWS Imam Faisal, M.Nur Fauzi Ibrahim, Hendriana Helda P., Adhy Kurnia T.dan Herlambang Sigit Pramono .....	23
5. PENGGUNAAN TIMER PADA ROBOT PEMAIN BOLA BLUE HUMAN Endyk Noviyantono, Hadriansa.....	29
6. MENENTUKAN POSISI TENDANGAN PADA ROBOT SOCCER MIDUN MENGGUNAKAN METODE FUZZY Anton Hidayat, Hendrick, Alex Sandra, Surfa Yondri.....	34
7. IMPLEMENTASI PARTIKEL FILTER DAN MONTE CARLO LOCALIZATION PADA KRSBI-KRI 2014 Imre Nagi, Maratush Sholihah, Harish Mahatma P, Muhammad Luqman, Hannan Prasasta Widyadana, Widyawardana Adiprawita, dan Kusprasapta Mutijarsa.....	42
8. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI ALGORITMA SISTEM KOMUNIKASI DAN ALGORITMA STRATEGI BERMAIN SEPAK BOLA PADA ROBOT HUMANOID KIDSIZE Maratush Sholihah, Imre Nagi, Dr. Widyawardhana Adiprawita, S.T., M.T., Dr. Kusprasapta Mutijarsa. S.T., M.T.....	47
9. SMART PHONE BERBASIS ANDROID SEBAGAI KONTROL UTAMA ROBOT HUMANOID SOCCER Aditya Tri Sutrisno N, Yonas Aditya D , Bob William C, Ivan Kurniawan S dan Choliq Budi S....	54
10. APLIKASI DUAL MIKROKONTROLER BIOLOID CM-510 UNTUK MENINGKATKAN AKSELERASI GERAKAN PADA HUMANOID ROBOT SOCCER Muhammad Luqman Bukhori dan Wisnu Adi Prasetyanto ST, M.Eng .....	56
11. PENDETEKSIAN POSISI JATUH PADA ROBOT HUMANOID "OCEANOID" MENGGUNAKAN SENSOR GYRO GS-12 Achmad Fuad Sulthoni, Hikmatul Izzah, Muhammad Fahreza , Adam Samodra Djatirangga, Rizky Eko Nugroho.....	62

12. SISTEM KENDALI STEPMOTION ROBOT HUMANOID 20 DERAJAD KEBEBASAN DALAM MENGIKUTI SUATU WARNA Ridwan Wicaksono S.T., Ir. Priyatmadi, M.T., Ir. Oyas Wahyunggoro, M.T., Ph.D., Immaduddin A.M., Dzikri Purnama S.....	66
13. FAST BALL DETECTION AND TRACKING FOR HUMANOID SOCCER ROBOT USING SIFT KEYPOINT DETECTOR Bayu Kanigoro, Widodo Budiharto.....	74
14. MENDETEKSI BENTUK DAN WARNA BOLA PADA ROBOT HUMANOID SOCCER DENGAN MENGGUNAKAN RASPBERRY PI M. Irwan Bustami, Agus Siswanto, Irawan, Afrizal Nehemia Toscani, M. Fajri Ramdhani, Chindra Saputra.....	78
15. ANALISIS STABLE WALKING HUMANOID ROBOT SOCCER BERBASIS ZERO MOMENT POINT SECARA PRAKTIK Ardhani Rahmadianto, Harianto Adriprasetyo, dan Mark Gabriel Priyono .....	82
16. RANCANG BANGUN ROBOT HUMANOID SOCCER ABENK_2 PADA KONTES ROBOT SEPAKBOLA INDONESIA 2014 M. Afridon, Depandi Enda, Emizan, Sutrimo .....	89
17. APLIKASI COMPAS CPMS 03 DAN TRIPLE AXIS ACCELEROMETER MMA7361 PADA ROBOT SEPAK BOLA SI RANCAK Mukhlidi Muskhir, Purwanto, Meri Fernandes, Zul Saputra, dan Adil vitra .....	94
18. TIM ICHIRO DALAM KONTES ROBOT SEPAK BOLA INDONESIA 2014 Ilham Budiono, Ilham Laenur Hikmat, Ach Hadi Dahlan, Hanifar Kahira, Muhtadin, Tri Arief Sardjono, Rudi Dikairon.....	99
19. ALGORITMA LOKALISASI DAN NAVIGASI ROBOT DENGAN KOMPAS DAN ENCODER MOTOR Harish Mahatma Putra, Galih Nugraha .....	103
20. KONTROL POSISI ROBOT OMNI-DIRECTIONAL MENGGUNAKAN METODE GYRODOMETRY Irfan Affandi, Indra Adji Sulistijono, Fernando Ardilla.....	106
21. PENERAPAN ALGORITMA DINAMIK A* UNTUK PENENTUAN JALUR MOBILE ROBOT PADA AREA YANG BELUM DIKETAHUI. Eko Budi Utomo, Muhtadin, Supeno Mardi S.N, Mauridhi Hery P.....	111
22. OPTIMASI KENDALI PID BERBASIS RBFNN META-MODEL ROBOT MANIPULATOR LENGAN LENTUR DUA-LINK M. Khairudin.....	115
23. ALGORITMA TRIPOD GAIT DAN KINEMATIKA BALIKAN PADA ROBOT HEXAPOD Yudi Isvara, Dinara Enggar Prabakti, Wiharsa Pragitatama .....	120
24. SISTEM NAVIGASI BERBASIS MAZE MAPPING PADA ROBOT BERODA PEMADAM API E. Merry S., Muliady, Nelson M.S.....	127
25. IMPLEMENTASI REVERSE BRAKE PADA ROBOT BERODA PEMADAM API Dimas Agus F , Ali Akbar, Asep Hermansyah.....	131
26. PEMANFAATAN FLAME SENSOR MURAH UNTUK MENDETEKSI API PADA ROBOT CERDAS PEMADAM API Denis Prayogi .....	134
27. LOW COST REMOTE TERMINAL UNIT (RTU) SISTEM SCADA BERBASIS ANDROID Hendy Rudiansyah, Suharyanto, Adha Imam Cahyadi .....	138
28. SIMULASI PENENTUAN POSISI 3D QUADCOPTER BERBASIS ENHANCEMENT PARTICLE FILTER USING ANT COLONY OPTIMIZATION Mochamad Mobed Bachtiar, Muhtadin, Supeno Mardi SN, Mauridhi Hery Purnomo.....	146
29. ROBOT HUMANOID PENARI TARIAN DAERAH INDONESIA DENGAN KASUS TARI LEGONG KERATON Tio Dwi Laksono, Silvia Anandita, Hanna Izma Azizah .....	151
30. DEVIATION DIRECTION COMPENSATION OF MAGNETIC FIELD EFFECT USING CIRCLE EQUATION METHOD ON ROBOT EROS (EEPIS ROBOSOCER) Dimas Pristovani R., Ardiansyah A., M. Sob'run Ib'nu A., Ahmad S. Zuhri, Pratomo Adhi N., Michael Saputra J.S. Achmad Subhan Kh. S.T., M.T. ....	158

---

31. IMPLEMENTASI SISTEM KENDALI BERBASIS PERILAKU PADA ROBOT OBSTACLE AVOIDANCE MENGGUNAKAN PARADIGMA EVENT DRIVEN Andi Wahyu Multazam, Galih Nugraha, dan Rahmad Az Haris.....	163
32. DETEKSI FITUR DAN PENENTUAN LOKASI ROBOT PEMAIN SEPAK BOLA BERBASIS PENANDA YANG TIDAK UNIK Ach Hadi Dahlan, Muhtadin, Mauridhi Hery P, Ilham Budiono, Ilham Laenur H. ....	168
33. DUAL MIKROKONTROLER BIOLOID CM-510 UNTUK MENINGKATKAN AKSELERASI GERAKAN PADA HUMANOID ROBOT SOCCER Muhammad Luqman Bukhori dan Wisnu Adi Prasetyanto ST, M.Eng .....	173
34. IMPLEMENTASI SENSOR KOMPAS CMPS-03 PADA ROBOT BIOLOID ISOLA-S.3 Arif Tirtana, Yusuf Taufik Akbar, Irfan Firnandi .....	179

## OPTIMASI KENDALI PID BERBASIS RBFNN META-MODEL ROBOT MANIPULATOR LENGAN LENTUR DUA-LINK

**M. Khairudin**

Jurusan Pendidikan Teknik Elektro  
Universitas Negeri Yogyakarta  
Jl Colombo no 1, Karangmalang Yogyakarta 55281  
Telp.: +0274-548161 mail: moh\_khairudin@yahoo.com

### **Abstract**

*Controller parameters with offline tuning for complex robotic system can be time consuming, in addition need high performance computers. This paper presents how meta-modeling techniques can be utilised to tune the controller parameters for a two-link flexible manipulator quickly. A dynamic model of the system is derived using a combined Euler-Lagrange and assumed mode methods (AMM). The optimization of controller parameters using The Radial Basis Function Neural Network metamodel was able to give a better approximation for the system.*

**Keywords:** meta-model, optimization, rbf.

### **1. PENDAHULUAN**

Robot lengan lentur (*flexible*) memiliki beberapa keunggulan dibandingkan robot lengan biasa (lengan kaku), robot lengan lentur (*flexible*) membutuhkan material penyusun yang lebih sedikit (tipis), lebih ringan, lebih hemat dan efisien dalam konsumsi sumber energi, memerlukan aktuator yang lebih kecil dibandingkan robot lengan biasa, juga lebih dapat dikemudikan dan diangkat. Hal ini menjadikan pada robot lengan lentur (*flexible*) terdapat pengurangan rugi finansial sehingga lebih murah secara operasional, akan tetapi mempunyai kekuatan daya angkut yang sama untuk spesifikasi yang sama pada panjang lengan yang sama. Robot lengan lentur (*flexible*) merupakan jenis robot yang banyak digunakan seperti pada pemindahan barang sederhana, kerja robot industri pada skala mikro, pemeliharaan peralatan nuklir dan jenis robotika ruang angkasa [1]. Namun demikian adalah hal yang sangat menantang untuk membuat sistem kendali robot lengan lentur (*flexible*) untuk mendapatkan posisi yang akurat.

Berdasarkan pada sifat-sifat kelenturan sistem dan dinamika yang non-linear serta kompleksitas sistem maka akan diperoleh karakteristik sistem. Permasalahan muncul karena kurangnya penginderaan, getaran yang disebabkan kelenturan sistem, posisi yang tidak akurat serta kesulitan dalam memperoleh model yang akurat untuk robot manipulator lengan lentur dua link (MLLDL) [2]. Investigasi sebelumnya telah menunjukkan bahwa

perilaku dinamik robot lengan lentur secara signifikan dipengaruhi oleh variasi muatan [3]. Apabila keunggulan pada robot lengan lentur (*flexible*) terkait dengan ringannya *body* robot tidak harus diabaikan, maka perlu dikembangkan model yang akurat serta efisien sebagai bahan untuk menyusun strategi sistem kendali yang cocok.

Untuk mendapatkan sistem kendali yang tepat diperlukan strategi untuk optimasi. Secara umum sistem optimasi memerlukan algoritma yang panjang, sehingga diperlukan meta-model untuk mendeterminasikan dan membuat lebih simpel proses komputasi tetapi menghasilkan optimasi yang lebih bagus pada sistem yang kompleks.

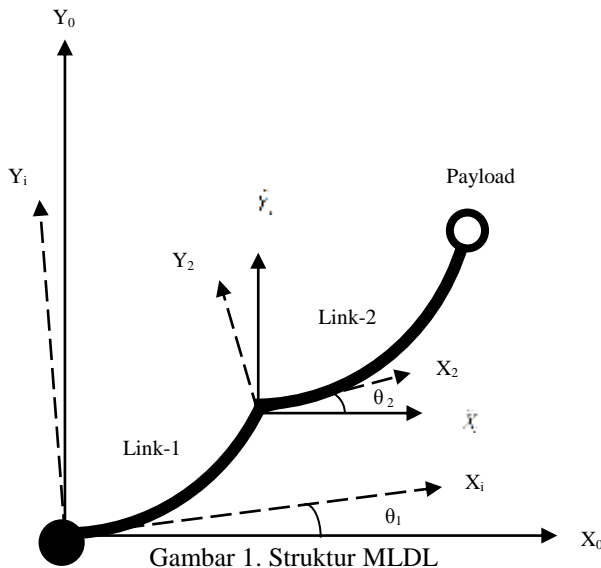
Dalam paper ini disajikan ilustrasi metode optimasi parameter PID controller pada robot lengan lentur dua *link*. Meta-model atau reduksi model telah menunjukkan kesuksesan dalam menjalankan komputasi pemodelan sistem kompleks yang menunjukkan sistem sebenarnya dengan alokasi waktu yang relatif lebih cepat. Upaya yang dilakukan Samsudin, S.I. [4] melakukan optimasi kontroller pole placement pada plant nonlinear, waktu simulasi untuk mencari nilai penguat pole placement yang optimal selama 3 hari dengan komputer Pentium. Tsai, dkk [5] melaporkan bahwa program simulasi metode elemen terhingga dapat menyelesaikan masalah rangkaian pasif/aktif microwave sekitar 8 jam. Dengan ketersediaan untuk membuat model lebih simpel, prediksi output sistem, optimasi dan validasi model dapat dilakukan dengan waktu yang lebih cepat menggunakan optimasi meta-model. Dalam paper ini meta-model dilakukan menggunakan sistem neural network.

Paper ini menyajikan radial basis function neural network (RBFNN) sebagai meta-model dalam melakukan pendekatan kelompok nilai gain kontroler.

### **2. METODE**

Gambar 1 menunjukkan struktur sistem MLLDL yang dilakukan dalam penyelidikan ini. Link yang diturunkan secara serial dan digerakkan oleh motor dan hub dengan setiap motor pada *link-1* dan *link-2*. *Link* dengan memiliki panjang  $l_i$  panjang dengan massa densitas  $\rho_i$  per satuan panjang. Posisi *link* pertama adalah dikopelkan pada motor-1 sedangkan motor kedua terpasang di ujung *link* pertama.  $E$  dan  $I$

mewakili Young modulus dan momen inersia pada kedua ujung *link*.  $X_0Y_0$  adalah pembatas koordinat inersia, sedangkan  $X_iY_i$  merupakan koordinat link biasa (kaku) yang terkait dengan link ke- $i$  dan  $\hat{X}_i\hat{Y}_i$  adalah pembatas koordinat dinamis.  $\theta_1$ , dan  $\theta_2$  sebagai posisi sudut *link-1* dan *link-2* dan  $v_i(x_i,t)$  adalah vektor perpindahan.  $M_p$  adalah massa muatan sedangkan inersia  $J_p$  inersia muatan di ujung titik akhir *link-2*.



Parameter fisik sistem RLDD dalam studi ini ditunjukkan pada Tabel 1.  $M_{h2}$  adalah massa pada motor kedua yang terletak di antara kedua link,  $J_{hi}$  adalah inersia dari motor ke- $i$  dan penghubung antar *link*. Torsi masukan,  $\tau_i(t)$  pada setiap motor dan  $G_i$  adalah rasio gear untuk motor ke- $i$ . Kedua *link* dan motor dianggap memiliki dimensi ukuran fisik yang sama.

Tabel 1. Parameters robot MLLDL

Symbol	Parameter	Value	Unit
$M_{L1}=M_{L2}$	Massa link	0.08	kg
$\rho$	Massa densitas	$2.6 \times 10^3$	$\text{kgm}^{-1}$
$G$	ratio gear	10	-
$EI$	Koefisien kelenturan	$1.77 \times 10^3$	$\text{Nm}^2$
$J_{hi}$	inersia Motor dan hub	$1.46 \times 10^{-3}$	$\text{kgm}^2$
$M_p$	Payload mass max	0.05	kg
$l$	Length	0.5	m
$J_p$	Payload inersia max	$5 \times 10^{-3}$	$\text{kgm}^2$
$M_{h2}$	Massa rotor ditengah	0.5	kg

Gambar 2 menunjukkan robot MLLDL pada proses eksperimen pengambilan data.



Gambar 2. MLLDL pada skala laboratorium

Dalam paper ini, pemodelan dinamik MLLDL dikembangkan berdasarkan metode modus kombinasi Euler-Lagrange dan mode yang diasumsikan. Untuk menurunkan persamaan gerak dinamika sistem, jumlah energi yang terkait dengan sistem RLDD harus dihitung dengan menggunakan formulasi kinematika [6]. Energi kinetik total, berikut

$$T = T_R + T_L + T_{PL} \tag{1}$$

dimana,  $T_R$ ,  $T_L$  dan  $T_{PL}$  merupakan energi kinetik yang terkait dengan masing-masing rotor, link dan hub. Energi kinetik dari rotor ke- $i$  dapat diperoleh sebagai berikut

$$T_{Ri} = \frac{1}{2} G_i^2 J_{hi} \dot{\alpha}_i^2 \tag{2}$$

dengan  $\dot{\alpha}_i$  adalah kecepatan sudut rotor tentang sumbu utama ke- $i$ . Energi kinetik dari dua link dapat ditemukan sebagai

$$T_L = \sum_{i=1}^2 \frac{1}{2} \rho_i \int_0^l {}^0 \dot{r}_i(x_i) {}^0 \dot{r}_i(x_i) dx_i \tag{3}$$

dimana  ${}^0 \dot{r}_i(x_i)$  adalah vector kecepatan pada suatu titik dengan  $r_i(x_i) = \begin{Bmatrix} x_i \\ v_i(x_i,t) \end{Bmatrix}$  yang sesuai  $X_0 Y_0$ .

Sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 1 dan formulasi kinematika, energi kinetik yang terkait dengan beban dapat ditulis sebagai

$$T_{PL} = \frac{1}{2} M_p \dot{p}_{n+1}^T \dot{p}_{n+1} + \frac{1}{2} I_p (\dot{\Omega}_n + \dot{v}'_n(l_n))^2 \tag{4}$$

dimana  $\dot{\Omega}_n = \sum_{j=1}^n \dot{\theta}_j + \sum_{k=1}^{n-1} \dot{v}'_k(l_k)$ ; sebagai jumlah *link*, prime dan dot merupakan derivatif pertama berkenaan dengan variabel ruang dan waktu. Energi potensial total  $U$ , dari sistem yang disebabkan oleh deformasi *link* dengan mengabaikan efek gravitasi dapat ditulis sebagai

$$U = \sum_i^n \frac{1}{2} \int_0^{l_i} (EI)_i \left( \frac{d^2 v_i(x_i)}{dx_i^2} \right)^2 dx_i \quad (5)$$

dimana  $EI$  adalah kekakuan dan kelenturan lengan pengusun dan  $v_i(x_i)$  merupakan sifat kelengkungan (*deflection*) link ke- $i$  pada titik  $x_i$  ( $0 \leq x_i \leq l_i$ ). Lendutan dan kelenturan lengan ini dapat dinyatakan sebagai superposisi mode-bentuk dan waktu perpindahan modal tergantung seperti

$$v_i(x_i, t) = \sum_{j=1}^{n_m} \phi_{ij}(x_i) q_{ij}(t) \quad (6)$$

dimana  $q_{ij}(t)$  dan  $\phi_{ij}(x_i)$  adalah perpindahan modal  $j$  dan Fungsi mode bentuk  $j$  untuk link- $i$ . Untuk memasukkan muatan/beban, massa efektifitas pada ujung link ( $M_{L1}$  untuk link-1 dan  $M_{L2}$  untuk link-2) ditetapkan sebagai

$$M_{L1} = m_2 + m_{h2} + M_p \quad (7)$$

$$M_{L2} = M_p$$

dan efektifitas inersia dari link ( $J_{L1}$  untuk link-1 dan  $J_{L2}$  untuk link-2) dapat ditulis dengan

$$J_{L1} = J_{o2} + J_{h2} + J_p + M_p l_2^2 \quad (8)$$

$$J_{L2} = J_p$$

dengan  $m_2$  adalah massa link-2 dan  $J_{o2}$  merupakan inersia gabungan link-2 tentang bersama-2 sumbu.

Vektor koordinat terdiri untuk posisi link,  $(\theta_1, \theta_2)$  dan perpindahan modal  $(q_{11}, q_{12}, q_{21}, q_{22})$ . Vektor gaya adalah  $F = \{\tau_1, \tau_2, 0, 0, 0\}^T$ , di mana  $\tau_1$  dan  $\tau_2$  adalah torsi yang digunakan sebagai input pada hub link-1 dan link-2. Persamaan dinamika gerak MLLDL dapat diturunkan menggunakan persamaan Euler-Lagrange dengan Lagrangian  $L = T - U$ . Berdasarkan persamaan redaman, persamaan dinamis yang diinginkan pada RLDL gerak dapat diperoleh sebagai

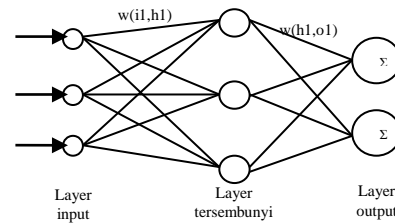
$$M(\theta, q) \begin{Bmatrix} \ddot{\theta} \\ \ddot{q} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} f_1(\theta, \dot{\theta}) \\ f_2(\theta, \dot{\theta}) \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} g_1(\theta, \dot{\theta}, q, \dot{q}) \\ g_2(\theta, \dot{\theta}, q, \dot{q}) \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 0 \\ D\dot{q} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 0 \\ Kq \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \tau \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (10)$$

dengan  $f_1$  dan  $f_2$  adalah Coriolis vektor dan kekuatan sentrifugal,  $M$  adalah matriks massa,  $g_1$  dan  $g_2$  adalah vektor yang disebabkan hubungan antara sudut link dan dengan perpindahan modal.  $K$  adalah kekakuan (rigiditas) matrik diagonal yaitu  $\omega_{ij}^2 m_i$  dan  $D$  merupakan struktur redaman pasif sebagai

$$K = \text{diag} \left\{ 0, 0, \omega_{11}^2 * m_1, \omega_{12}^2 * m_1, \omega_{21}^2 * m_2, \omega_{22}^2 * m_2 \right\} \quad (11)$$

$$D_i = 0.1 \sqrt{K_i}, i = 3, \dots, 6 \quad (12)$$

Adapun RBF yang digunakan untuk meta-model pada MLDL sebagaimana terlihat pada Gambar 3 berikut



Gambar 3. Struktur RBF

Struktur jaringan RBF terdiri dari 3 layer dengan sifat jaringan feed forward. Persamaan 13 digunakan untuk menghitung nilai output (Q) RBF.

$$Q(x, w) = \sum_{k=1}^{S1} w_{1k} \phi(\|x - c_k\|_2) \quad (13)$$

Dengan  $x$  adalah dalam bentuk matrik vektor input,  $\phi(\cdot)$  adalah basis function,  $\| \cdot \|_2$  adalah norm euclidean,  $w_{1k}$  adalah bobot pada layer output,  $S1$  menunjukkan jumlah neuron pada layer tersembunyi dan  $c_k$  menunjukkan pusat RBF pada vektor *space* input.

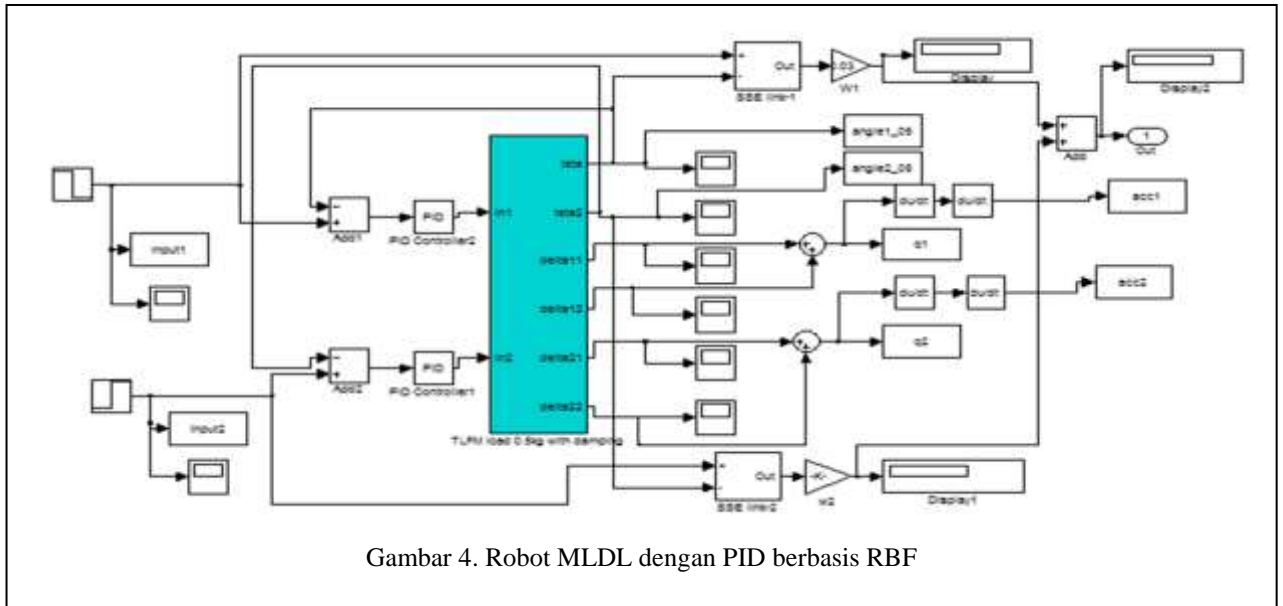
Persamaan 13 dapat ditulis seperti berikut

$$Q(x, w) = \phi^T(x)w \quad (14)$$

Dua keuntungan teknik RBF yaitu dapat ditraining dengan 2 tahap yang cepat algoritma training tanpa memerlukan waktu lama dan dapat menghasilkan pendekatan yang lebih baik [7]. optimasi dengan RBF pada proses meta-model juga telah dilakukan [8] dan [9].

Sistem kendali PID digunakan untuk mengendalikan posisi berbasis sensor encoder pada motor link-1 dan link-2. Skema kendali melibatkan loop feedback pada setiap gerakan posisi link-1 dan link-2 kemudian dijumlahkan untuk menjadi input pada feedback. Secara detail skema sistem kendali dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.





Gambar 4. Robot MLDL dengan PID berbasis RBF

Langkah-langkah optimasi parameter controller adalah sebagai berikut: (1) menentukan berapa input,  $D$  yang berisi nilai awal, (2) Menentukan SSE berdasarkan jenis input, (3) Tentukan nilai target,  $T$ , dengan nilai normalisasi SSE ( $\bar{E}$ ), (4) Cari RBF NN menggunakan data  $D$  dan  $T$ , (5) Evaluasi RBF NN pada range input yang besar,  $\bar{D}$ , (6) Cari nilai minimum output RBF NN (estimasi  $\bar{E}$ ). Parameter kontroler hasil RBF akan menjadi parameter pada model yang sesungguhnya. (7) Ulangi langkah 1-6 untuk mendapatkan parameter kontroler yang paling optimum [10].

**3. DISKUSI**

Dalam makalah ini diberikan parameter controller PID. Ada empat parameter controller yang akan dituning agar mendapatkan parameter yang paling optimal. Parameter tersebut adalah  $K_{p1}$ ,  $K_{d1}$ , untuk kontrol posisi link-1 dan  $K_{p2}$ ,  $K_{d2}$  untuk kontrol posisi link-2. Perhitungan untuk mendapatkan performan yang baik maka digunakan metode *Sum Square Error* (SSE) seperti berikut:

$$SSE = \sum_{n=1}^n (x_1 - \bar{x})^2 \tag{13}$$

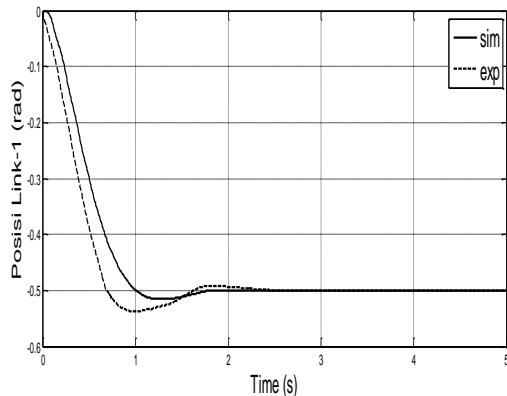
Dengan  $x_1$  adalah output yang diinginkan sedangkan  $\bar{x}$  adalah output aktual.

Parameter RBF NN yang digunakan untuk mendapatkan nilai gain PID yang paling optimal bagi MLDL untuk kendali posisi dengan target error=0.1 dan nilai  $\beta=110$ . Proses running program menggunakan meta-model berbasis RBF NN ini memakan waktu hingga 40 menit dengan spesifikasi komputer dengan RAM 2,00 GB processor 1,86 GHz

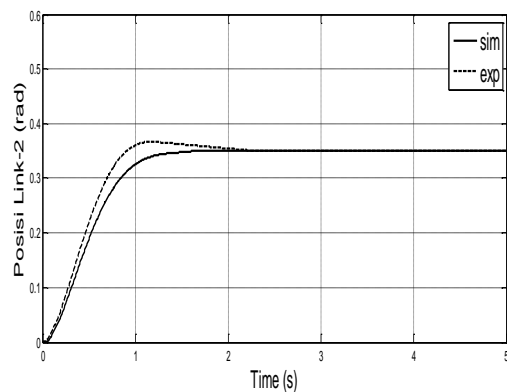
Tebal 2 menampilkan nilai awal, range hingga data terbesar yang digunakan untuk proses tuning melalui meta-model RBF NN. Berikut disajikan data Parameter controller dalam proses tranning dan proses pengujian (*test*).

Parameter	Kondisi awal dan data besar
$D$ $K_{p1}$	{0.30, 0.35,...0.45}
$K_{d1}$	{0.25, 0.25,... 0.32125}
$K_{p2}$	{0.15, 0.20,0.25}
$K_{d2}$	{0.20, 0.25,...0.3015}
Jumlah konfigurasi data	1636
$\bar{D}$ $K_{p1}$	{0.30, 0.31,...0.45}
$K_{d1}$	{0.25, 0.26,... 0.32125}
$K_{p2}$	{0.15, 0.16,...0.25}
$K_{d2}$	{0.20, 0.21,...0.3015}
Jumlah konfigurasi data	8196

Hasil gain PID controller melalui meta-model RBF NN selanjutnya diimplementasi dalam proses simulasi dan eksperimen dengan memberikan input step pada setiap link. Input step untuk link-1 adalah 0,5 rad dan untuk link-2 adalah 0,35 radian. Hasil simulasi dan eksperimen dapat dilihat seperti Gambar 5 dan 6 berikut:



Gambar 5. Posisi Link-1



Gambar 6. Posisi Link-2

Pada Gambar 5 dan 6 menunjukkan bahwa grafik garis putus-putus merupakan hasil eksperimen dan grafik garis penuh merupakan hasil simulasi. Tabel 3 menampilkan spesifikasi respon pada link-1 dan link-2.

Tabel 3. Spesifikasi Respon Posisi Sudut.

Link	Settling time (s)		Overshoot (%)	
	Sim	Ekp	Sim	Ekp
1	1.54	1.70	3.07	7.40
2	1.18	1.64	0.00	4.86

Ada perbedaan antara hasil simulasi pada penggunaan parameter controller hasil meta-model, hal ini disebabkan karena beberapa faktor ketidaklinearan komponen hardware yang digunakan.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan data telah dipaparkan bahwa tuning menggunakan meta-model RBF NN telah

menghasilkan gain parameter PID yang optimal dan hasilnya dapat diimplementasikan pada simulasi dan eksperimen. Hasil perbandingan simulasi dan eksperimen penggunaan controller masih relatif dalam toleransi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dwivedy, S. K. and Eberhard, P. (2006). Dynamic Analysis of Flexible Manipulators, a Literature Review. *Journal on Mechanism and Machine Theory*. 41(7): 749–777.
- [2] Martins J. M., Mohamed Z., Tokhi M. O., Sa da Costa J. and Botto M. A. (2003). “Approaches for dynamic modelling of flexible manipulator systems”, *IEE Proc-Control Theory and Application*, Vol. 150, 401-411.
- [3] Tokhi M. O., Mohamed Z. and Shaheed M. H. (2001). “Dynamic characterisation of a flexible manipulator system”, *Robotica*, Vol. 19, 571-580.
- [4] Samsudin, SI, 2006. Modern and Intelligent Control of Active Magnetic Bearing, MSc. Thesis, Universiti Teknologi Malaysia, Faculty of Electrical Engineering, 2006.
- [5] H. P. Tsai, Y. Wang, and T. Itoh, An Unconditionally Stable Extended (USE) Finite-Element Time-Domain Solution of Active Nonlinear Microwave Circuits Using Perfectly Matched Layers, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* 50 (2002), no.10, 2226-2232.
- [6] Subudhi B. and Morris A. S. (2002). *Dynamic modelling, simulation and control of a manipulator with flexible links and joints*, *Robotics and Autonomous System*, Vol. 41, 257-270.
- [7] F. Girosi and T. Poggio 1990, “Networks and the best approximation property”. *Biological Cybernetics*, 63, 169-176.
- [8] A. A. Mullur and A. Messac, Extended Radial Basis Functions: More Flexible and Effective Metamodeling, *AIAA Journal*, 2005, 43(6), 1306-1315.
- [9] N. Dyn, D. Levin and S. Rippa, Numerical Procedures for Surface Fitting of Scattered Data by Radial Basis Functions, *SIAM Journal of Scientific and Statistical Computing*, 1986, 7(2), 639-659.
- [10] M.S. Mohamed Ali, S.S. Abdullah, Z. Mohamed, M.A. Ahmad, 2008, Optimization of PID Controllers for a Flexible Robot Manipulator Using Metamodeling Approach, *The International Conference on ARCV*, 2008.