

Sistem Bongkar-Muat Muatan Truk Menggunakan Lengan Robot Berbasis Arduino-PC Dengan Metode *Back Propagation Neural Network*

Mujibur Rochman^[1], Imam Sutrisno^[2], Edy Setiawan^[3], Edy Prasetyo Hidayat^[4]
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya Indonesia^{[1][2][3][4]}

Agus Dwi Santoso^[1], Ardiansyah^[2], Daviq Wiratno^[3]
Politeknik Pelayaran Surabaya Indonesia^{[1][2][3]}

Ari Wibawa Budi Santosa
Universitas Diponegoro Semarang Indonesia

Riries Rulaningtyas
Universitas Airlangga Surabaya Indonesia

Abstrak— Bongkar-muat merupakan sebuah proses pemindahan suatu barang dari kendaraan pengangkut menuju gudang maupun sebaliknya. Pada sektor pergudangan terutama, dalam proses bongkar-muat masih dilakukan dengan cara konvensional. Hal tersebut menjadi kurang efisien dalam penggunaan tenaga kerja karena barang yang dipindahkan jumlahnya tidak sedikit terlebih jika barang tersebut berat. Dari permasalahan diatas untuk mengurangi beban kerja maka dibuatlah sebuah sistem bongkar-muat menggunakan lengan robot untuk proses pengambilan dan peletakan barang. Lengan robot yang terdiri dari *base joint*, *shoulder joint*, *elbow joint*, *wrist joint* dan *vacuum gripper* ini menerapkan metode *back propagation neural network* untuk menentukan sudut pergerakan motor servo pada tiap sendi terhadap koordinat pixel x, y yang dideteksi oleh kamera dengan penentuan lokasi kardus melalui proses klik operator pada hasil *capture* kamera pada proses bongkar. Hasil pelatihan *back propagation* pada lengan robot saat proses bongkar muatan mampu melakukan prediksi sudut pergerakan lengan robot dengan baik. Dengan 15 kali percobaan pergerakan lengan robot didapatkan *error* rata-rata sebesar 1.588% pada koordinat x dan 1.982% pada koordinat y. Sehingga lengan robot mampu menuju kardus dan memindahkannya ke atas konveyor dengan baik. Pada penelitian ini dengan muatan sebanyak 24 kardus memiliki tingkat keberhasilan sebesar 100% pada proses bongkar dan 83.33% pada proses muat.

Kata Kunci— *bongkar-muat*, *lengan robot*; *motor servo*; *back propagation neural network*.

I. PENDAHULUAN

Pada era globalisasi ini perkembangan teknologi di dunia industri sangat pesat. Hal tersebut tidak lepas dari meningkatnya permintaan konsumen terhadap barang-barang produksi dari suatu perusahaan. Untuk meningkatkan proses produksinya, pihak perusahaan memerlukan peralatan tepat guna untuk meningkatkan efisiensi waktu dan biaya. Keperluan untuk mengangkut bahan baku produksi maupun barang hasil produksi merupakan keperluan yang tak terelakkan guna mempercepat proses industri.[1][2]

Dalam proses bongkar-muat barang pada pergudangan khususnya, proses pemindahan barang dari kendaraan pengangkut maupun sebaliknya masih menggunakan cara konvensional. Pekerja memindahkan secara langsung barang-barang dengan cara mengangkat barang tersebut dari kendaraan pengangkut hingga ke dalam gudang. Apabila hal ini dilakukan secara terus-menerus maka hal ini tidak cocok jika dilakukan dengan tenaga manusia mengingat barang yang dipindahkan jumlahnya tidak sedikit. Pada proses pemindahan barang ini peran manusia dapat digantikan menggunakan lengan robot. [3]-[6]

Lengan robot (*robot arm*) merupakan sistem mekanik yang terdiri dari *base*, *shoulder joint*, *elbow joint*, *wrist joint* dan *gripper* yang dibentuk menyerupai tangan manusia. Robot ini mampu memindah, mengangkat dan memanipulasi benda kerja layaknya manusia. Sehingga memungkinkan jika peran manusia dalam proses pemindahan barang dari kendaraan pengangkut ke atas konveyor atau sebaliknya dapat digantikan menggunakan mekanisme ini.[7]-[10]

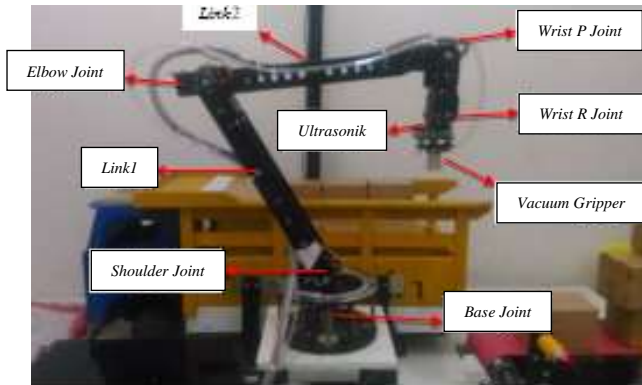
Dari latar belakang di atas, penulis berpikir untuk membuat sebuah sistem bongkar-muat pada pergudangan menggunakan lengan robot menggunakan metode *back propagation neural network* untuk menentukan sudut pergerakan lengan robot dengan masukan berupa koordinat pixel *box* yang diperoleh dari *capture* kamera.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Mekanik

Lengan robot terdiri dari 5 *joint* yaitu *base joint*, *shoulder joint*, *elbow joint*, *wrist pitch joint* dan *wrist roll joint*. Masing-masing *joint* digerakkan dengan motor servo. Pada bagian lengan robot yang berputar (*base joint*) memiliki ketinggian 19.2 cm dari bagian dasar. Sedangkan untuk bagian *link* penghubung antara *shoulder joint* dengan *elbow joint* dengan panjang 25 cm terbuat dari bahan plat aluminium lebar 25 mm dan tebal

2 mm. *Link* penghubung *elbow joint* dengan *wrist pitch joint* dengan panjang 25 cm juga terbuat dari bahan plat aluminium dengan ukuran yang sama. Pada bagian ujung lengan terdapat *vacuum gripper* untuk mengambil kardus dan sensor ultrasonik untuk mengukur jarak ujung lengan terhadap kardus. Gambar 1 menunjukkan bentuk mekanik lengan robot.[11]



Gambar 1. Mekanik Lengan Robot

B. Hardware

Hardware yang digunakan untuk penelitian ini dapat dijelaskan sebagai berikut.[12]

1. **Arduino Mega 2560**
 Arduino Mega 2560 digunakan sebagai kontroler sistem keseluruhan. Mulai dari motor servo, sensor ultrasonik, vacuum gripper, motor DC, sensor infrared dikontrol menggunakan Arduino.
2. **Motor Servo**
 Motor servo digunakan sebagai penggerak masing-masing sendi pada lengan robot. Tipe motor servo yang digunakan adalah JX PDI 6221MG (shoulder joint dan elbow joint) dan TowerPro MG996R (base joint, wrist pitch joint dan wrist roll joint).
3. **Ultrasonik HC-SR04**
 Sensor ultrasonik digunakan untuk mendeteksi jarak antara ujung lengan dengan kardus.
4. **Vacuum Gripper**
 Vacuum gripper digunakan untuk memudahkan lengan robot untuk mengambil kardus. Prinsip kerja vacuum ini menyedot udara pada permukaan kardus.
5. **Web camera**
 Web camera digunakan untuk mengetahui letak kardus. Sehingga memudahkan operator untuk menentukan kardus mana yang akan diambil lengan robot.
6. **Motor DC**
 Motor DC digunakan sebagai penggerak konveyor. Digunakan sebuah driver motor L298N untuk mengatur arah putar dan kecepatan putar motor.
7. **Sensor infrared E18-D50NK**
 Sensor infrared ini digunakan untuk mendeteksi keberadaan kardus di atas konveyor.
8. **Personal Computer (PC)**

Personal Computer merupakan device yang digunakan untuk antarmuka operator terhadap sistem.

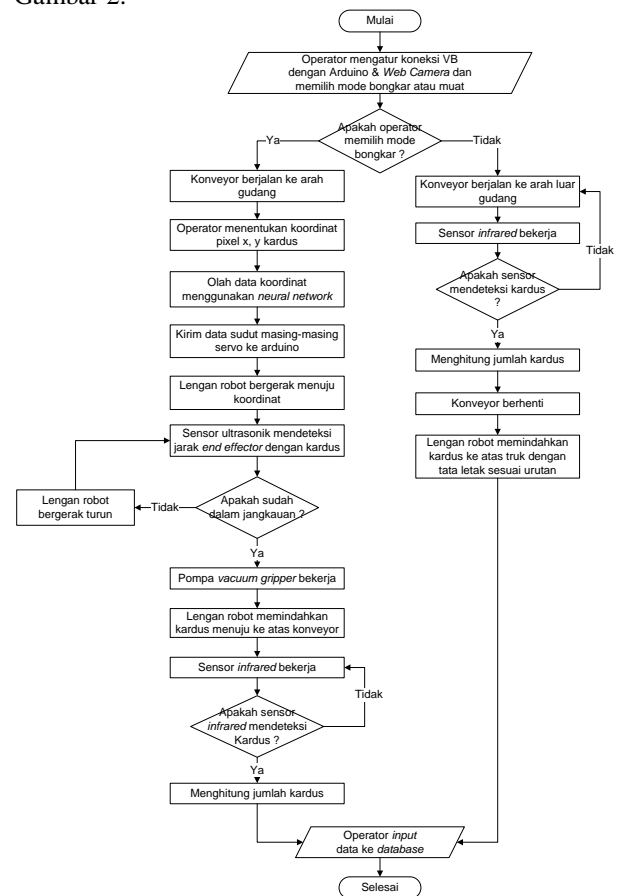
C. Software

Software yang digunakan untuk penelitian ini dapat dijelaskan sebagai berikut.[13]

1. **Arduino IDE**
 Arduino IDE merupakan *software open source* yang dapat digunakan untuk melakukan *edit*, *compile* dan *upload* program pada papan Arduino.
2. **Visual Studio**
 Visual Studio merupakan *software* yang digunakan untuk membuat aplikasi dekstop visual basic yang berfungsi sebagai antarmuka pada penelitian ini.
3. **MATLAB**
 MATLAB merupakan *software* yang digunakan untuk mengolah data *training*. Peneliti memanfaatkan NN tools yang tersedia pada *software* ini untuk memudahkan proses *training back propagation neural network*.

D. Flowchart Sistem

Alur kerja sistem pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Flowchart Sistem

Pada tahap awal operator melakukan pengaturan koneksi VB dengan Arduino dengan memasukkan *COM Port* dan *Baud rate* dan mengatur koneksi *web camera*. Setelah itu operator melakukan pemilihan sistem yang

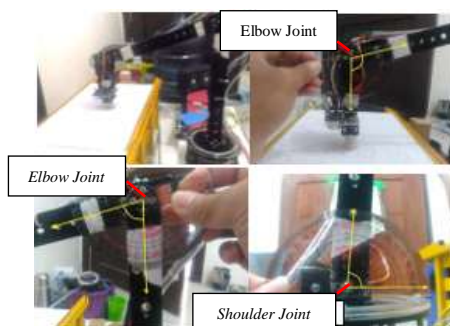
akan dilakukan, yaitu proses bongkar atau muat. Kemudian konveyor akan berjalan ke arah gudang apabila operator memilih proses bongkar. Jika operator memilih proses muat maka konveyor berjalan menuju ke truk.

Ketika operator memilih proses bongkar, maka selanjutnya operator harus menentukan letak/posisi (koordinat pixel kamera) kardus mana yang akan diambil dengan cara meng-klik kardus melalui tampilan *web camera*. Setelah diperoleh koordinat kardus, selanjutnya nilai koordinat tersebut akan diproses menggunakan metode *back propagation neural network* hingga menghasilkan nilai sudut *base joint*, *shoulder joint*, *elbow joint*, *wrist pitch joint*. Data tersebut kemudian dikirimkan ke Arduino untuk menggerakkan tiap servo pada lengan robot. Lengan robot akan bergerak menuju titik koordinat yang telah ditentukan. Kemudian sensor ultrasonik akan mendeteksi jarak antara ujung lengan dengan kardus. Jika belum dalam jangkauan maka lengan robot akan bergerak turun hingga sensor ultrasonik mendeteksi kardus dalam jangkauan lengan robot. Apabila kardus sudah dalam jangkauan, maka *vacuum gripper* akan menyala. Setelah itu lengan robot akan memindahkan kardus menuju ke atas konveyor. Pada saat kardus telah berada di atas konveyor maka sensor *infrared* akan mendeteksi dan melakukan *counter* jumlah barang.

Sedangkan jika operator memilih proses muat, ketika sensor *infrared* mendeteksi adanya kardus maka konveyor akan berhenti dan lengan robot akan bergerak mengambil kardus kemudian memindahkannya ke atas truk. Sensor *infrared* pada proses muat ini juga digunakan untuk *counter* dan untuk mengetahui kardus tersebut kardus ke berapa dan dimana kardus tersebut akan diletakkan sesuai urutan yang telah ditentukan.

E. Metode Back Propagation Neural Network

Metode Back Propagation digunakan untuk melakukan prediksi pergerakan tiap sendi lengan robot sesuai dengan masukan koordinat pixel yang ditentukan oleh operator. Untuk melakukan proses training dibutuhkan beberapa data latih. Pengambilan data latih ditunjukkan Gambar 3 dan Gambar 4.[14]-[17]



Gambar 3. Pengambilan Data Sudut

Lengan robot digerakkan ke 94 titik yang berbeda kemudian diambil data sudut pada *shoulder joint*, *elbow joint* dan *wrist pitch joint*. Sedangkan pada *base joint* diambil nilai *microsecond*-nya (lebar pulsa) kemudian dikonversi ke sudut karena cukup sulit untuk mengambil nilai sudut pada bagian *base joint*. Dari proses pergerakan lengan robot tersebut, ujung *vacuum gripper*

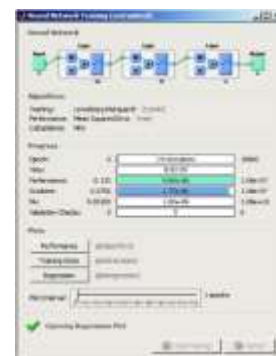
yang berbentuk lingkaran akan menyentuh papan yang berada di atas truk. Kemudian digambar sebuah lingkaran mengikuti bentuk ujung *vacuum gripper* yang menempel pada papan yang merupakan hasil dari pergerakan lengan robot. Proses tersebut diulang hingga 94 kali. Dari bentuk lingkaran tersebut diambil titik tengah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Kemudian titik tengah lingkaran sebanyak 94 pada Gambar 4 dijadikan sebagai masukan koordinat pixel x, y.



Gambar 4. Pengambilan Data Masukan

Nilai koordinat x, y diperoleh dari resolusi pixel kamera yang digunakan yaitu 640x480. Koordinat 0, 0 dimulai dari posisi ujung kiri atas sedangkan koordinat 640x480 ada di posisi ujung kanan bawah. Karena nilai pixel kamera terlalu besar akan menghasilkan kemungkinan koordinat x, y sebanyak 640x480 yaitu 307.200 kemungkinan. Sehingga koordinat pixel x, y dibagi 2 dengan pembulatan keatas menjadi 320x240. Selain untuk memperkecil *range* masukan, resolusi 640x480 dibagi 2 digunakan untuk mengkonversi nilai pixel menjadi satuan mm dengan jarak antara *web camera* dan papan yang terpasang pada bagian atas adalah 41.5 cm.

Setelah didapatkan data masukan koordinat pixel x, y *capture* kamera dan data keluaran berupa sudut *base joint*, *shoulder joint*, *elbow joint* dan *wrist pitch joint*. Kemudian dilakukan proses pelatihan sebanyak 6 kali dengan cara mengubah-ubah jumlah neuron pada *hidden layer* untuk mencari nilai MSE (*Mean Square Error*) yang terkecil. Semakin kecil nilai MSE maka semakin kecil pula *error* yang dihasilkan. Dengan kata lain, hasil *training* akan semakin mendekati target bahkan sama dengan target. Dari proses training didapatkan 2 *hidden layer* dengan 16 neuro pada *hidden layer* pertama dan 17 neuron pada *hidden layer* kedua dengan nilai MSE sebesar $9.88e-08$. Seperti yang ditunjukkan Gambar 5.[18]-[22]

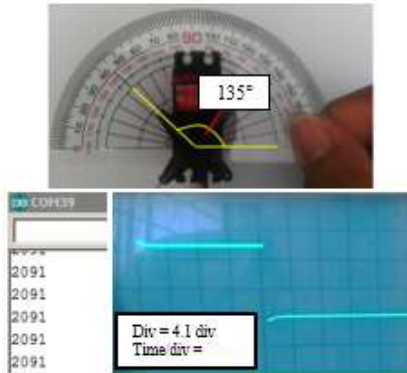


Gambar 5. Hasil Training MATLAB

III. PENGUJIAN SISTEM DAN DATA ANALISIS

1. Pegujian Motor Servo

Pada pengujian motor servo digunakan bantuan potensiometer untuk mengatur lebar pulsa untuk mendapatkan hasil yang diinginkan yaitu lebar pulsa yang dibutuhkan dalam perubahan 1° pada putaran motor servo. Untuk validasi sudut yang dihasilkan maka digunakan sebuah busur untuk mengetahui nilai sudut keluaran dan osiloskop untuk mengetahui lebar pulsa yang dihasilkan pada pin data motor servo. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Validasi Pengaturan Sudut Putar Motor Servo

Gambar 6 merupakan hasil validasi pengaturan sudut putar motor servo JX PDI 6221MG menggunakan busur dan osiloskop. Pada pengukuran busur menunjukkan sudut 135° sedangkan pada osiloskop menunjukkan pulsa keluaran Arduino 4.1 div dengan time/div 0.5ms sehingga lebar pulsa adalah 4.1 div dikali 500µs/div sama dengan 2050µs. Untuk validasi pengaturan servo TowerPro MG996R sama seperti proses validasi servo JX PDI 6221MG. Sehingga didapatkan hasil seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Diketahui Ttotal sama dengan 20ms.

Rumus yang digunakan pada Tabel 1:

$$Duty Cycle (\%) = \frac{T_{on}}{T_{total}} \times 100\% \tag{1}$$

TABEL I. VALIDASI PENGATURAN SUDUT MOTOR SERVO

No	Jenis Servo	Lebar Pulsa		Sudut Yang Dihilangkan	Duty Cycle (%)
		Arduino	Osiloskop (Ton)		
1	JX PDI 6221MG	544 µs	540 µs	0°	2.7
		1010 µs	1000 µs	45°	5
		1565 µs	1560 µs	90°	7.8
		2091 µs	2050 µs	135°	10.25
		2400 µs	2375 µs	164°	12
2	Tower Pro MG996R	544 µs	540 µs	0°	2.7
		898 µs	900 µs	45°	4.45
		1280 µs	1280 µs	90°	6.4
		1674 µs	1680 µs	135°	8.4
		2055 µs	2025 µs	180°	10.125

Dari Tabel 4.1 dilakukan analisa untuk mengetahui lebar pulsa yang dibutuhkan untuk melakukan perubahan 1° pada masing-masing motor servo dengan menggunakan lebar pulsa keluaran Arduino.

Rumus yang digunakan pada Tabel 2:

$$\mu s \text{ per satu derajat} = \frac{\text{microseconds (sudut)} - \text{microseconds (0°)}}{\text{sudut}} \tag{2}$$

TABEL II. WAKTU YANG DIBUTUHKAN MOTOR SERVO UNTUK MENGGERAKKAN 1°

No.	Jenis Servo	Sudut	Nilai µs per satu derajat	Rata-rata
1	JX PDI 6221MG	45°	10.44 µs	11.16 µs
		90°	11.38 µs	
		135°	11.48 µs	
		164°	11.34 µs	
2	TowerPro MG996R	45°	7.95 µs	8.245 µs
		90°	8.22 µs	
		135°	8.4 µs	
		180°	8.41 µs	

Sehingga untuk mengatur derajat putar motor servo untuk perubahan 1° dengan pembulatan ke nilai terdekat membutuhkan 11µs pada servo JX PDI 6221MG dan 8µs pada servo TowerPro MG996R.

2. Pengujian Hasil Training

Pengujian hasil training dilakukan sebanyak 15 kali dengan menggunakan sebuah papan yang diletakkan dibagian atas truk. Titik koordinat sebagai masukan ditentukan secara acak. Sehingga didapatkan hasil pengujian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7 dan Tabel 3.



Gambar 7. Hasil Pengujian Menggunakan Papan

TABEL III. HASIL PENGUJIAN DATA TRAINING

Percobaan ke-	Input		Output		Error (%)	
	x (mm)	y (mm)	x (mm)	y (mm)	x	y
1	57	60	58	58	1.754	3.333
2	37	131	36	130	2.703	0.763
3	54	182	52	180	3.704	1.099
4	117	127	120	123	2.564	3.149
5	157	66	163	67	3.822	1.515
6	162	160	157	165	3.086	3.125
7	213	112	213	113	0	0.892
8	245	59	243	56	0.816	5.085
9	252	176	254	174	0.794	1.136
10	294	94	294	97	0	3.191
11	98	41	96	41	2.041	0
12	119	198	121	201	1.681	1.515
13	214	195	215	195	0.467	0
14	256	117	255	112	0.39	4.274
15	294	154	294	155	0	0.649
Rata-rata error					1.588	1.982

Pada Gambar 6 titik warna merah menunjukkan titik kondinat yang diinginkan, sedangkan titik warna biru merupakan output pergerakan lengan robot dengan sudut hasil pelatihan back propagation. Dari hasil pengujian metode back propagation mampu melakukan prediksi sudut pergerakan lengan robot dengan baik dengan rata-

rata *error* sebesar 1.588% pada koordinat x dan 1.982% pada koordinat y.[23]-[25]

3. Pengujian Proses Bongkar Muatan

Pada Tugas Akhir ini jumlah kardus yang digunakan sebanyak 24 kardus. 12 kardus pada tumpukan bawah dan 12 kardus pada tumpukan atas. Gambar 8 menunjukkan muatan truk tampak atas.



Gambar 8. Muatan Truk Tampak Atas

Untuk memudahkan pengamatan maka posisi hasil prediksi pada permukaan kardus akan diklasifikasikan menjadi 9 bagian yaitu kiri atas (posisi 1), tengah atas (posisi 2), kanan atas (posisi 3), tengah kiri (posisi 4), tengah (posisi 5), tengah kanan (posisi 6), kiri bawah (posisi 7), tengah bawah (posisi 8) dan kanan bawah (posisi 9). Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Klasifikasi Posisi Permukaan Kardus

Pengujian lengan robot untuk melakukan pengambilan kardus dari atas truk dengan memposisikan koordinat pengambilan berada ditengah-tengah kardus. Hasil pergerakan lengan robot ditunjukkan pada Tabel 4.

TABEL IV. HASIL PENGUJIAN LENGAN ROBOT PADA PROSES BONGKAR

Tumpukan	Slot	Berhasil / Gagal Dipindahkan	Posisi Vacuum Gripper	Keterangan
Atas	1	Berhasil	5	Posisi di tengah
Atas	2	Berhasil	5	Posisi di tengah
Atas	3	Berhasil	5	Posisi di tengah
Atas	4	Berhasil	5	Posisi di tengah
Atas	5	Berhasil	5	Posisi di tengah
Atas	6	Berhasil	5	Posisi di tengah
Atas	7	Berhasil	5	Posisi di tengah
Atas	8	Berhasil	5	Posisi di tengah
Atas	9	Berhasil	5	Posisi di tengah
Atas	10	Berhasil	4	Posisi di tengah kiri
Atas	11	Berhasil	2	Posisi di tengah atas
Atas	12	Berhasil	5	Posisi di tengah
Bawah	1	Berhasil	2	Posisi di tengah atas
Bawah	2	Berhasil	2	Posisi di tengah atas
Bawah	3	Berhasil	2	Posisi di tengah atas
Bawah	4	Berhasil	5	Posisi di tengah
Bawah	5	Berhasil	4	Posisi di tengah kiri
Bawah	6	Berhasil	2	Posisi di tengah atas
Bawah	7	Berhasil	5	Posisi di tengah
Bawah	8	Berhasil	6	Posisi di tengah kanan
Bawah	9	Berhasil	6	Posisi di tengah kanan
Bawah	10	Berhasil	9	Posisi di kanan bawah
Bawah	11	Berhasil	5	Posisi di tengah
Bawah	12	Berhasil	5	Posisi di tengah

Pada proses bongkar, lengan robot berhasil mengambil barang dari atas truk dan memindahkan dengan baik. Posisi kardus yang semakin dalam pada truk akan terlihat lebih kecil dan terpusat di tengah pada *web camera*. Sehingga *output* yang dihasilkan terkadang tidak tepat pada titik yang diharapkan. Meskipun *output* pergerakan yang dihasilkan lengan robot tidak selalu tepat pada titik tengah kardus, lengan robot tetap mampu melakukan pemindahan muatan dengan baik.[26][27]

4. Pengujian Proses Muat Muatan

Pada proses muat, lengan robot dapat memindahkan muatan kardus dengan baik sesuai dengan urutan dan posisi yang telah ditentukan. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Urutan Peletakan Kardus Di Atas Truk

Berikut adalah hasil proses muat yang ditunjukkan pada Gambar 11 dan Tabel 5.



Gambar 11. Hasil Proses Muat

TABEL V. HASIL PENGUJIAN LENGAN ROBOT UNTUK PROSES MUAT

Tumpukan	Slot	Berhasil / Gagal Dipindahkan	Keterangan
Bawah	1	Berhasil	-
Bawah	2	Berhasil	-
Bawah	3	Berhasil	-
Bawah	4	Berhasil	-
Bawah	5	Berhasil	-
Bawah	6	Berhasil	-
Bawah	7	Berhasil	-
Bawah	8	Berhasil	-
Bawah	9	Berhasil	-
Bawah	10	Gagal	Kardus menabrak kardus sekitarnya
Bawah	11	Berhasil	-
Bawah	12	Gagal	Kardus menabrak kardus sekitarnya
Atas	1	Berhasil	-
Atas	2	Berhasil	-
Atas	3	Berhasil	-
Atas	4	Berhasil	-
Atas	5	Berhasil	-
Atas	6	Berhasil	-
Atas	7	Berhasil	-
Atas	8	Berhasil	-
Atas	9	Gagal	Kardus menabrak kardus sekitarnya
Atas	10	Berhasil	-
Atas	11	Berhasil	-
Atas	12	Gagal	Kardus menabrak kardus sekitarnya

Posisi kardus bagian bawah yang terlihat pada Gambar 11 penataan awal miring atau posisi kurang tepat akan mengakibatkan penataan selanjutnya bergeser bahkan kardus yang akan ditata ini akan menabrak kardus yang telah ditempatkan disekelilingnya. Selain dari sistem mekanik lengan robot, posisi kardus pada konveyor juga mempengaruhi posisi *end effector* lengan robot pada permukaan kardus. Tingkat keberhasilan pada proses muat yang dilakukan oleh lengan robot sebanyak 24 muatan kardus adalah sebesar 83.33%.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Metode *Back Propagation Neural Network* dengan data *training* sebanyak 94 data mampu melakukan prediksi sudut pergerakan tiap-tiap servo dengan baik. Dengan nilai rata-rata *error* hasil pengujian adalah 1.588% pada koordinat x dan 1.982% pada koordinat y.
2. Lengan robot berhasil melakukan proses bongkar-muat muatan dengan baik. Tingkat keberhasilan lengan robot untuk memindahkan muatan kardus sebanyak 24 kardus sebesar 100% pada proses bongkar dan 83.33% pada proses muat.
3. Rancangan mekanik pada lengan robot mempengaruhi pergerakan lengan robot. Semakin panjang *link* penghubung antar sendi maka

perubahan sudut sebesar satu derajat akan mengakibatkan perubahan posisi yang cukup besar. Dan apabila mekanik terlalu berat maka akan mengganggu pergerakan robot.

REFERENSI

- [1] Adriansyah, A., & Hidyatama, O. (2013). Rancang Bangun Prototype Elevator Menggunakan Microcontroller Arduino Atmega 328P. *Jurnal Teknologi Elektro*, 100-112.
- [2] Arduino. (2017, January 5). *Arduino Mega 2560 Rev3*. Diambil kembali dari Arduino: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-mega-2560-rev3>
- [3] Arifin, J., Zulita, L. N., & Hermawansyah. (2016). Perancangan Murottal Otomatis Menggunakan Mikrokontroler Arduino Mega 2560. *Jurnal Media Infotama*, 89-98.
- [4] Cahyono, B. (2013). Penggunaan Software Matrix Laboratory (MATLAB) dalam Pembelajaran Aljabar Linier. *Jurnal PHENOMENON*, 45-62.
- [5] Faradiba. (2017). Pengenalan Pola Sinyal Suara Manusia Menggunakan Metode Back Propagation Neural Network. *Jurnal EduMatSains*, 1-16.
- [6] Herpendi. (2016). Aplikasi Pengelolaan Nilai Akademik Mahasiswa dan DPNA (Daftar Peserta dan Nilai Akhir). *Jurnal Sains dan Teknologi*, 1-6.
- [7] Misah, F. R., Sompie, S. R., & Putro, M. (2015). Pengendalian lengan Robot Pemindah Objek Smartphone Android. *e-journals Teknik Elektro dan Komputer*, 44-50.
- [8] Najar. (2017). Rancang Bangun Keamana Pintu Berbasis Arduino Uno dengan Quick Response Pada Ruang Laboratorium Komputer di SMK Negeri Satu Tambelang. *Jurnal Informatika SIMANTIK*, 38-42.
- [9] Pitowarno, E. (Yogyakarta). *Robotika Desain, Kontrol, Dan Kecerdasan Buatan*. Yogyakarta: CV. ANDI OFFSET.
- [10] Putra, Y. A. (2015). *Kontroler Lengan Robot Berbasis Smartphone Android*. Yogyakarta: Program Studi Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma.
- [11] Rinaldy, Christianti, R. F., & Supriyadi, D. (2013). Pengendali Motor Servo yang Terintegasi Dengan Webcam Berbasis Internet Dan Arduino. *Jurnal Infotel*, 17-23.
- [12] Sudarmanto, & Cahyani, A. (2007). Perancangan Sistem Pengendalian Motor Servo Pada Robot Berkaki Menggunakan Microcontroller PIC 16F84. *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi* (hal. 33-36). Yogyakarta: Program Studi Sistem Informasi dan Teknik Informatika, STMIK Teknokrat Bandar Lampung.
- [13] Sugiarto, I. (2008). Pemodelan dan Simulasi Dinamika Lengan Robot 3-DOF Menggunakan Perangkat Lunak Open Source. *Jurnal Teknik Elektro*, 57-63.
- [14] Jami'in, M.A., Sutrisno, I., Hu, J., Mariun, N.B. and Marhaban, M.H., "Quasi-ARX Neural Network Based Adaptive Predictive Control for Nonlinear Systems", *IEEJ Trans. on Electrical and Electronic Engineering*, Vol.11, No.1, pp.83-90, Jan. 2016.
- [15] Jami'in, M.A., Sutrisno, I. and Hu, J., "Maximum Power Tracking Control for a Wind Energy Conversion System Based on a Quasi-ARX Neural Network Model", *IEEJ Trans. on Electrical and Electronic Engineering*, Vol.10 No.4, pp.368-375, July 2015.
- [16] Sutrisno, I., Che, C. and Hu, J., "An Improved Adaptive Switching Control Based on Quasi-ARX Neural Network for Nonlinear Systems", *Artificial Life and Robotics*, Vol.19, No.4, pp.347-353, 2014.
- [17] Sutrisno, I., Jami'in, M.A. and Hu, J., "An Improved Elman Neural Network Controller Based on Quasi-ARX Neural Network for Nonlinear Systems", *IEEJ Trans. on Electrical and Electronic Engineering*, Vol.9, No.5, pp.494-501, Sept. 2014.
- [18] Sutrisno, I., Jami'in, M.A. and Hu, J., "Modified fuzzy adaptive controller applied to nonlinear systems modeled under quasi-ARX neural network", *Artificial Life and Robotics*, Vol.19, No.1, pp.22-26, Feb. 2014.

- [19] Jami'in, M.A., Sutrisno, I., Hu, J., Mariun, N.B. and Marhaban, M.H., "The State-Dynamic-Error-Based Switching Control under Quasi-ARX Neural Network Model", The 20th International Symposium on artificial Life and Robotics (AROB 20th 2015), Januari 2015, Bepu, Japan, pp.787-792.
- [20] Jami'in, M.A., Sutrisno, I., Hu, J., Mariun, N.B. and Marhaban, M.H., "An Adaptive Predictive Control based on a Quasi-ARX Neural Network Mode", IEEE, The 13th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, ICARCV 2014, Singapore, pp.253-258.
- [21] Sutrisno, I., Jami'in, M.A. and Hu, J., "Nonlinear Model Predictive Control Based on Quasi-Radial-Basis-Function-Neural-Network", The 8th Asia Modelling Symposium (AMS 2014), Taipei, Sept. 2014, pp. 104-109.
- [22] Jami'in, M.A., Sutrisno, I. and Hu, J., "Nonlinear Adaptive Control for Wind Energy Conversion Systems Based on Quasi-ARX Neural Networks Model", The International Multi Conference of Engineers and Computer Scientists (IMECS 2014) (Hongkong), Vol. I, March, 2014, pp. 313-318.
- [23] Sutrisno, I., Jami'in, M.A. and Hu, J., "An Improved Fuzzy Switching Adaptive Controller for Nonlinear Systems Based on Quasi-ARX Neural Network", International Seminar on Electrical Informatics and Its Education (SEIE 13), October 5th, 2013, The State University of Malang.
- [24] Sutrisno, I., Jami'in, M.A. and Hu, J., "Implementation of Lyapunov Learning Algorithm for Fuzzy Switching Adaptive Controller Modeled Under Quasi-ARX Neural Network", 2nd International Conference on Measurement Information and Control (ICMIC 13), August 16-18, 2013, pp. 762-766.
- [25] Jami'in, M.A., Sutrisno, I. and Hu, J., "Deep Searching for Parameter Estimation of the Linear Time Invariant (LTI) System by Using Quasi-ARX Neural Network", IEEE International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN 13), August 4-9, 2013, Dallas, Texas, USA, 2758-2762.
- [26] Jami'in, M.A., Sutrisno, I. and Hu, J., "Lyapunov learning algorithm for quasi-ARX neural network to identification of nonlinear dynamical system", IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (Seoul), 2012, pp. 3141-3146.
- [27] Sutrisno, I., Jami'in, M.A. and Hu, J., "Neural Predictive Controller of Nonlinear Systems Based on Quasi-ARX Neural Network", 18th International Conference on Automation and Computing (ICAC 12), September 7-8, 2012, Loughborough University, Leicestershire, pp. 83-88.

Halaman ini sengaja dikosongkan