

# RANCANG BANGUN SISTEM OTOMASI PALLETIZING MENGUNAKAN MODEL PEMROGRAMAN INDUSTRI BERORIENTASI OBYEK

Adrian Isna Izzulhaq<sup>1</sup>, Maun Budiyanto<sup>2\*</sup>

<sup>1), 2)</sup>Program Studi Teknologi Elektro Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Sekolah Vokasi,  
Universitas Gadjah Mada

\*Corresponding Author E-mail : [m.budiyanto@ugm.ac.id](mailto:m.budiyanto@ugm.ac.id)

## Abstract

*Abstract – The development of technology towards Industry 4.0, particularly in Indonesia, must be balanced with the application of the latest technologies to industries. Generally, the palletizing process, which is the process of laying the production box onto a pallet, is still performed manually with manpower. Therefore, a technology application in the form of an Automated Palletizing System has been implemented on the assembly line at PT Philips Industries Batam. The assembly line involves various types of boxes with different patterns. Hence, an object-oriented industrial programming model approach was adopted to facilitate the grouping of programs for different box models. The design of this Automated Palletizing System involves key components such as the ABB IRB 1300 industrial robot with an ABB OmniCore C30 controller and an ABB FlexPendant HMI for the operator to determine the box model. The workflow of this system starts with boxes entering the conveyor, followed by a picking process by the robot once detected by a sensor, and then a placing process on pallet at a point determined by the program. The results from testing the system design show that the object-oriented industrial programming approach can be applied to this system's program in accordance with its principles of encapsulation, abstraction, interface, and nesting. Additionally, the system exhibits varying levels of accuracy for different box models. From the 4 box models that have been tested, there is an average error between the boxes with a distance of 0,41 cm on the first layer and an average increase of 0,18 cm for each subsequent layer. This accuracy level being influenced by the surface area of the boxes.*

**Keywords :** Automation, Industrial Robot, Object-Oriented Industrial Programming (OOIP), Robot Palletizing

## Abstrak

Perkembangan teknologi menuju industri 4.0, khususnya di Indonesia, harus diimbangi dengan penerapan teknologi terbaru pada industri-industri. Pada umumnya, sebuah proses palletizing, yang merupakan proses peletakan box hasil produksi di atas sebuah palet, masih dilakukan secara manual dengan tenaga manusia. Oleh karena itu, dilakukan sebuah penerapan teknologi berupa Sistem Otomasi Palletizing yang dibangun pada lini assembly di PT Philips Industries Batam. Pada lini assembly, terdapat bermacam jenis box beserta pola yang berbeda-beda. Oleh karena itu dilakukan pendekatan model pemrograman industri berorientasi obyek untuk mempermudah pengelompokan program pada model box. Perancangan Sistem Otomasi Palletizing ini dilakukan dengan komponen utama berupa robot industri ABB IRB 1300 dengan kontroler ABB OmniCore C30 dan HMI ABB FlexPendant untuk penentuan model box oleh operator. Alur kerja dari sistem ini dimulai dengan box yang masuk pada konveyor, kemudian dilakukan proses pick oleh robot apabila telah terdeteksi oleh sensor, dan dilakukan proses place di palet pada titik yang telah ditentukan oleh program. Hasil dari pengujian rancang bangun sistem ini diperoleh bahwa pendekatan pemrograman industri berorientasi obyek mampu diterapkan dalam program sistem ini sesuai dengan prinsipnya yaitu enkapsulasi, abstraksi, antarmuka, dan nesting. Selain itu, sistem ini memiliki tingkat akurasi yang berbeda-beda pada setiap model box. Dari 4 model box yang telah diuji, terjadi rata-rata kesalahan antar box dengan jarak sebesar 0,41 cm pada lapisan pertama dan terjadi kenaikan rata-rata sebesar 0,18 cm setiap naiknya lapisan. Tingkat akurasi ini dipengaruhi oleh luas permukaan box.

**Kata Kunci :** Otomasi, Pemrograman Industri Berorientasi Obyek, Robot Industri, Robot Palletizing

## 1. PENDAHULUAN

Industri 4.0 yang terjadi saat ini merupakan pemecahan masalah dan memunculkan berbagai inovasi-inovasi yang berkelanjutan dari masa-masa sebelumnya [1]. Pengembangan industri di Indonesia

telah dibuat Indonesia *Industry 4.0 Readiness Index* (INDI 4.0) untuk mengukur kesiapan industri di Indonesia dalam menghadapi transformasi menuju Industri 4.0. Dalam INDI 4.0, terdapat rentang skor penilaian kesiapan industri dalam transformasi Industri 4.0 dari level 0 sampai dengan level 4. Level terendah level 0 memiliki arti bahwa industri “belum siap” dalam melakukan transformasi ke Industri 4.0, sampai pada level 4 yang berarti industri “sudah menerapkan” konsep dari Industri 4.0 dalam sistem produksinya. Metode *self-assessment* dalam penilaian kesiapan industri ini dilakukan dengan pihak industri mengisi survei secara daring yang terdapat verifikasi lapangan yang dilakukan oleh para ahli. Hasil dari *self-assessment* yang dilakukan oleh perusahaan-perusahaan manufaktur di Indonesia pada 2019, indeks kesiapan dalam transformasi menuju Industri 4.0 rata-rata berada pada nilai 2,14 (kesiapan sedang). Hasil ini menunjukkan bahwa penerapan teknologi yang maju dalam kesiapan industri di Indonesia masih kurang, dan membuktikan bahwa rata-rata industri di Indonesia telah menyadari pentingnya Industri 4.0 demi meningkatkan efektivitas, efisiensi, dan kompetitif. Namun banyak industri yang masih mengalami kesulitan dalam penerapan dan implementasi Industri 4.0. Hal ini dikarenakan adanya keterbatasan kemampuan dan pengetahuan dari sumber daya manusia di perusahaan [2].

Telah dilakukan penelitian jenis robot yang digunakan adalah Omron collaborative robot TM5-700 dan end effector berupa aktuator gripper [3]. Pada sistem tersebut terdapat tiga buah sensor yang berfungsi untuk mendeteksi titik pengambilan dan titik penaruhan barang, mendeteksi barang akan masuk dalam konveyor, dan sensor untuk mendeteksi barang sudah mencapai akhir konveyor. Simulasi sistem ini mampu dijalankan dengan adanya proses lima kali *pick and place* pada setiap layer, proses diulang sehingga terbentuk lima layer, dan satu siklus *palletizing* berakhir ketika dua palet tercapai. Hasil simulasi ini membuktikan bahwa penerapan sistem otomasi *palletizing* mampu dilakukan demi mencapai kualitas dan efisiensi produksi yang tinggi 476 [4]. Penelitian ini mengembangkan dari penelitian sebelumnya, dengan menambahkan *module array model* pada program sistem ini yang berfungsi untuk menyimpan variabel data jumlah urutan untuk setiap model, jumlah lapisan dan titik nilai sumbu X, Y, dan Z.

## 2. METODOLOGI

Diagram dari rancangan perangkat keras sistem otomasi *palletizing* ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram perancangan perangkat keras Sistem Otomasi *Palletizing*

Omnicores C30 merupakan komponen utama untuk mengendalikan *input* dan *output*. FlexPendant terhubung dengan Omnicore C30 yang berfungsi sebagai HMI untuk melakukan pengendalian sistem serta memantau kondisi sistem secara *real-time*. *Input* pada sistem terdiri dari 5 komponen, yaitu sensor box, sensor palet, *reed switch sensor*, *limit switch*, dan *push button*. *Output* terdiri dari 5 komponen, yaitu Robot ABB, solenoid *valve*, *doorlock*, *tower lamp*, dan relay. Solenoid *valve* terdiri dari 3 buah, di mana masing-masing solenoid akan terhubung dengan *gripper*, silinder palet, dan silinder box. Sedangkan untuk relay akan terhubung dengan konveyor untuk mengendalikan perputarannya.

### Rancangan Input/Output Komponen

Perancangan perangkat keras sistem otomasi *palletizing* direncanakan untuk distribusi masukan/keluaran komponen yang terhubung pada kontroler sebelum melakukan pemasangan komponen-komponen. Kontroler Omnicore C30 yang digunakan pada sistem ini memiliki pin *input* sebanyak 16 buah dan pin *output* sebanyak 16 buah. Alamat dari komponen-komponen input/output dapat dilihat pada Tabel 1 dan tabel 2.

Tabel 1. Alamat *output* kontroler OmniCore C30

Output		
No	Alamat	Nama
1	XS1.01	Solenoid valve gripper
2	XS1.02	Doorlock
3	XS1.03	Red light tower lamp
4	XS1.04	Yellow light tower lamp
5	XS1.05	Green light tower lamp
6	XS1.06	Pallet cylinder A solenoid valve
7	XS1.07	Pallet cylinder B solenoid valve
8	XS1.08	Relay conveyor
9	XS1.09	Locator cylinder solenoid valve
10	XS1.10	Buzzer
11	XS1.11	Emergency stop
12	XS1.12	
13	XS1.13	
14	XS1.14	
15	XS1.15	
16	XS1.16	

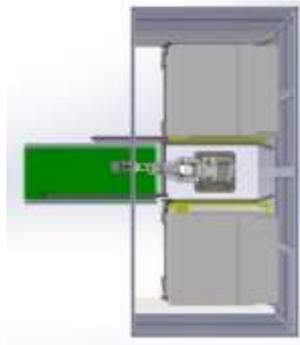
Tabel 2. Alamat *input* kontroler OmniCore C30

Output		
No	Alamat	Nama
1	XS1.01	Limit switch
2	XS1.02	Pallet A sensor
3	XS1.03	Pallet B sensor
4	XS1.04	Pallet cylinder A forward reed switch
5	XS1.05	Pallet cylinder A backward reed switch
6	XS1.06	Pallet cylinder B forward reed switch
7	XS1.07	Pallet cylinder B backward reed switch
8	XS1.08	In-part sensor
9	XS1.09	Locator cylinder forward reed switch
10	XS1.10	Locator cylinder backward reed switch
11	XS1.11	Push button start
12	XS1.12	Push button stop
13	XS1.13	Push button reset
14	XS1.14	Push button home
15	XS1.15	
16	XS1.16	

### Rancangan 3D Sistem

Sebelum melakukan penerapan robot *palletizing* beserta komponen-komponen yang terhubung dalam lini *assembly*, perlu dilakukan pembuatan sistem berupa 3D untuk dapat memiliki gambaran terhadap sistem.

Gambar 2. Tampak 3D rancangan Sistem Otomasi *Palletizing*



Gambar 3. Tampak atas rancangan Sistem Otomasi *Palletizing*

Gambar 2 dan 3 merupakan sebuah rancangan 3D dari sistem otomasi *palletizing* yang telah dibuat melalui aplikasi Solidworks. Terlihat sebuah konveyor terletak di luar *fencing* yang menampung box dari *station* sebelumnya. Robot *palletizing* terletak di antara 2 buah palet yang jaraknya dekat dari robot sehingga robot mampu melakukan proses *place* tanpa adanya gangguan jangkauan.

*Alur Kerja Sistem Otomasi Palletizing*

Alur kerja sistem desain sistem otomasi *palletizing* terlihat gambar 4.



Gambar 4. Diagram alur kerja Sistem Otomasi *Palletizing*

***Rancangan Pola dan Model Box***

Pola susunan box pada palet dengan daftar ukuran dan model box yang digunakan pada sistem otomasi *palletizing* seperti pada tabel 3.

Tabel 3. Daftar informasi model box dalam Sistem Otomasi *Palletizing*

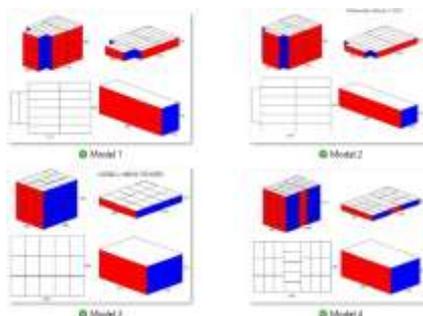
No.	No. Model	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Count	Layer
1	1, 2	326	162	178	14	6
2	3, 6	246	146	145	25	7
3	4	426	168	145	15	6
4	5	426	168	145	15	8
5	7	493	168	130	14	7
6	8	493	168	130	14	9
7	9, 12, 32, 33, 34, 35	326	162	178	14	7
8	10, 11, 13, 14, 41, 43, 44, 47	326	162	178	14	6
9	15, 39, 40, 42, 45, 46	326	162	178	14	7
10	20, 21, 27, 28	508	204	161	9	7
11	29	501	132	135	13	9
12	30, 31	501	132	135	13	7
13	36, 37, 38	323	237	178	15	7
14	48, 51, 55	246	146	145	25	7
15	49, 52, 56	246	146	145	25	8
16	50, 54	426	168	145	15	8
17	53	246	146	145	25	6
18	57, 60, 61, 63, 66, 67, 68	266	155	130	23	9
19	58, 59, 64, 65	266	155	130	23	8
20	62	266	155	130	23	7
21	69, 72, 74, 75, 78	501	132	135	15	9
22	76, 77	501	132	135	13	8
23	70, 71	501	132	182	13	6
24	73	310	210	136	16	8
25	79, 81, 82, 83, 84, 86	454	124	184	14	6
26	80, 85	460	126	190	14	5
27	89, 91, 93, 94, 95, 97	508	117	161	14	7
28	90, 96	508	117	167	14	6
29	92	508	117	161	18	7
30	98, 99	251	171	152	25	7
31	100, 101, 102	501	132	135	13	9

Jumlah dari semua model box yang terdaftar pada sistem mencapai 102 model, dan beberapa model yang memiliki pola peletakan yang sama, sehingga dapat disingkat menjadi 31. Sedangkan untuk box berukuran besar, sebuah layer dapat menampung box sebanyak 9 buah. Pola susunan box pada palet terlihat gambar 5.



Gambar 5. Pola model box yang terdaftar pada lini *assembly*

Pola box didasarkan pada ukuran dan model box yang digunakan dengan dasar pada tabel 3. Sistem terbagi menjadi 4 palet dengan masing-masing berjumlah sebanyak 9 buah. Gambar 6 memperlihatkan bentuk 4 model box dari 31 model box dilakukan pada lini produksi.

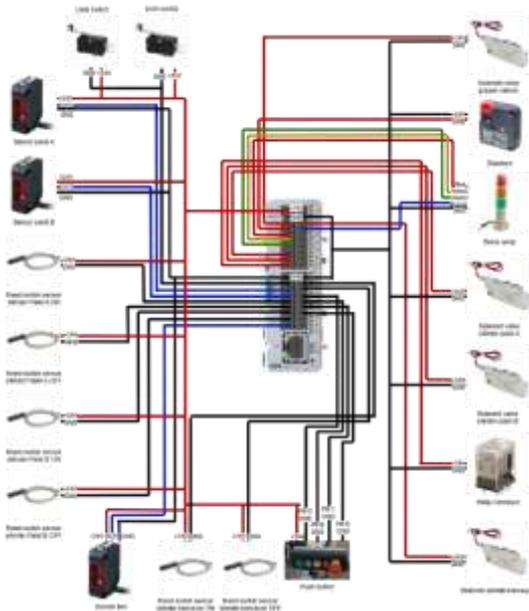


Gambar 6. Pola model box *high runner*

Sebanyak 4 model box yang terdiri dari 31 model box pada area produksi pada lini *assembly* dan dikenal dengan istilah model *high runner*. Keempat model box *high runner* ini akan dilakukan percobaan dan pengujian Sistem Otomasi *Palletizing*.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Rancangan Perangkat Keras terlihat pada gambar 7.



Gambar 7. Wiring diagram Sistem Otomasi Palletizing

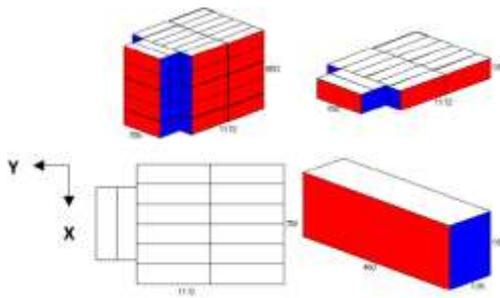
Bagian atas pin kontroler merupakan koneksi untuk *output*. Komponen-komponen yang terhubung dengan *output* kontroler meliputi solenoid valve gripper, doorlock, tower lamp, solenoid valve silinder, relay conveyor, dan solenoid valve silinder conveyor. Seluruh komponen yang terhubung dengan *output* akan bekerja apabila mendapatkan tegangan kerja sebesar 24 VDC yang diatur oleh kontroler, dan mengembalikan arus listrik menuju *ground* pada kontroler.

#### Hasil Rancangan Perangkat Lunak

Pada perancangan sistem, box pada palet memiliki titik *place* yang berbeda-beda pada setiap modelnya, juga ukuran (panjang, lebar, tinggi) berbeda serta pola model palet juga berbeda. Oleh karena itu, dilakukan perhitungan dan penentuan titik *place* box untuk setiap urutan dan lapisan pada setiap model.

Tabel 4. Titik peletakan box pada proses place untuk model box 1

Nilai X (mm)	Nilai Y (mm)	Nilai Z (mm)	Derajat RZ Pick	Derajat RZ Place
63	230	190	90	0
192	230	380	90	0
321	230	570	0	90
450	230	760	0	90
579	230	950	0	90
708	230		0	90
63	693		0	0
192	693		90	0
321	693		90	90
450	693		0	90
579	693		0	90
708	693		0	90
378	989		0	0
378	1118		0	0



Gambar 8. Model box 1

Tabel 4 merupakan data titik *place* pada salah satu model box *high runner* yang tertera pada gambar 8. Berdasarkan informasi mengenai box yang tersedia, titik *pick* box terletak pada titik tengah panjang dan lebar box. Sedangkan titik *place* box ditentukan berdasarkan pola yang telah ditentukan pada model. Penentuan sumbu X dan Y (gambar 8) didasarkan pada letak robot di samping palet dan agar robot dapat mencapai titik *place* terjauh. Urutan pada proses *place* dimulai dari nilai sumbu X dan Y terkecil hingga nilai sumbu terbesar. Setelah titik X dan titik Y, terdapat juga titik Z yang menentukan lapisan ketika *palletizing* mencapai urutan terakhir. Ketinggian dari titik Z didapatkan dari tinggi box pada model tersebut.

### Implementasi Pemrograman Industri Berorientasi Obyek

Berdasarkan banyaknya nilai variabel untuk setiap model yang tersimpan dalam sistem, maka diperlukan sebuah metode untuk mempermudah penulisan program sistem. Oleh karena itu, penerapan pemrograman berorientasi obyek pada pemrograman sistem ini dilakukan untuk mempermudah penulisan, pengelolaan, dan pengelompokan terhadap variabel dan perintah yang ada dalam program. Implementasi pemrograman berorientasi obyek pada sistem ini dilakukan dengan membuat program tersendiri yang memisahkan antara variabel data model box dengan perintah terhadap robot dan komponen sistem. Dalam sistem, hal ini dilakukan dengan penambahan program Module Array Model. Module Array Model pada program sistem ini berfungsi untuk menyimpan variabel data jumlah urutan untuk setiap model, jumlah lapisan untuk setiap model, titik nilai sumbu X, Y, dan Z untuk proses *pick* pada setiap model box, sumbu rotasi gripper untuk proses *pick*, titik nilai sumbu X, Y, dan Z untuk proses *place* pada setiap model box, dan sumbu rotasi gripper untuk proses *place*. Variabel nilai *place* pada setiap model terhubung dengan nomor SKU di program.

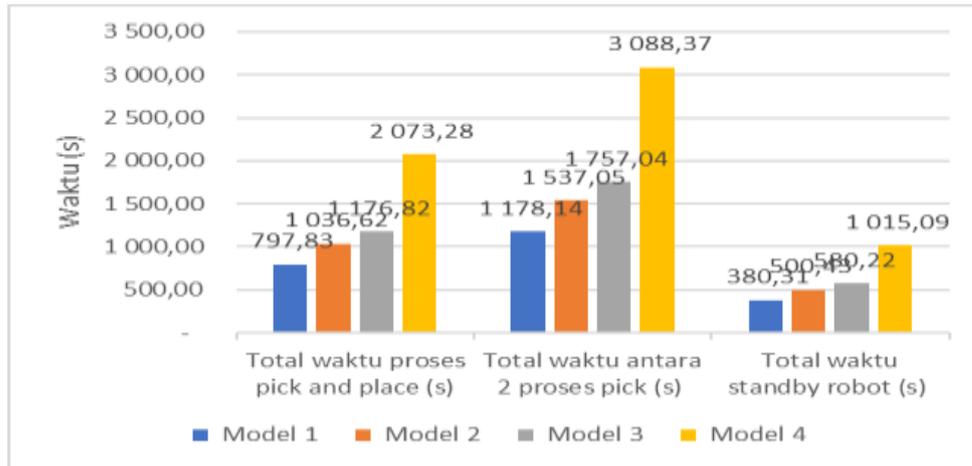
Dalam prinsip pemrograman industri berorientasi obyek, enkapsulasi memungkinkan sebuah obyek yang dibuat memiliki seluruh fungsionalitas dan data yang diperlukan untuk mengendalikan sebuah mesin atau proses. Pengguna tidak perlu mengetahui atau memahami bagaimana implementasi yang mendasarinya, mereka hanya cukup menggunakannya saja[5]. Dalam enkapsulasi obyek dalam program, pengguna tidak perlu memahami bagaimana obyek tersebut bekerja dalam program. Pengguna cukup mengetahui cara kerja sistem dalam antarmuka. Hal ini merupakan sebuah prinsip pemrograman industri berorientasi obyek, yaitu antarmuka. Antarmuka merupakan sesuatu yang terlihat dan dapat diakses sehingga program sistem dapat bekerja. Dalam program sistem otomasi *palletizing*, antarmuka dapat diibaratkan sebagai nomor SKU. Nomor SKU merepresentasikan model box yang dilakukan *palletizing* berdasarkan pola yang telah ditentukan, sekaligus mampu merepresentasikan data titik *pick* and *place* yang dilakukan oleh program sistem.

Prinsip lain dari pemrograman industri berorientasi obyek adalah *nesting*. Konsep *nesting* merujuk kepada memiliki sebuah class di dalam class, di mana class merupakan obyek yang memiliki atribut dan metode. Meskipun dalam pemrograman RAPID pada RobotStudio ini tidak mampu melakukan penerapan class seperti pada bahasa pemrograman lain, penerapan prinsip *nesting* tetap bisa dilakukan dengan metode lain. Dalam nomor SKU yang tersimpan pada program, terdapat variabel data array yang direpresentasikan oleh nomor SKU. Ketika program ingin memerintahkan robot untuk melakukan *palletizing* pada salah satu model, kumpulan data nomor SKU yang telah dimasukkan dalam program menentukan model yang sesuai dan pengambilan data array. Dari hal tersebut, perintah penentuan model yang terdapat berbagai model yang berisi dengan data array merupakan sebuah analogi *nesting* dalam program ini.

Kemudian terdapat prinsip abstraksi. Prinsip ini membuat adanya kelompok tingkatan yang terjadi dalam program. Hal ini terlihat dalam program sistem, data array dari titik *place* dan *pick* dikelompokkan dalam masing-masing nomor SKU. Kemudian terjadi pemanggilan terhadap nomor SKU yang terpilih ketika sistem dijalankan. Lalu data dari nomor SKU yang dipanggil akan dipindah ke program MainModule sehingga dapat dieksekusi *pick* and *place* oleh robot *palletizing*. Berdasarkan alur tersebut, terdapat tingkatan-tingkatan pada program untuk setiap bagiannya. Sehingga ketika ingin melakukan modifikasi, hal tersebut dilakukan pada tingkatan tertentu dan tidak memengaruhi tingkatan lainnya.

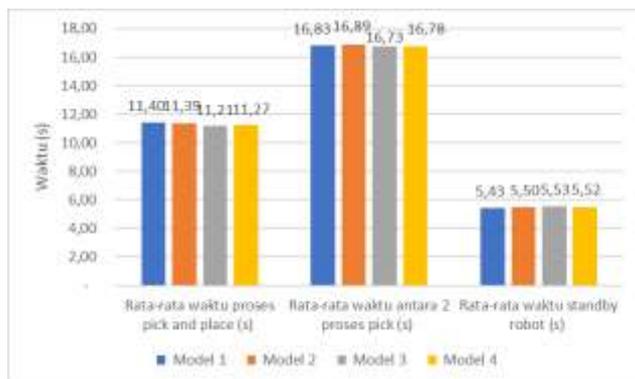
Analisis Hasil Pengukuran Waktu Siklus

Hasil pengukuran waktu siklus *pick and place* untuk model *high runner* terlihat pada gambar 9.



Gambar 9. Grafik hasil pengukuran total waktu siklus pada 4 model box

Gambar 9 merupakan grafik perbandingan total waktu proses *pick and place*, total waktu antara 2 proses *pick*, dan total waktu *standby* robot antara model box *high runner* dari data percobaan yang telah diperoleh. Pada gambar 10 memperlihatkan perbandingan rata-rata waktu proses *pick and place*.

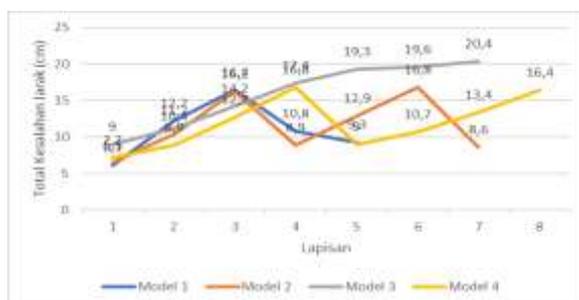


Gambar 10. Grafik hasil pengukuran rata-rata waktu siklus pada 4 model box

Dari keempat model *high runner* yang telah diukur, rata-rata waktu proses *pick and place* memiliki rentang 0,19 detik, rata-rata waktu antara 2 proses *pick* memiliki rentang 0,16 detik, dan rata-rata waktu *standby* robot memiliki rentang 0,09 detik. Berdasarkan analisis waktu total dan waktu rata-rata, maka waktu total proses *palletizing* dipengaruhi oleh jumlah urutan dan lapisan yang ada pada model box.

Analisis Hasil Pengujian Akurasi Pick and Place

Hasil pengujian akurasi *pick and place* terlihat pada gambar 11.

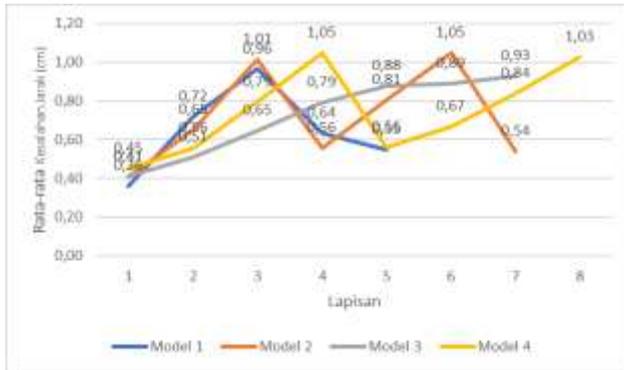


Gambar 11. Grafik total kesalahan jarak untuk setiap lapisan pada 4 model box

Perbandingan total kesalahan jarak antara urutan box yang terjadi pada setiap lapisan antara 4 model box *high runner* ditampilkan gambar 11. Pada model 1 terjadi kenaikan total kesalahan jarak antara box sebesar 2,93 cm pada setiap lapisan, model 2 terjadi kenaikan total kesalahan jarak antara box sebesar 4,4 cm pada setiap lapisan, model 3 terjadi kenaikan total kesalahan jarak antara box sebesar 1,9 cm pada setiap lapisan, dan model 4 terjadi kenaikan total kesalahan jarak antara box sebesar 2,83 cm pada setiap lapisan. Hal ini

diakibatkan karena semakin naiknya tingkatan lapisan, box yang saling bertumpuk akan semakin tidak seimbang, sehingga menimbulkan kemiringan box ketika proses *place* dan berdampak terhadap kesalahan jarak antara box.

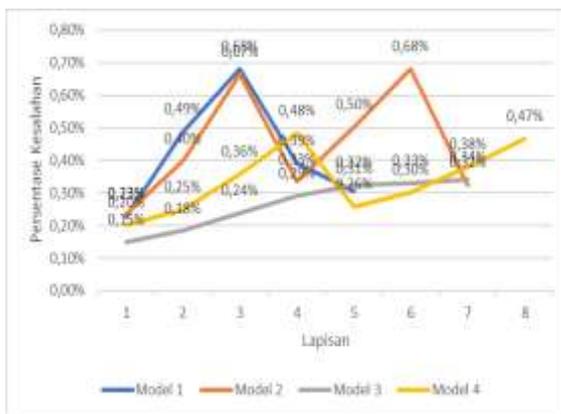
Adanya penurunan total kesalahan jarak pada model 1, 2, dan 4, sedangkan grafik pada model 3 cenderung relatif naik stabil. Hal ini dikarenakan terjadinya proses *wrapping* secara manual pada model 1, 2, dan 4 agar menghindari robohnya susunan box, sedangkan model 3 tidak dilakukan *wrapping*. Model 3 memiliki nilai total kesalahan jarak antara urutan box terbesar diantara 4 model *high runner*. Mengingat model 3 memiliki titik pengukuran terbanyak dibandingkan 4 model lainnya, hal tersebut wajar apabila model 3 memiliki nilai total kesalahan jarak terbesar.



Gambar 12. Grafik rata-rata kesalahan jarak untuk setiap lapisan pada 4 model box

Perbandingan rata-rata kesalahan jarak antara urutan box yang terjadi pada setiap lapisan antara 4 model box *high runner* (gambar 12). Berdasarkan grafik tersebut, seluruh model mengalami kenaikan rata-rata kesalahan jarak untuk setiap naiknya tingkatan lapisan. Pada model 1 terjadi kenaikan rata-rata kesalahan jarak antara box sebesar 0,17 cm pada setiap lapisan, model 2 terjadi kenaikan rata-rata kesalahan jarak antara box sebesar 0,28 cm pada setiap lapisan, model 3 terjadi kenaikan rata-rata kesalahan jarak antara box sebesar 0,09 cm pada setiap lapisan, dan model 4 terjadi kenaikan rata-rata kesalahan jarak antara box sebesar 0,18 cm pada setiap lapisan.

Pada umumnya, karakteristik grafik data ini masih sama dengan data grafik sebelumnya, yaitu total kesalahan jarak antara urutan box. Namun hal yang terlihat berbeda yaitu model 3 memiliki nilai rata-rata kesalahan jarak yang lebih rendah dibandingkan 3 model lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa model 3 memiliki tingkat akurasi lebih baik dibandingkan 3 model lainnya.



Gambar 13. Grafik persentase kesalahan jarak untuk setiap lapisan pada 4 model box

Perbandingan persentase kesalahan antara urutan box yang terjadi pada setiap lapisan antara 4 model box *high runner* ditampilkan gambar 13. Persentase kesalahan ini mengacu kepada perbandingan kesalahan antara urutan box dengan dimensi box, sehingga apabila nilai kesalahan mendekati dimensi panjang/lebar box, maka persentase kesalahan akan semakin besar. Dalam grafik ini model 1 dan model 2 terjadi lonjakan persentase kesalahan yang cukup tinggi dibandingkan model 3 dan model 4 dengan kenaikan yang stabil. Hal ini menunjukkan bahwa model 2 dan model 3 memiliki tingkat akurasi lebih baik dibandingkan model 1 dan model 2. Pada model 1 terjadi kenaikan persentase kesalahan jarak antara box sebesar 0,12% pada setiap lapisan, model 2 terjadi kenaikan persentase kesalahan jarak antara box sebesar 0,19% pada setiap lapisan, model 3 terjadi kenaikan persentase kesalahan jarak antara box sebesar 0,03% pada setiap lapisan, dan model 4 terjadi kenaikan persentase kesalahan jarak antara box sebesar 0,08% pada setiap lapisan.

Berdasarkan analisis hasil pengujian akurasi *pick and place* Sistem Otomasi *Palletizing* yang dilakukan terhadap 4 model box *high runner* dengan parameter total kesalahan jarak antara urutan box, rata-rata kesalahan jarak antara urutan box, dan persentase kesalahan antara urutan box, dapat disimpulkan bahwa model 3 memiliki tingkat akurasi *pick and place* terbaik diantara 3 model lainnya.

Jika dilihat pada boxnya, model 3 memiliki box dengan luas permukaan yang besar, berbeda dengan 3 model lainnya yang memiliki luas permukaan yang pipih. Hal ini menyebabkan susunan *palletizing* yang lebih seimbang dan tingkat kemiringan yang kecil pada box. Selain itu, model 3 memiliki bentuk susunan palet yang lebih sederhana dibandingkan 3 model lainnya, sehingga memudahkan penentuan titik *place* yang sederhana.

#### 4. KESIMPULAN

Sistem Otomasi *Palletizing* memiliki tingkat akurasi yang berbeda-beda pada setiap model box. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, nilai rata-rata kesalahan pada lapisan pertama pada rata-rata 4 model yang diuji adalah 0,41 cm dan terjadi kenaikan rata-rata sebesar 0,18 cm setiap naiknya lapisan. Dalam persentase, nilai persentase kesalahan pada lapisan pertama pada rata-rata 4 model yang diuji adalah 0,20% dan terjadi kenaikan rata-rata sebesar 0,11% setiap naiknya lapisan. Tingkat akurasi pada Sistem Otomasi *Palletizing* ini dipengaruhi oleh luas permukaan box.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Immerman, "Industry 4.0: The History, Benefits, and Technologies," [www.machinemetrics.com/blog/what-is-industry-4-0](http://www.machinemetrics.com/blog/what-is-industry-4-0), Juni 05, 2024
- [2] J. U. D. Hatmoko dkk, *Revolusi Industri 4.0 Perspektif Teknologi, Manajemen, dan Edukasi*, 1st ed. x Yogyakarta: CV Andi Offset, 2021, pp 135.
- [3] M. A. Agatha, "Proyek Akhir Rancang Bangun Dan Analisis Kekuatan Station Assembly Robot Trainer Sebagai Media Pembelajaran Automasi Industri," Proyek Akhir, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2023.
- [4] X. Chen, Y. Zhou, B. Yang, X. Miao, Y. Li, and M. Zhang, "Designing Control System of Palletizing Robot Based on RobotStudio," *J Phys Conf Ser*, vol. 2402, no. 1, pp. 1–7, 2022, doi: 10.1088/1742-6596/2402/1/012039.
- [5] G. L. Pratt, "Object Oriented Industrial Programming (OOIP)," <https://www.automation.com/en-us/articles/september-2020/object-oriented-industrial-programming-ooip-part-1>, Juni 05, 2025.