

Perancangan Purwarupa Produk Edukasi Berupa Robot Modular bagi Anak Sekolah

Bagus M. Arthaya¹, Wendi Kristianto²

^{1,2} Jurusan Teknik Elektro, Kons. Mekatronika, FTI UNPAR
Jl. Ciumbuleuit No. 94 Bandung 40141 INDONESIA

alamat bagusart@unpar.ac.id¹, wendikritianto2805@gmail.com²

Intisari— Dalam rangka mendukung era Revolusi Industri 4.0 di Indonesia, salah satu bidang ilmu yang perlu dipelajari adalah ilmu robotika. Pembelajaran ilmu robotika dapat dipermudah menggunakan produk edukasi yang saat ini masih belum banyak diproduksi di Indonesia. Untuk itu, dengan memanfaatkan teknologi *3D printing* yang telah hadir di Indonesia, produk edukasi dapat dicetak menggunakan mesin *3D printer* dan hasil cetaknya dirakit dengan beberapa komponen berupa mikrokontroler, sensor, dan aktuator agar dapat mendukung penyampaian ilmu robotika. Prinsip modularitas robot yang berdasarkan pada konsep perancangan *Snap-Fit* berupa *cantilever* diterapkan pada produk untuk meningkatkan nilai ergonomi produk dalam kemudahan perakitan serta pengembangan kreatifitas dan pola pikir penggunaannya. Produk kemudian melewati beberapa tahap perancangan dan pengujian agar produk siap digunakan dalam pembelajaran ilmu robotika untuk mendukung perkembangan Revolusi Industri 4.0 di Indonesia.

Keywords— 3D Printing, Snap-Fit Design, Cantilever, Edukasi, Robot Modular, Ergonomi Produk.

I. PENDAHULUAN

Industri 4.0 merupakan fase baru dalam revolusi industri di dunia yang berfokus dalam otomasi, konektivitas, robot pintar, dan pengambilan data secara *real time* [1]. Berdasarkan hasil survey "The Future Jobs" pada acara *World Economics Forum 2016* yang ditunjukkan pada Gbr 1, Indonesia yang ditandai dengan warna biru termasuk dalam salah satu negara yang berkembang menuju industri 4.0 [2].



Gbr. 1 Hasil survey negara berkembang dalam Industri 4.0. [2]

Menurut Menteri Perindustrian Indonesia periode 2016-2019 yakni Airlangga Hartanto, aspek penguasaan teknologi menjadi kunci penentu daya saing di era Industri 4.0 ini. Adapun lima teknologi utamb yang

menopang pembangunan sistem Industry 4.0, yaitu *Internet of Things*, *Artificial Intelligence*, *Human-Machine Interface*, teknologi robotika dan sensor, serta teknologi *3D Printing* [3]. Untuk mengembangkan aspek tersebut salah satu langkah yang bisa dilakukan oleh pemerintah Indonesia adalah meningkatkan kompetensi sumber daya manusia berkaitan dengan lima teknologi tersebut. Melalui sektor pendidikan, pengenalan keilmuan di era Industri 4.0 dapat dilakukan sejak dini kepada para pelajar sekolah. Dalam bidang pendidikan terdapat dua metode yaitu teoritis dan praktis yang dalam penerapannya harus seimbang. Untuk itu, diperlukan suatu alat bantu atau produk yang dapat membantu murid dalam pengenalan serta pembelajaran teknologi yang menunjang teori dalam metode teoritis serta mudah diterapkan dalam metode praktis. Produk tersebut harus dapat dijangkau oleh masyarakat yang tertarik dalam teknologi khususnya robotika diberbagai daerah di Indonesia.

Dalam kehidupan sehari-hari, robot saat ini sudah menjadi salah satu alat yang membantu manusia dalam melakukan pekerjaannya diberbagai bidang dengan lebih efisien [4]. Gbr 2 merupakan salah satu contoh penggunaan robot dalam dunia industri otomotif dalam proses pengelasan bodi mobil.



Gbr. 2 Penggunaan robot dalam dunia industri otomotif. [5]

Pekerjaan sederhana dan monoton dapat dikerjakan dengan baik oleh robot sedangkan tugas-tugas lain yang lebih memerlukan perhatian dan pemikiran lebih sebaiknya dikejakan oleh pekerja manusia. Namun penggunaan robot memerlukan pengetahuan yang cukup di bidang ilmu robotika dalam pengoperasian dan perawatannya. Untuk itu, diperlukan suatu produk edukasi mengenai ilmu robotika agar keilmuan ini dapat dipelajari secara langsung dan dirasakan lebih nyata.

Di Indonesia saat ini belum terdapat industri yang memproduksi sendiri robot modular yang dapat digunakan sebagai produk edukasi. Beberapa robot modular untuk edukasi yang beredar secara komersial didapat secara *import* dari negara lain. Selain faktor kelangkaan produk, harga robot yang beredar cukup mahal sehingga hanya instansi tertentu saja yang mampu memiliki robot untuk edukasi. Oleh karena itu, dengan adanya teknologi *3D Printing*, setiap orang dapat mencetak secara mandiri robot modular dengan rancangan sendiri untuk tujuan edukasi.

Dengan memanfaatkan teknologi *3D printing*, produk edukasi dalam penelitian ini akan berbentuk robot yang didesain dengan fokus utama kemudahan pencetakan serta perakitan robot. Produk edukasi ini berupa robot modular yang terdiri atas beberapa bagian. Robot tersebut akan menerapkan prinsip modularitas sehingga pengguna robot dapat berkreasi secara bebas dalam merakit robot tanpa menghalangi konsep ilmu robotika.

II. TEORI DASAR

Beberapa konsep dasar perlu mendapat perhatian khusus dalam rangka merancang produk edukasi berupa robot modular. Hal lain adalah karakteristik anak dalam berinteraksi dengan produk ini perlu diperhatikan, setidaknya berkaitan dengan gaya maksimum yang dihasilkan tangan saat melakukan tugas-tugas terkait dengan proses perakitan.

Ergonomi Produk Anak-Anak

Menurut Valerie Rice dan Rani Lueder [5], beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam membuat produk anak-anak yaitu sebagai berikut:

- 1) Dapat digunakan oleh semua kalangan anak-anak sekolah dengan tetap mendukung produktivitas dan keamanan produk.
- 2) Mendukung perkembangan anak-anak dalam menggapai skill baru.
- 3) Sesuai dengan regulasi yang berlaku.
- 4) Produk harus dapat dimengerti anak-anak sebagai penggunaannya dan orang dewasa sebagai pembeli dan pengajarnya.

A. Gaya Maksimum Pada Jari Anak-Anak

Berdasarkan hasil penelitian Universitas Nottingham, besar gaya maksimum yang dapat dihasilkan oleh anak-anak ditunjukkan pada Tabel I.

TABEL I
GAYA MAKSIMUM PADA JARI ANAK-ANAK [6]

Jenis Kelamin	Umur (tahun)	Gaya Maksimum Untuk Jari Telunjuk (N)	Gaya Maksimum Untuk Jari Jempol (N)
Laki - Laki	6 - 10	43.22	85.08
	11 - 15	66.65	115.09
Perempuan	6 - 10	42	71.14
	11 - 15	63.02	94.34

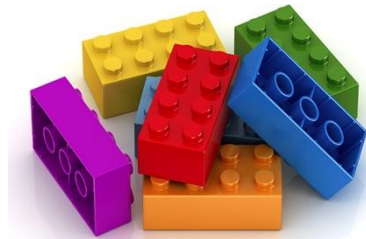
B. Ergonomi Mainan Anak-Anak

Menurut Brenda A. Torres (2008) dalam [5], beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam membuat mainan anak-anak [5] yaitu sebagai berikut:

- 1) Mendukung manipulasi, eksplorasi, dan melatih anak.
- 2) Mendukung anak untuk bersandiwaranya.
- 3) Mendukung anak untuk mengekspresikan ide dan perasaan.
- 4) Membantu anak dalam mengembangkan perasaan untuk mendalami dan mengerti akan sesuatu.

C. Konsep Modularitas

Modularitas berasal dari kata modular yang berarti bersifat standar atau suatu rancangan yang dapat tersusun atas beberapa komponen yang sama [7]. Dalam ilmu desain, modularitas diartikan sebagai prinsip yang membagi suatu sistem menjadi beberapa bagian kecil yang disebut module. *Module* dapat dipasangkan atau digantikan dengan *module* lainnya untuk membentuk suatu sistem. Salah satu produk yang menggunakan prinsip modularitas adalah Lego [Gbr. 3]. Menurut Soren Eilers, 6 lego berukuran 4x2 seperti pada Gambar 4 dapat melakukan kombinasi hingga 915.103.765 kombinasi [8]



Gbr. 3 Contoh penerapan modularitas pada Lego. [8]

D. Snap-Fit Design

Snap-Fit merupakan salah satu metode *assembly* produk yang mengutamakan kemudahan dalam perakitan serta pelepasan komponen yang menyusun suatu produk. Metode ini umumnya digunakan pada komponen yang berbahan plastik atau komponen lainnya yang fleksibel. Berbagai variasi snap-fit antara lain:

- Cantilever.
- Torsional.
- Annular

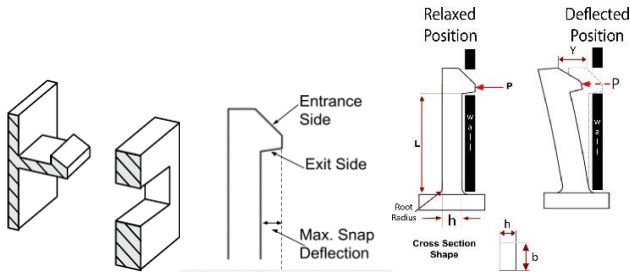
Keuntungan menggunakan metode *snap-fit* antara lain:

- Bentuk simpel.
- Mengurangi penggunaan part berlebih untuk melakukan assembly seperti mur dan baut.
- Dapat dipasang dan dilepas dengan mudah.

Kekurangan dari metode *snap-fit* antara lain:

- Kekuatan assembly dari snap-fit tidak sekuat assembly menggunakan mur baut.
- Ketika joint rusak maka tidak dapat digunakan kembali.

Penggunaan *snap-fit* ini dapat dikaji lebih mendalam untuk mendapatkan pengencangan yang paling efisien. Beberapa contoh fitur yang perlu diperhatikan saat menggunakan *snap-fit* sebagai komponen penghubung disajikan pada Gbr. 4.



Gbr. 4 Beberapa fitur penting dalam *snap-fit*. [9], [10], [11]

Defleksi merupakan keadaan dimana batang mengalami lendutan akibat gaya yang bekerja pada benda tersebut. Menurut Michael J. Troughton [12], untuk menghitung nilai defleksi dari batang *cantilever snap-fit*, dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Y = 0.67 \times \frac{\varepsilon \times L^2}{h} \quad (1)$$

dimana:

Y = besar defleksi (mm); ε = regangan maksimum benda (%); L = panjang batang *cantilever snap-fit* (mm); h = tebal batang *cantilever snap-fit* (mm)

Regangan maksimum atau *allowabel strain value* yang digunakan pada rumus perhitungan defleksi berdasarkan pada datasheet material yang digunakan. Setiap material memiliki nilai regangan maksimum tersendiri akibat dari struktur penyusun material tersebut yang berbeda-beda. Tabel II merupakan tabel nilai regangan maksimum pada beberapa material.

TABEL III
BEBERAPA NILAI REGANGAN MAKSIMUM DARI MATERIAL 3D PRINT [13]

Material	Allowable Strain Value
PEI	9.8%
PC	4 - 9.2%
Acetal	1.5%
ABS	6% - 7%
PLA	6%

Sementara besar gaya yang dibutuhkan untuk membuat batang defleksi menurut [12] dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$P = \frac{Y \times h^3 \times E \times b}{4 \times L^3} \quad (2)$$

dimana:

P = gaya agar defleksi (N); Y = besar defleksi (mm); L = panjang batang *cantilever* (mm); b = lebar batang *cantilever* (mm); h = tebal batang *cantilever snap-fit* (mm); E = *flexural modulus* (Mpa)

Menurut [12] juga, untuk menghitung besar gaya yang dibutuhkan untuk melakukan *assembly* satu *cantilever (entrance dside)* dengan pasangannya dapat digunakan persamaan berikut:

$$F_a = P \times \frac{\mu + \tan \alpha}{1 - \mu \tan \alpha} \quad (3)$$

dimana:

F_a = gaya untuk *Assembly* (N); P = gaya yang dibutuhkan

agar *cantilever* mengalami defleksi (N); μ = koefisien gesekan; α = sudut pada *entrance side* ($^\circ$)

Untuk menghitung besar gaya yang dibutuhkan untuk melakukan *disassembly* satu *cantilever* dari pasangannya [12] dapat digunakan persamaan berikut:

$$F_d = P \times \frac{\mu + \tan \beta}{1 - \mu \tan \beta} \quad (4)$$

dimana:

F_d = gaya untuk *Disassembly* (N); P = gaya yang dibutuhkan agar *cantilever* mengalami defleksi (N); μ = koefisien gesekan; β = sudut pada *exit side* ($^\circ$)

Data yang dibutuhkan antara lain adalah nilai *flexural modulus* (E) pada material adalah ABS sebesar 2443 MPa [13]; koefisien gesek untuk ABS adalah 0,11 – 0,46 [14].

III. METODOLOGI PERANCANGAN

A. Pemilihan Komponen Robotika

Komponen utama robotika yang akan diterapkan pada produk adalah ilmu mengenai penerapan sensor dan aktuator pada suatu modul body robot. Pemilihan sensor dan aktuator sebagai ilmu yang diterapkan pada produk dikarenakan sensor dan aktuator merupakan salah satu komponen terpenting dalam berbagai mesin di dunia industri.

B. Ergonomi Produk

Ergonomi produk menjadi salah satu alasan pemilihan robot modular sebagai produk edukasi. Perancangan robot ini didasarkan pada ergonomi produk dan terutama pada mainan anak-anak. Dengan prinsip modularitas, pengguna produk dapat mengembangkan kreatifitas dan *skill*-nya dikarenakan susunan konfigurasi dari robot modular yang dapat diubah sesuai keinginan pengguna.

C. Teknik Pencetakan Produk

Untuk mendukung kemudahan dalam pembuatan produk edukasi berupa modular robot, Komponen mekanik akan dicetak menggunakan *3D Printer*. Pemilihan *3D Printer* sebagai mesin pencetakan produk berdasarkan pada kemudahan dalam pencetakannya serta biaya material atau *filament* yang murah. Hal yang perlu diperhatikan dalam pencetakan produk adalah material atau *filament* yang digunakan, penggunaan *support*, dan penggunaan *adhesive*. *Filament* yang akan digunakan sebagai bahan komponen mekanik produk adalah ABS atau *acrylonitrile butadiene styrene*. Pemilihan ABS sebagai bahan komponen produk dikarenakan ABS merupakan salah satu *filament* yang kuat dan tidak memerlukan banyak konfigurasi pada proses *slicing*.

1) *Support*: Support dibutuhkan sebagai metode yang membantu dalam proses pencetakan bagian yang tidak memiliki tumpuan dibawahnya. Support umumnya berbentuk sebuah tiang yang dicetak untuk menopang bagian yang tidak menempel pada alas printer. Support dibutuhkan dalam pencetakan connector karena posisi *cantilever* pada connector tidak menempel pada bed atau melayang.

2) Penggunaan *Adhesive*: Penggunaan adhesive bertujuan untuk menjaga benda agar terus menempel pada bed selama proses pencetakan. Adhesive dapat berbentuk cairan ataupun alas benda dengan ukuran yang lebih besar dari lapisan terbawah benda. Adhesive dibutuhkan dalam pencetakan agar benda tetap menempel pada proses pencetakan benda dalam jangka waktu yang lama.

3) *Heading Level-3*: Heading level-3 harus menjorok, miring dan dinomori dengan angka Arab diikuti dengan tanda kurung kanan. Heading level 3 harus diakhiri dengan titik dua. Tulisan bersambung mengikuti judul heading dengan baris yang sama. Sebagai contoh, ayat ini diawali dengan heading level 3.

D. Modularitas dan Metode Perakitan Komponen Robot

Modularitas menjadi rujukan awal bagaimana rancangan produk ini dilakukan. Dengan menerapkan konsep modularitas, maka banyak fitur fleksibilitas yang dapat digali lebih mendalam, dalam hal ini adalah kemudahan menyusun modul *body* robot untuk menghasilkan konfigurasi yang berbeda. Untuk tujuan ini maka diperlukan konsep terkait yakni Teknik perakitan/*assembly* yang mudah dilakukan untuk membangun konfigurasi yang berbeda-beda.

Metode perakitan atau *assembly* robot menggunakan salah satu metode dalam *snap-fit* yaitu *cantilever snap-fit*. Jenis *cantilever* yang ada pada komponen:

- Cantilever* pada tutup *body*.
- Cantilever* pada *connector* atas bawah.
- Cantilever* pada *connector* samping.
- Cantilever* pada *support*.

Pada perancangan ini, *cantilever snap-fit* pada tutup *Body*, *connector* samping dan *support* dibuat sama dengan panjang batang *cantilever* sebesar 10 mm, lebar *cantilever* sebesar 10 mm, tebalnya sebesar 1 mm, dan material yang digunakan adalah ABS. Dengan data tersebut maka besar defleksi maksimum dapat dihitung menggunakan persamaan (1) sebesar:

$$\begin{aligned}
 Y &= 0.67 \times \frac{\varepsilon \times L^2}{h} \\
 &= 0.67 \times \frac{0.06 \times 10^2}{1} \\
 &= 0.67 \times 6 \\
 &= 4.02 \text{ mm}
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Defleksi yang dibutuhkan pada *cantilever snap-fit* ini hanyalah sebesar 2.59 mm, maka besar gaya yang dibutuhkan agar batang *cantilever* ini mengalami defleksi dapat dihitung menggunakan persamaan (2) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 F &= \frac{Y \times h^3 \times E \times b}{4 \times L^3} \\
 &= \frac{2.59 \times 1^3 \times 2443 \times 10}{4 \times 10^3} \\
 &= 15.82 \text{ N}
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

Dengan sudut *entrance side* sebesar 30° dan nilai koefisien gesek material ABS pada Tabel III sebesar 0.11, maka besar gaya yang dibutuhkan untuk melakukan *assembly* satu

cantilever snap-fit dapat dihitung menggunakan persamaan (3) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 F_a &= P \times \frac{\mu + \tan \alpha}{1 - \mu \tan \alpha} \\
 &= 15.82 \times \frac{0.11 + \tan 30}{1 - 0.11 \tan 30} \\
 &= 11.61 \text{ N}
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

Dengan sudut *exit side* sebesar 45° dan berdasarkan nilai koefisien gesek material ABS Tabel III sebesar 0.11, maka besar gaya yang dibutuhkan untuk melakukan *disassembly* satu *cantilever snap-fit* dapat dihitung menggunakan persamaan (4) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 F_d &= P \times \frac{\mu + \tan \beta}{1 - \mu \tan \beta} \\
 &= 15.82 \times \frac{0.11 + \tan 45}{1 - 0.11 \tan 45} \\
 &= 19.72 \text{ N}
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

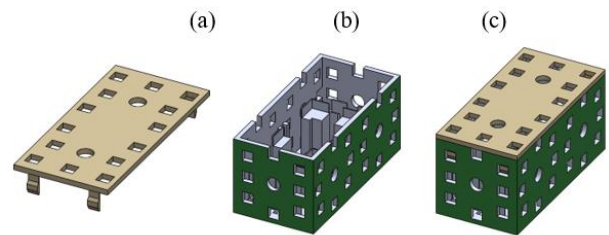
Sementara untuk *cantilever snap-fit* sebagai penghubung unit atas dan bawah dibuat dengan panjang batang *cantilever* sebesar 15 mm, lebar 10 mm, tebal sebesar 1 mm, dan material yang digunakan adalah ABS. Dengan cara yang sama dengan cara di atas maka besar didapatkan perhitungan sebagai berikut:

- defleksi maksimum sebesar 9,04 mm,
- besar gaya yang dibutuhkan untuk mendapatkan defleksi sebesar 2.59 mm adalah 4,68N,
- besar gaya yang dibutuhkan untuk melakukan *assembly* adalah 3,44 N,
- besar gaya yang dibutuhkan untuk melakukan *disassembly* adalah 5,84 N.

E. Komponen Mekanik Robot

Komponen mekanik robot akan menerapkan prinsip modularitas dimana sistem keseluruhan robot akan terbagi menjadi beberapa bagian yang dapat saling terhubung satu sama lain. Komponen mekanik robot akan dicetak menggunakan metode *3D Printing* menggunakan *3D Printer* dengan *filament* yang digunakan adalah ABS. Komponen mekanik robot antara lain:

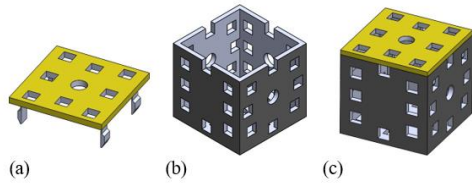
- Main Body*; merupakan komponen utama robot modular yang berbentuk balok berukuran 185 x 90 x 90 mm dengan beberapa lubang *connector* di setiap permukaan main body. Gbr. 5 (c) merupakan tampilan *Main Body* dari bagian luar.



Gbr. 5 Komponen *main body*: (a) tutup *main body*, (b) *main box*, dan (c) *main body* yang terpasang utuh

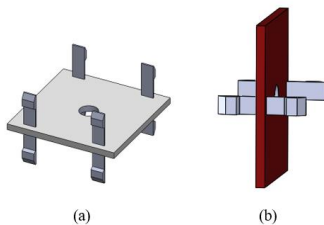
- Single Body*; merupakan komponen utama robot modular yang berbentuk kubus berukuran 90 x 90 x 90 mm dengan beberapa lubang *connector* di setiap permukaan

Single body. Single body akan berisi satu sensor atau aktuator. Secara umum single body ditunjukkan pada Gbr 6.



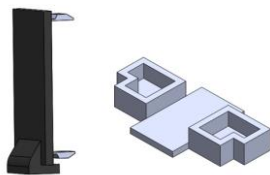
Gbr. 6 Komponen *main body*: (a) tutup *main body*, (c) *main box*, dan (c) *main body* yang terpasang utuh

3) *Connector*; merupakan komponen penghubung antar komponen. *Connector* dapat menghubungkan *main body* dengan *single body* ataupun *single body* dengan *single body* lainnya. *Connector* berbentuk balok dengan ukuran 90 x 90 x 5 mm dengan beberapa *cantilever snap-fit*. Berdasarkan posisi penempatannya, terdapat 2 jenis *connector* yaitu: a) *connector* atas dan bawah dan b) *connector* samping, seperti yang ditunjukkan pada Gbr. 7.



Gbr. 7 Bentuk *connector* (a) atas dan bawah dan (b) samping

4) *Support*; merupakan komponen yang digunakan untuk membantu robot dalam menjalankan fungsinya. Gbr. 8 merupakan *support* yang berfungsi untuk menopang bagian dari robot yang tidak terhubung dengan komponen lainnya dan *support* ini nantinya akan terhubung dengan *caster ball*. Disamping itu, disiapkan juga terdapat *support* yang berfungsi untuk mengunci komponen yang saling terhubung.



Gbr. 8 *Support* tempat *caster ball* dan *support* pengunci.

F. Komponen Elektrik

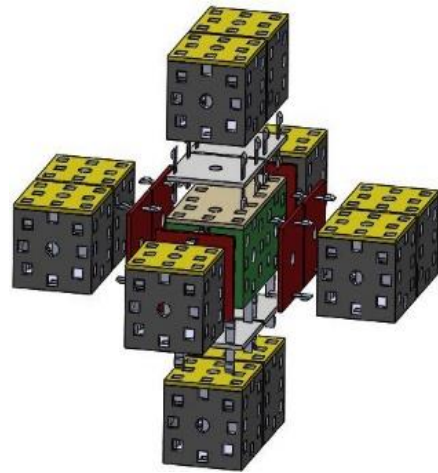
Komponen elektrik utama yang akan digunakan pada robot terdiri atas mikrokontroler, sensor, dan aktuator. Komponen elektrik yang digunakan dalam modular robot antara lain:

- 1) *Arduino Mega*; sebagai mikrokontroler bagi robot yang akan diprogram menggunakan perangkat lunak.
- 2) *Motor Driver L293D*; sebagai sumber daya penggerak bagi aktuator.
- 3) *Bluetooth Module HC-05*; sebagai salah satu komponen komunikasi robot.
- 4) *Baterai 18650* beserta *holder*; sebagai sumber tegangan/ daya bagi robot.

- 5) *Sensor Ultrasonik HY-SRF05*; sebagai salah satu variasi sensor pada robot
- 6) *LED Matrix*; Sebagai salah satu variasi display sensor robot
- 7) *Camera ESP32*; sebagai salah satu komponen penunjang robot
- 8) *Motor DC + Gear Box + Roda*; sebagai unit aktuator bagi robot

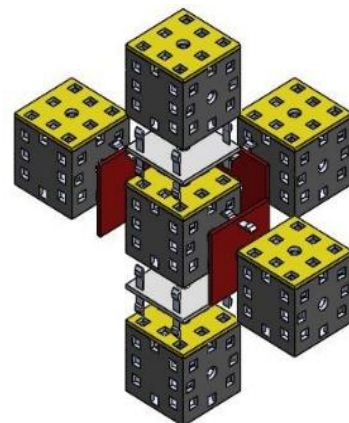
G. Konfigurasi yang Dapat Dibangun

Pada *main body* ataupun *single body* terdapat batasan konfigurasi dimana jumlah *body* yang dapat dipasangkan dengan *single body* dan *main body* berbeda-beda. Satu *main body* hanya dapat dipasangkan maksimal dengan 10 *single body* dengan menggunakan 4 *connector* atas bawah dan 6 *connector* samping. Gbr. 9 merupakan *exploded view main body* ketika dalam konfigurasi maksimal.



Gbr. 9 Konfigurasi maksimal satu *main body* dengan *single body*

Sementara satu *single body* hanya dapat dipasangkan maksimal dengan 5 *body* lain dengan menggunakan 2 *connector* atas bawah dan 3 *connector* samping. Gbr. 10 merupakan *exploded view single body* ketika dalam konfigurasi maksimal.



Gbr. 10 Konfigurasi maksimal satu *single body* dengan lain

IV. KONFIGURASI DAN PENGUJIAN

Beberapa konfigurasi robot telah berhasil disusun sesuai dengan kemungkinan arah penggabungan modul yang ada. Konfigurasi itu disajikan pada sub-bab berikut.

A. Pengukuran Gaya Assembly dan Disassembly

Untuk mengetahui gaya yang dibutuhkan dalam melakukan *assembly* produk, dilakukan pengukuran secara langsung menggunakan Gauge meter. Secara garis besar, hasil pengujian disajikan sebagai berikut:

1) *Assembly* dan *disassembly* pada tutup *body*, *connector* samping dan *Support*:

- besar gaya yang dibutuhkan untuk melakukan *assembly* 1 *cantilever snap-fit*: 10,29 N
- besar gaya yang dibutuhkan benda agar batang mengalami defleksi: 14,02 N

Jika dibandingkan dengan hasil perhitungan pada persamaan (6) maka selisih keduanya sebesar 1,8 N sehingga nilai hasil pengukuran mendekati nilai hasil perhitungan, yang berarti sudah cukup baik.

2) *Assembly* dan *disassembly* pada sambungan atas dan bawah:

- besar gaya yang dibutuhkan untuk melakukan *assembly* 1 *cantilever snap-fit*: 4,77 N
- besar gaya yang dibutuhkan benda agar batang mengalami defleksi: 6,49 N

Jika dibandingkan dengan hasil perhitungan pada Persamaan 10 maka selisih keduanya sebesar 1,81 N sehingga nilai hasil pengukuran mendekati nilai hasil perhitungan, yang berarti sudah cukup baik.

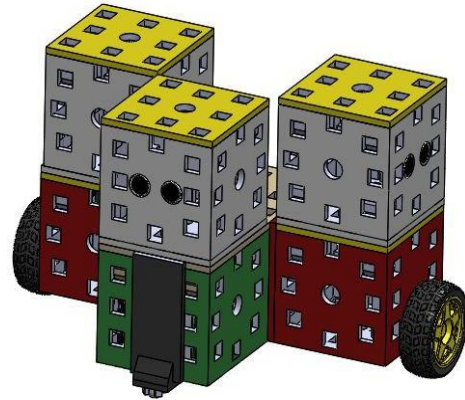
B. Helly Robot

Helly merupakan robot yang terinspirasi dari seekor anjing dengan tingkah lakunya yang menghampiri manusia ketika mendapatkan instruksi tertentu seperti suara atau gerakan tangan. Tampilan konfigurasi Helly ditunjukkan pada Gbr. 11. Helly akan bergerak menuju benda yang berada dalam jangkauan jarak 10-20 cm dari sensor pada robot tersebut. Untuk sensor depan robot, ketika sensor mendeteksi benda kurang dari 5 cm, maka robot akan mundur. Komponen penyusun robot Helly terdiri atas 1 *main body*, 2 *single body* motor dc, 3 *single body* sensor ultrasonik, 2 *connector* samping, 3 *connector* atas bawah, 2 *support motor dc*, dan 1 *support ball caster*. Gambar 19 merupakan konfigurasi dari robot Helly. Komponen-komponen pada robot Helly saling terhubung satu sama lain menggunakan kabel *jumper*. Gbr. 12 merupakan *wiring diagram* dari konfigurasi robot Helly.

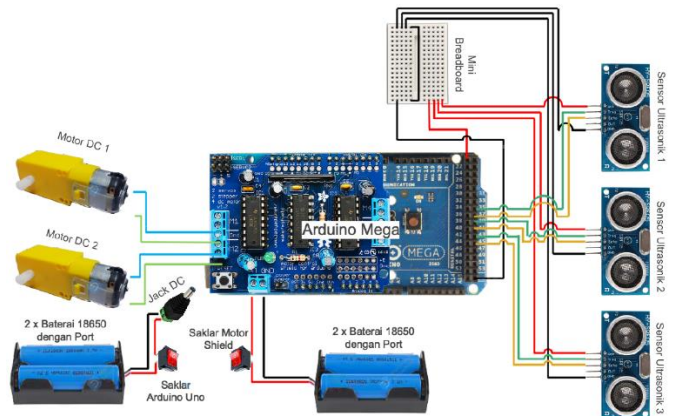
C. RC Car Robot

RC Car merupakan robot yang terinspirasi dari mobil yang beredar saat ini (seperti pada Gbr. 13). Robot RC Car dapat dikendalikan oleh *user* dan *user* dapat melihat lingkungan di depan robot melalui kamera yang ada. RC Car akan memberikan pengalaman seolah *user* berada di dalam robot tersebut dan secara langsung mengendalikan robot tersebut. Komponen penyusun robot RC Car terdiri atas 1 *main body*, 2 *single body* motor DC, 1 *single body* LED Matrix, 1

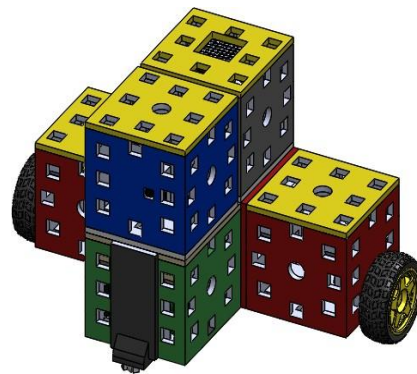
singlebody Camera, 2 *connector* samping, 2 *connector* atas bawah, 2 *support* motor DC, dan 1 *support caster ball*. Konfigurasi RC Car menggunakan 1 *main body*, 2 *single body* motor DC, dan 2 *connector* samping. Gambar 13 merupakan konfigurasi dari robot RC Car. Komponen komponen pada robot RC Car saling terhubung satu sama lain menggunakan kabel *jumper*. Gbr. 14 merupakan *wiring diagram* dari konfigurasi RC Car



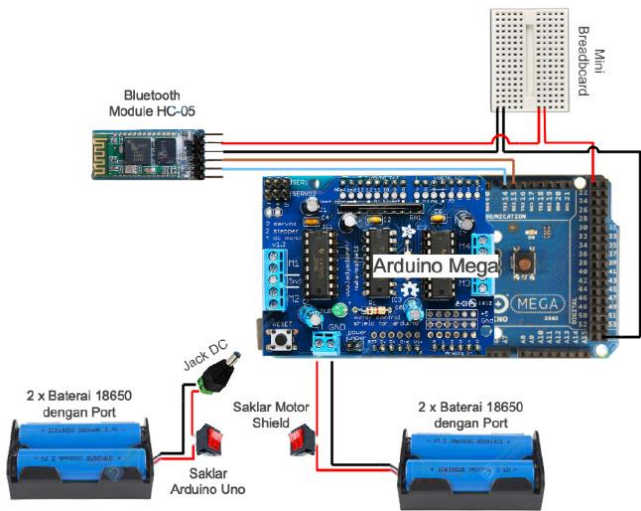
Gbr. 11 Konfigurasi robot Helly



Gbr. 12 Wiring untuk robot Helly



Gbr. 13 Wiring untuk robot RC Car



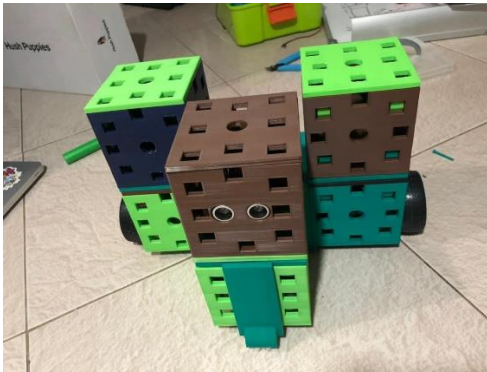
Gbr. 14 Wiring untuk robot RC Car

D. Pengujian Helly Robot

Sesuai dengan desain konfigurasi robot Helly pada Gbr. 11, komponen-komponen penyusun konfigurasi tersebut adalah:

- Main body
- 2 Single Body Motor DC
- 3 Single Body Ultrasonik
- 1 Support dengan Ball Caster
- 2 Support Motor DC
- 3 Connector atas dan bawah
- 2 Connector samping

Komponen tersebut dihubungkan satu sama lain sesuai dengan wiring diagram pada Gbr. 12. Sebelum komponen dihubungkan secara mekanik maupun elektrik, *coding* dari robot diupload ke Arduino Mega melalui program Arduino IDE menggunakan kabel USB. Gbr. 15 merupakan hasil dari penyusunan komponen-komponen tersebut.



Gbr. 15 Konfigurasi robot Helly yang telah disusun

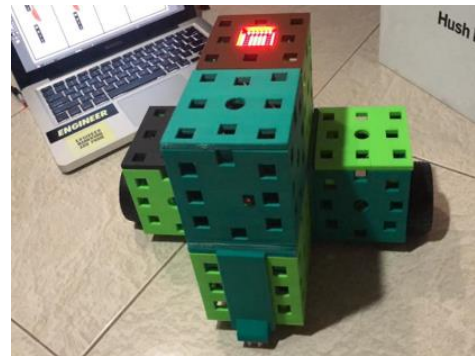
Robot Helly secara otomatis bergerak menuju benda yang berjarak 10-20 cm terhadap sensor ultrasonik. Prioritas gerak robot Helly adalah depan, kanan, dan kemudian kiri sehingga robot Helly mulai mendeteksi benda dimulai dari sensor ultrasonik pada bagian depan, kemudian sensor ultrasonik pada bagian kanan, dan kemudian sensor ultrasonik pada bagian kiri.

E. Pengujian RC Car Robot

Sesuai dengan desain konfigurasi RC Car pada Gbr. 13, komponen-komponen penyusun konfigurasi tersebut antara lain:

- Main Body
- 2 Single Body Motor DC
- 1 Single Body LED Matrix
- 1 Single Body Camera
- 1 Support dengan Ball Caster
- 2 Support Motor DC
- 2 Connector samping
- 2 Connector atas dan bawah

Komponen tersebut dihubungkan satu sama lain sesuai dengan wiring diagram pada Gbr. 14. Sebelum komponen dihubungkan secara mekanik maupun elektrik, *coding* dari robot diupload ke Arduino Mega melalui program Arduino IDE menggunakan kabel USB. Gbr. 16 merupakan hasil dari penyusunan komponen-komponen tersebut.



Gbr. 15 Konfigurasi robot Helly yang telah disusun

Untuk mengontrol RC Car, diperlukan sebuah *device* yang menggunakan *operating system android* dan memiliki aplikasi Blynk. Robot dihubungkan menggunakan konektivitas bluetooth antara Bluetooth module HC-05 pada *main body* dengan *device*. Beberapa kasus berhasil diujicobakan untuk robot RC Car pada berbagai kondisi input dari *user*. Robot RC Car bekerja dengan baik mengikuti input dari *user* sesuai dengan *coding* yang ter-upload.

Ketika mengendalikan Robot RC Car, *user* akan seolah-olah berada didalam robot karena dapat melihat lingkungan didepan robot dan dapat mengendalikan robot tersebut.

F. Uji Coba Perakitan Produk Oleh Anak-Anak

Uji coba perakitan produk dilakukan oleh anak laki-laki yang berumur 10 tahun dan 12 tahun. Tahapan yang dilakukan dalam pengujian perakitan produk antara lain:

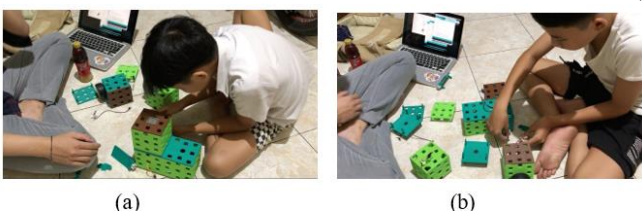
- Pemilihan konfigurasi yang akan dicoba.
 - Edukasi mengenai cara perakitan robot dan cara kerja robot.
 - Perakitan robot.
 - Uji coba robot.
- 1) *Pemilihan konfigurasi yang akan dicoba*: uji coba diawali dengan pemilihan konfigurasi oleh kedua anak tersebut dengan hasilnya yaitu konfigurasi RC Car yang dipilih,

- 2) *Edukasi mengenai cara perakitan robot dan cara kerja robot:* kemudian dilakukan penjelasan singkat mengenai cara perakitan dan cara kerja robot. Gbr. 16 merupakan proses penjelasan cara perakitan dan kerja robot oleh peneliti kepada kedua anak tersebut,



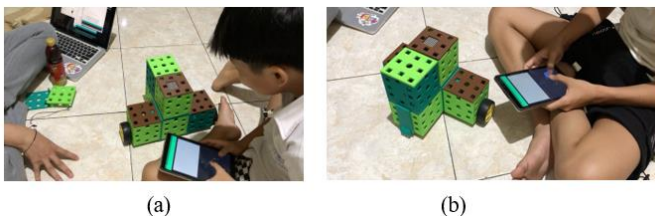
Gbr. 16 Penjelasan: (a) komponen main body dan (b) tutup main body

- 3) *Perakitan Robot:* Tahap selanjutnya dilakukan perakitan robot oleh anak tersebut dalam pengawasan peneliti. Gbr. 17 merupakan proses perakitan robot oleh kedua anak tersebut. Hasil dari tahap ini, robot dapat dirakit dalam waktu 5 menit oleh kedua anak tersebut,



Gbr. 17 Proses perakitan robot (a) oleh anak pertama, (b) anak kedua

- 4) *Uji coba robot:* Tahap selanjutnya dilakukan uji coba robot hasil perakitan oleh anak dan hasilnya robot bekerja sesuai dengan hasil uji coba sistem. Gbr. 18 merupakan proses uji coba robot hasil perakitan oleh kedua anak tersebut.



Gbr. 18 Proses ujicoba perintah gerak kepada robot

Dari hasil pengamatan peneliti serta *feedback* dari kedua anak tersebut mengenai tahap-tahapan yang dilakukan saat uji coba, tahap yang membutuhkan waktu cukup lama adalah tahap perakitan produk khususnya pada proses *wiring*. Hal ini disebabkan oleh ukuran kabel yang kecil sehingga sulit untuk dipegang. Untuk mengatasi hal ini, dapat digunakan kabel dengan ukuran yang lebih besar atau mengembangkan metode *wiring* antar komponen yang lebih efektif. Selain itu, menurut anak-anak tersebut produk ini cukup menyenangkan untuk dimainkan dan memberikan pengalaman menyenangkan dan ilmu baru mengenai cara kerja robot hasil rakitan mereka.

V. PENUTUP

Berdasarkan pada proses perancangan dan hasil uji coba produk edukasi berupa robot modular, maka dapat disimpulkan

1. Dengan menerapkan metode perancangan modular, maka proses perakitan robot edukasi menggunakan cantilever *snap-fit*, dapat dengan mudah dilakukan,
2. Modularitas memberikan kebebasan bagi pengguna robot edukasi untuk mencoba berbagai konfigurasi yang diinginkan,
3. Pengguna anak-anak mendapatkan kesempatan baru yang sangat menginspirasi mereka untuk mengenal dasar elektronika dan robotika sejak usia dini,
4. Konsep modularitas dapat dikembangkan lebih lanjut dengan mengusulkan model komponen *connector* berupa ruang (volume) bukan hanya bidang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Jurusan Teknik Elektro Kons. Mekatronika Unpar, atas dukungan peralatan dan material untuk merealisasi proses pembuatan robot modular ini.

REFERENSI

- [1] Epicor, *What is Industry 4.0 and The Industrial Internet of Things*. [Online]. Available: <https://www.epicor.com/en-id/resource-center/articles/what-is-industry-4-0/>
- [2] W. E. Forum, *The Future of Jobs: Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution*, 2016. [Online]. Available: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs.pdf
- [3] KEMENPERIN, *Making Indonesia 4.0: Strategi RI Masuki Revolusi Industri Ke-4*, Mar 2018. [Online]. Available: <https://kemenperin.go.id/artikel/18967/Making-Indonesia-4.0--Strategi-RI-Masuki-Revolusi-Industri-Ke-4>
- [4] D. Welle, *Pengembangan Robot Cerdas*. [Online]. Available: <https://www.dw.com/id/pengembangan-robot-cerdas/a-2957931>
- [5] R. Lueder and V. J. B. Rice, *Ergonomics For children: Designing Products and Places For Toddlers To Teens*. Taylor Francis, 2008
- [6] C. A. Division, *Child Strength First Report*, Oct 2000. [Online]. Available: <https://www.humanics-es.com/strength.pdf>
- [7] E. Setiawan, "Kamus besar bahasa indonesia (kbbi)." [Online]. Available: <https://kbbi.web.id/modular>
- [8] C. Higgins, *How Many Combinations Are Possible Using 6 LEGO Bricks*, Feb 2017. [Online]. Available: <https://www.mentalfloss.com/article/92127/how-many-combinations-are-possible-using-6-lego-bricks>
- [9] G. Fisher, *CAD Modeling - Snap Fits*. [Online]. Available: <https://www.3dhubs.com/blog/cad-modeling-3-snap-fits/>
- [10] A. Sandoval, *How to Design Snap Fit Joints in Plastic Parts*, Nov 2020. [Online]. Available: <https://www.smlease.com/entries/plastic-design/how-to-design-snap-fit-joints-in-plastic-parts/>
- [11] M. J. Troughton, Ed., *Handbook of Plastics Joining (Second Edition)*. Boston: William Andrew Publishing, 2009. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780815515814500202>
- [12] M. J. Troughton, *Handbook of plastics joining: a practical guide*. William Andrew, 2008
- [13] eSun, *Safety Datasheet PLA*. eSUN, Aug 2014. [Online].
- [14] W. Pawlak, *Wear and Coefficient of Friction of PLA - Graphite Composite in 3D Printing Technology.*, 05, 2018