JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa), Vol. 8, No. 1, Juni 2023, Hal. 9-18
Terakreditasi "**Peringkat 3**" oleh Kemenristek/BRIN, Nomor SK: 85/M/KPT/2020
DOI: 10.31544/jtera.v8.i1.2023.9-18
p-ISSN 2548-737X
e-ISSN 2548-8678

Perancangan Awal *Body* dan Sistem Gerak dari Model Robot Ulat

Bagus M. Arthaya[1#], Hanky Fransiscus[2], Aditya Prakoso[3]
[1]Program Studi Teknik Mekatronika, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan
[2,3]Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan
Jl. Ciumbuleuit 94 Bandung, Indonesia
[#]bagusart@unpar.ac.id

Abstrak

Robot melata (ular/ulat) merupakan contoh robot dengan tingkat redundasi tinggi, dimana jenis robot ini cocok digunakan pada lingkungan yang sangat terbatas dan rumit serta memiliki tingkat risiko bahaya yang tinggi. Robot melata layaknya ular dapat digunakan pada penjelajahan berbagai kawasan rumit, seperti lubang-lubang kecil, celah-celah sempit, daerah runtuhan kebakaran dan lain-lain. Secara umum tujuan penelitian ini adalah untuk merancang robot ulat (*caterpillar*) dengan pola gerakan merayap. Pada tahap awal, penelitian ini difokuskan pada perancangan modul *body* robot ulat yang dibuat dengan teknik 3-D *printing* dan penentuan sikuensi gerak dasar yang harus dikendalikan. Sebuah robot ulat dibangun dari modul-modul *body* yang dapat mengakomodasi dan merealisasi konsep gerak melata. Gerakan maju direalisasi dengan model *rolling* pada modul akhir dan gerak angkat pada modul-modul di depannya. Sistem kendali nantinya harus dapat menjamin keserasian gerak antar modul *body* dan harus mampu melakukan satu siklus gerakan maju yang dilakukan oleh semua modul *body* yang ada. Rakitan modul *body* robot ini dibuat dengan *printing* difusi dan baru dapat menujukkan pola dasar gerakan maju sederhana. Hasil penelitian menggunakan sistem kendali sederhana menunjukkan gerakan sinkron antar modul *body* yang berkomunikasi dari posisi akhir hingga posisi awal. Hal lain yang diamati adalah gerak maju dari unit terakhir ke arah unit terdepan yang mampu menghasilkan perpindahan linier yang masih tersendat.

Kata kunci: robot ulat, merayap, sikuensi gerak, 3-D *printing*

Abstract

The crawling robot (snake/caterpillar) is an example of a robot with a high level of redundancy which this type of robot is suitable for use in a very crucial and complex environment and has a high level of danger risk. A snake-like robot can be utilised in exploring various delicate areas, such as small holes, narrow crevices, fire debris areas, and others. In general, the purpose of this research is to design a caterpillar-like robot with a crawling movement pattern. In the early stages, this work focuses on designing a caterpillar robot body module made with a 3-D printing technique and determining the basic motion sequences that must be controlled. A caterpillar robot consists of body modules that can accommodate and realize the concept of creeping motion. Forward movement is realised with a rolling model on the end module and lifting motion on the modules in front side. The control system must be able to guarantee the synchronised motion between body modules and must be able to carry out one cycle of a forward movement carried out by all existing body modules. This robot body module assembly is made with diffusion printing and can only show the basic pattern of simple forward movement. The preliminary results of this work using a simple control system illustrates synchronous motion between body modules that communicated from the end modul to the initial one. Another phenomenon observed is the forward motion of the last unit towards the leading unit produces a linear displacement although it is still stuttering.

Keywords: *caterpillar robot, crawling, sequence of movements, 3-D printing*

I. PENDAHULUAN

Pada Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 tentang penanggulangan bencana pasal 1 disebutkan bahwa, "bencana alam adalah bencana yang diakibatkan oleh peristiwa atau serangkaian peristiwa yang disebabkan oleh alam antara lain berupa gempa bumi, tsunami,

Diterima: 11 November 2022; Direvisi: 27 Mei 2023; Disetujui: 27 Juni 2023
JTERA, Vol. 8, No. 1, Juni 2023

© 2023 JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa), Politeknik Sukabumi

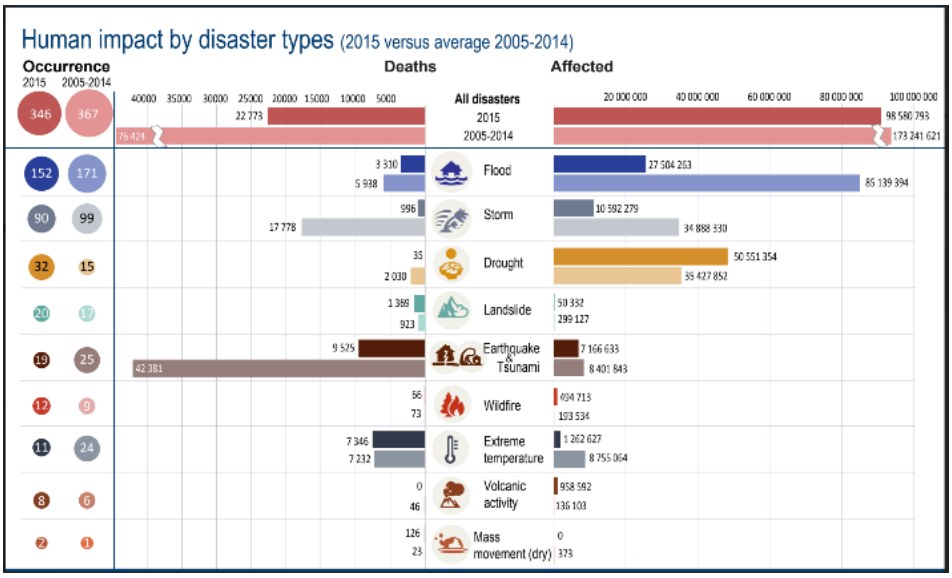
gunung meletus, banjir, kekeringan, angin topan dan tanah longsor." Gambar 1 menunjukkan fakta bahwa gempa bumi dan tsunami merupakan dua bencana alam yang paling mematikan di seluruh dunia [1]. Gempa bumi menjadi bencana yang paling mematikan karena tidak dapat diprediksi dan memiliki dampak area yang cukup besar. Tindakan penyelamatan korban yang terjebak di dalam reruntuhan tidak mudah dan umumnya dilakukan dalam waktu yang cukup lama. Hal tersebut terjadi karena tidak diketahuinya secara pasti lokasi korban yang membutuhkan bantuan.

Proses pencarian korban saat ini umumnya masih mengandalkan suara teriakan dari korban, Perkiraan dimana keberadaan korban dan teknik penciuman anjing. Seiring berjalannya waktu korban akan mengalami kelelahan sehingga tidak mampu lagi berteriak. Akses yang berbahaya juga menyebabkan manusia ataupun anjing tidak diperkenankan memasuki area bencana. Dengan teknologi sekarang, *drone* mungkin dapat digunakan untuk membantu proses pencarian. Namun, terbatas pada yang ada di atas permukaan saja. Oleh karena itu diteliti suatu robot untuk membantu proses pencarian korban di dalam reruntuhan.

Contoh sukses pengembangan robot antara lain adalah *mobile robot* atau banyak juga disebut dengan nama robot bergerak yang merupakan suatu perangkat/fasilitas produksi yang sangat penting pada kegiatan manufaktur untuk menghasilkan suatu produk bersama-sama dengan perangkat pendukung produksi lainnya seperti mesin CNC, *Articulated robot* (*fixed robot*), ASRS (*Automated Storage/Retrieval System*) dan sebagainya. Kemampuan kolaborasi dan koordinasi pelaksanaan tugas yang tepat di antara semua perangkat itu, membuat proses produksi akan berjalan dengan sempurna dan semua perangkat pendukung produksi dapat berfungsi secara maksimal. Untuk tujuan pemakaian robot di luar ruangan, sering kali bentuk robot yang digunakan agak berbeda, misalnya robot ular, bentuk seperti kuda, robot terbang seperti burung dan sebagainya. Robot semacam ini cocok digunakan pada situasi genting, seperti pemantauan cuaca, bencana dan sebagainya.

Dalam upaya evakuasi di daerah kebakaran, tsunami dan lain-lain, sering kali dibutuhkan alat bantu untuk memonitor kawasan yang mungkin masih terdapat korban yang terjebak di area yang sulit dijangkau. Untuk tujuan tersebut, perangkat yang cocok sebagai unit pratama pendeteksi/pencari korban adalah robot seperti ular. Robot ini diharapkan mampu melakukan penjelajahan ke berbagai lokasi yang rumit, seperti lubang-lubang kecil, celah-celah sempit akibat reruntuhan kebakaran [2]. Kebutuhan penjejakan lainnya adalah pemanfaatan robot ular untuk menelusuri sistem pemipaan dari kemungkinan kebocoran ataupun adanya penyumbatan pada suatu *refinery* atau industri proses lainnya [3].

Dari berbagai bentuk robot industri, robot melata merupakan suatu bentuk fisik robot yang sangat menarik perhatian para peneliti robotika akhir-akhir ini. Gerakan melata dapat direalisasi dengan berbagai modus gerak, seperti gerakan menekuk segmen tubuh, gerak peristaltik, gerakan sejenis *concertina-like*, gerakan melenggang-lenggok dan lain-lain [4]-[7]. Dalam penelitian ini, gerakan menekuk segmen tubuh (merayap) robot melata akan dibahas sehingga dihasilkan gerakan dasar dalam merealisasi gerak translasi dan manuver arah *pitch.*



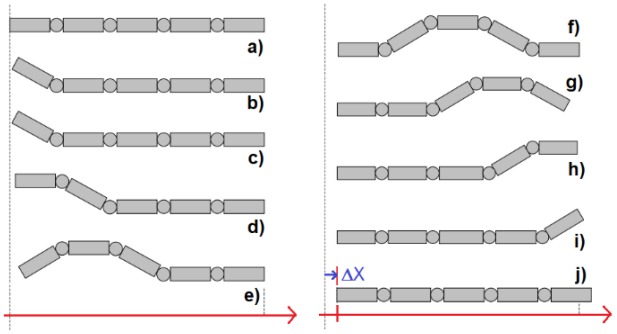
Gambar 1. Jumlah kematian akibat bencana alam di seluruh dunia

Penelitian robot ular yang dilakukan dalam [4] memanfaatkan pola gerakan menekuk bagian tubuh seperti orang membungkuk. Untuk dapat melakukan gerakan tekuk itu, maka harus disiapkan beberapa segmen tubuh berupa modul yang mampu melakukan gerakan putar *pitch* seperti yang ditujukkan pada Gambar 2. Dari satu siklus gerak, terjadi perpindahan linier yang tergantung pada besar sudut tekuk dan panjang segmen tubuh tersebut. Tantangan utama robot ini adalah kondisi pada saat tiga (3) modul sedang terangkat di udara, motor pada modul ke-4 harus mampu manahannya.

Sementara [8] menunjukkan hasil penelitian yang memiliki kemiripan dengan Merino, dimana jumlah segmen *body* yang diangkat berbeda pola angkat, yakni antara 3-unit dan hanya 1-unit. Pola gerakan yang disajikan pada penelitian ini merupakan pola tengahan antara pola gerakan oleh [4] dan [8] dan lebih mirip dengan pola gerakan pada penelitian [3].

Pada penelitian [3] jumlah segmen *body* yang diangkat untuk menghasilkan gerakan translasi lebih sedikit, yakni hanya 1-buah dan selalu membentuk konfigurasi segitiga. Penelitian [9] menggambarkan pola gerak yang lebih mirip dengan yang akan dilakukan dalam penelitian ini, dimana segmen penghubung modul segmen yang terangkat dengan modul segmen yang menjejak (di kiri dan kanan) adalah unit modul yang kokoh.

Semantara rancangan robot seperti belalai gajah ditunjukkan dalam [10], dimana robot belalai ini memiliki redundansi hiper dan dapat menghasilkan gerak melengkung dan berbelok ke arah *pitch*. Rancangan robot ini ditujukan untuk tidak hanya mampu memeriksa area yang dapat dijangkau oleh robot mobil tetapi juga untuk memeriksa area yang tidak terjangkau seperti retakan kecil, dan sistem perpipaan dengan menggunakan kamera yang dipasang pada ujung model belalai gajah diatas robot mobil tersebut.

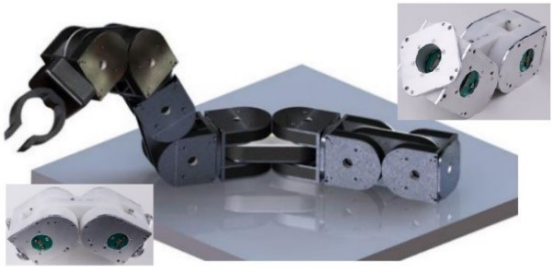


Gambar 2. Pola gerakan menekuk tubuh robot ular untuk menghasilkan gerak linier [4]

Universitas California Davis dengan IMobot telah mengkomersilkan robot modular yang akan memungkinkan peneliti studi bidang robotika seperti robot AI, biomimetika, dan kolaborasi robot tanpa harus membangun perangkat keras itu sendiri [11]. Robot hasil pengembangan G. Ryland dan H. Cheng ini dimaksudkan untuk mengisi celah di pasar untuk mesin modular bagi penelitian. Modul bisa dihubungkan menjadi bentuk robot seperti ular yang dapat menggeliat pada medan tidak rata, atau bentukan yang lebih besar yang dapat bergerak di atas roda (Gambar 3). Setiap modul memiliki standar dudukan ke modul lain dan modul sensor dapat ditambahkan dalam konfigurasi terbatas.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang robot ulat (semacam *caterpillar*) yang mampu melakukan gerakan merayap (sikuensi gerak) dengan menekuk segmen tubuh dari bagian ekor (akhir) sampai bagian kepada (depan) robot. Kegiatan penelitian dimulai dengan fokus pada perancangan modul *body* robot ulat dan penentuan sikuensi gerak dasar yang harus direalisasi dengan kendali tertentu. Robot ini dibangun dari serangkaian modul *body* untuk dapat merealisasi konsep gerak melata.

Gerakan maju direalisasi mulai dengan model rolling dan dorong pada modul akhir (ekor) dan gerak angkat pada 2 modul di depannya. Pada saat itu juga 1 model di depannya, melakukan gerak relaksasi batang ke bawah. Suatu sistem kendali harus dapat menjamin keserasian gerak antar modul *body* dan harus mampu melakukan satu siklus gerakan maju yang dilakukan oleh semua modul *body* yang ada. Rakitan modul *body* robot ini dibuat dengan printing difusi dan baru dapat menujukkan pola dasar gerakan maju sederhana. Wahana *body* robot telah dirancang dengan perangkat Solidworks dan dibuat dengan mesin *printing* 3-D dan dengan menggunakan sistem kendali sederhana gerakan sinkron dihasilkan antar modul *body* yang berkomunikasi dari posisi ekor (akhir) hingga posisi kepala (awal). Hal lain yang diamati adalah gerak maju dari unit terakhir ke arah unit terdepan yang mampu menghasilkan perpindahan linier yang masih tersendat.



Gambar 3. Pola gerakan menekuk tubuh robot ular untuk menghasilkan gerak linier [11]

Kendala yang teramati adalah kemampuan dorong unit ekor (terakhir) tidak selalu mampu menghasilkan gerakan linier awal, dan adanya konflik jarak total rektilier antara tiga modul menekuk dengan jarak linier modul awal-akhir, dimana konflik jarak ini masih sulit diatasi. Solusi awal telah ditermukan dan dipertimbangkan untuk mengujian pada tahap penelitian selanjutnya.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian dimulai dengan identifikasi kebutuhan agar agar diketahui kebutuhan-kebutuhan atau fungsi yang harus dipenuhi dari produk yang akan dibuat, misal fungsi dan bentuk produk, cara kerja dan sebagainya. Hasil dari identifikasi kebutuhan selanjutnya akan dikembangkan menjadi spesifikasi produk. Spesifikasi merupakan deskripsi dari apa yang produk mampu lakukan, yakni metric yang merupakan karakteristik dari produk tersebut seperti dimensi, massa dan lain-lain sementara *value* merupakan nilai dari karakteristik tersebut. Pembuatan konsep dilakukan dengan pencarian solusi secara internal dan eksternal. Kemudian ditentukan konsep yang dianggap paling baik untuk memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan. Perancangan *prototype* dilakukan berdasarkan konsep yang telah ditentukan.

Pada tahap awal, dilakukan analisis kebutuhan bagi prototipe robot ulat ini sesuai dengan penjelasan di atas. Agar robot ulat dapat mencari korban di dalam reruntuhan, tentunya robot harus bergerak secara merayap. Oleh karena itu, robot harus fleksibel dalam bergerak di dalam reruntuhan. Tabel 1 merupakan rekapitulasi kebutuhan untuk robot yang akan diteliti. Setelah kebutuhan-kebutuhan diidentifikasi, dilakukan penentuan *metric* untuk memenuhi kebutuhan-kebutuhan tersebut yang disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 1. Rekapitulasi kebutuhan

No	Kebutuhan
1	Robot harus dapat dikendalikan secara *wireless* atau nirkabel
2	Robot harus mampu membawa peralatan identifikasi
3	Robot harus memiliki dimensi yang cukup kecil
4	Robot harus fleksibel dalam bergerak

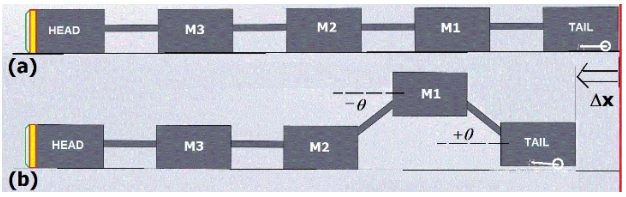
Tabel 2. *Metric*

Metric No.	*Need No.*	*Metric*	*Units*
1	1	Komunikasi robot menggunakan *wireless* dan ketersediaan *power supply*	*Binary*
2	1, 2	Minimum torsi motor	N-m
3	3	Dimensi modul robot	mm
4	4	Mekanisme pergerakan	*List*

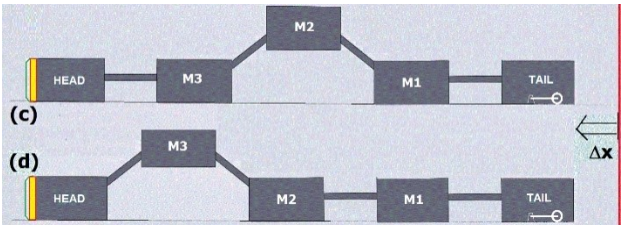
Kebutuhan pertama, robot harus dapat dikendalikan secara *wireless* dan ketersediaan *power supply* pada robot, dan digunakan *metric* berupa *binary agar* dapat diukur/diketahui ketersediaan atau tidaknya komunikasi *wireless* dan *power supply* tersebut. Kebutuhan selanjutnya berupa *metric* minimum torsi motor yang digunakan. Untuk ini harus ditentukan suatu nilai minimum torsi dari motor yang dihasilkan dan dapat diukur dengan unit N-m. Kebutuhan ketiga yaitu dimensi berupa *metric* dimensi modul robot dimana masing-masing modul yang dibuat maksimal sebesar 200 x 200 x 200 mm. Ukuran tersebut merupakan ukuran maksimum sebuah objek yang dapat dibuat dengan menggunakan 3D *printer* XYZ DaVinci 1.0. Ukuran ini juga harus memperhatikan ukuran modul akhir agar dapat memenuhi kebutuhan ketiga. Kebutuhan keempat dipenuhi dengan memilih mekanisme pergerakan yang dianggap memenuhi yakni mekanisme gerakan ulat. Menurut [12] binatang tidak berkaki seperti ulat memiliki keunggulan seperti dapat memasuki celah yang kecil, dapat memanjat bebatuan dan permukaan vertikal serta stabil. Oleh karena itu dibuatlah sebuah konsep robot yang mengadopsi mekanisme pergerakan ulat tersebut.

Penelitian [13]-[16] menjabarkan gerakan robot serupa ulat dengan model matematis dalam bentuk fungsi sinusoidal. Dikembangkan juga bagaimana teknik untuk memberikan perintah gerak berupa signal profil pengaktivasi gerak bepulsa berupa pulsa-pulsa dengan *duty-cycle* yang terkait dengan lembah-lembah fungsi sinus yang dirancang.

Pada tahap selanjutnya adalah merancang sikuensi gerak yang akan dilakukan oleh robot ditentukan terlebih dahulu. Karena penelitian ini adalah tahap awal perancangan robot ular, maka dilipih teknik yang mudah direalisasi dan akan memerlukan jumlah komponen minimal. Seperti yang disajikan pada Gambar 4, serangkaian segmen *body* robot (dalam hal ini 5-unit) akan mampu merepresentasikan gerakan ular.



Gambar 4. Awalan gerak maju dimulai dari gerakan unit akhir akibat aksi unit di depannya



Gambar 5. Gerak maju sejenis dilanjutkan ke unit-unit *body* di depannya

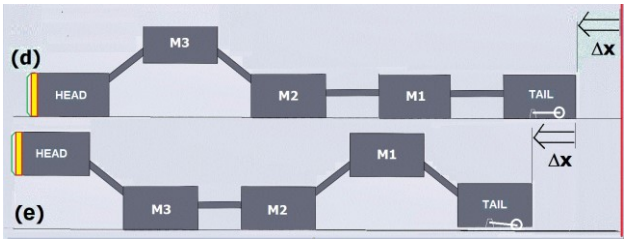
Untuk melakukan gerak maju sejauh ΔX, unit modul terakhir (ekor) akan tertarik 1-segmen jarak, akibat tuasnya menangkat M1 dan M1 aktif menekan ke bawah. Gerakan ini akan memaksa ekor maju dan untuk tujuan ini maka dalam modul ekor disiapkan gerak akat roda agar mudah terseret ke depan. Mekanisme ini memungkinkan segmen akhir dengan mudah bergerak tanpa gesekan.

Gerakan sejenis ini diulang secara berurutan kepada segmen di depannya. Segmen-segmen tersebut akan diangkat oleh di belakangnya segmen sesuai dengan urutannya dan akan secara natural pemindah ke depan-atas seperti yang dilakukan oleh M2 dan M3 pada Gambar 5.

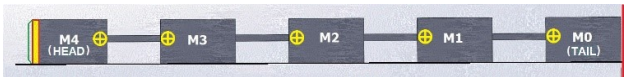
Pada saat M3 telah sampai pada saat aksi mengangkat kepala, pada saat itu juga segmen ekor akan melakukan tugas yang persis sama dengan yang dilakukan pada langkah awal seperti disajikan pada Gambar 6. Pada siklus ini dapat dilihat bahwa unit ekor sudah melakukan gerakan maju sejauh 2 kali ΔX. Pola gerakan ini akan membawa seluruh rangkain segmen *body* robot ini maju secara bertahap.

Untuk dapat menggerakkan sertiap modul *body* sesuai dengan rancangan pola gerak di atas, maka pada setiap modul *body* dipasang motor penggerak. Motor penggerak terakhir hingga 1 modul sebelum kepala memiliki fungsi yang sama, kecuali untuk modul kepala, tugasnya adalah untuk menjaga orientasi kepada agar selalu mengahadap ke depan.

Robot ini membutuhkan beberapa komponen untuk menggerakkan robot yaitu roda angkat, *microcontroller,* motor dan *power supply*. Roda angkat (gambar 5, di bagian ekor) yang digunakan yaitu *roller* Tamiya berukuran 13 mm. *Microcontroller* yang digunakan yaitu Arduino Uno. Pada awalnya motor yang akan digunakan



Gambar 6. Posisi unit terdepan (kepala) setelah semua unit melakukan aksinya



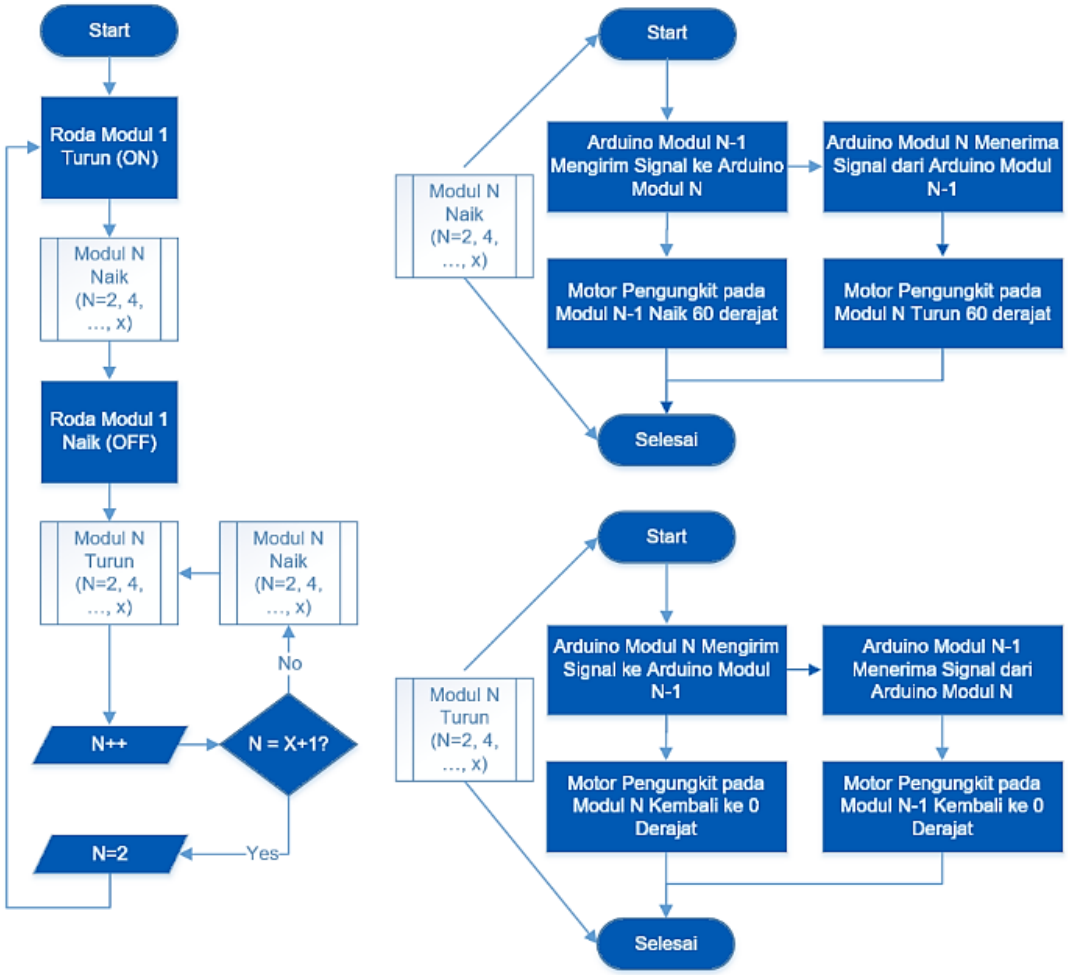
Gambar 7. Posisi peletakan motor penggerak untuk mengangkat modul

yaitu TowerPro SG90 (dengan torsi sebesar 0,18 N.m) namun diubah menjadi TowerPro MG995 yang menghasilkan torsi lebih besar (1,1 N.m), sementara *power supply* yang digunakan adalah baterai dengan tegangan 9 volt.

Gambar 7 menunjukkan peletakan motor yang akan digunakan untuk mengangkat setiap modul. Motor tersebut akan digunakan untuk mengangkat modul-modul sehingga pergerakan terjadi seperti pada Gambar 6 dapat direalisasikan. Pada modul akhir (ekor) juga akan terdapat motor yang berfungsi untuk menaik-turunkan roda.

Algoritma pergerakan robot dirancang berdasarkan sikuensi pergerakan yang terdapat pada Gambar 3, 4 dan 5. Pergerakan dimulai dengan menurunkan roda angat pada ekor. Kemudian M1 akan naik sehingga menyebabkan jarak antara ekor dan M2 semakin kecil dan hal ini akan menyebabkan ekor bergerak maju. Pada saat M1 berada di atas, roda pada ekor akan turun untuk menahan konfigurasi ini sehingga diharapkan ekor tidak akan kembali ke tempat asalnya. Kemudian M1 akan turun dan M2 akan naik. Hal tersebut diulang sampai modul paling depan (kepada) naik. Bersamaan dengan aksi ini, maka M3 secara bersamaan akan mengirimkan signal ke modul paling belakang (ekor) untuk memulai kembali siklus gerak robot. Algoritma pergerakan robot ulat itu disajikan dalam bentuk diagram alir pada Gambar 8.

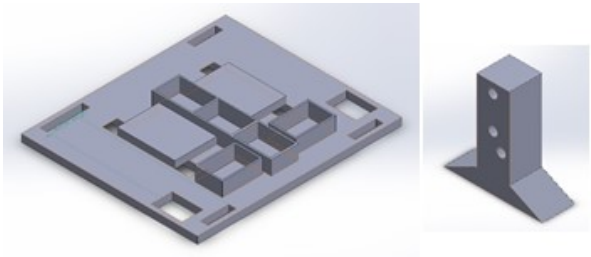
Pada algoritma yang dirancang terdapat dua buah subproses yang terjadi. Subproses pertama adalah modul ke-N bergerak naik dan modul ke-N bergerak turun. N merupakan nomor modul yang akan bergerak naik atau turun pada saat tertentu dan x merupakan jumlah modul yang terdapat pada robot. Jumlah modul yang digunakan pada penelitian kali ini adalah 5 buah modul.



Gambar 8. Diagram alir pergerakan robot ulat

Subproses untuk menaikkan modul N adalah modul N-1 mengirimkan signal ke modul N agar modul N siap untuk bergerak naik. Kemudian modul N-1 akan menggerakkan motor pengungkitnya untuk naik 60 derajat. Ketika modul N menerima signal dari modul N-1 maka modul N akan menggerakkan motor pengungkitnya untuk turun sebesar 60 derajat. Hasil pergerakan kedua motor tersebut maka modul N akan terangkat.

Subproses untuk menurunkan modul N adalah modul N mengirimkan signal ke modul N-1 agar modul N-1 siap untuk menurunkan modul N. Kemudian modul N akan menggerakkan motor pengungkitnya untuk kembali ke 0 derajat. Perintah menurunkan pengungkit juga diberkan kepada N+1. Ketika modul N-1 menerima signal dari modul N maka modul N-1 akan menggerakkan motor pengungkitnya untuk kembali ke 0 derajat. Hasil pergerakan kedua motor tersebut maka modul N akan turun. Pengulangan gerakan ini berkali-kali akan dapat membawa *body* robot ulat bergerak ke depan secara bertahap.



Gambar 9. Komponen *base* bagian belakang dan tiang penyangga motor

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada kajian ini dibuat tiga buah set komponen penyusun modul yaitu, set khusus untuk modul belakang (ekor), set untuk smodul tengah (umum) dan set untuk modul depan (kepala). Gambar 9 merupakan komponen *base* untuk modul belakang (ekor).

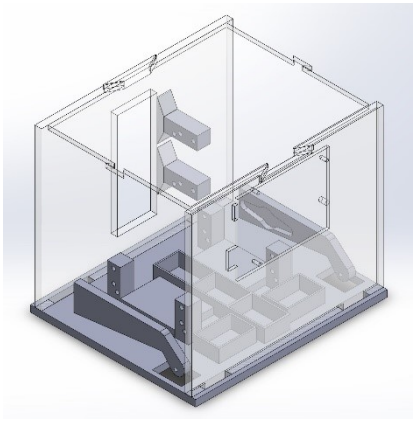
Komponen *base* akan dibuat dengan menggunakan struktur *honeycomb* agar lebih ringan dan menggunakan jumlah material yang lebih sedikit. Sedangkan komponen tangkai penyangga motor ini akan dibuat dengan menggunakan

struktur *rectilinear* agar tidak akan patah seperti pada beberapa kali pengujian. Prototipe yang dibuat menggunakan material *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS), dimana ABS merupakan salah satu jenis plastik yang cukup kuat sehingga ketebalan 5 mm dianggap cukup memadai.

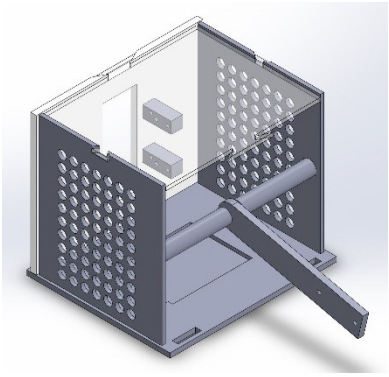
Gambar 10 merupakan tampilan hasil *assembly* untuk modul belakang. Pada modul belakang akan terdapat *microcontroller* Arduino Uno, satu buah TowerPro SG90 sebagai motor pengungkit, dua buah TowerPro MG995 sebagai motor untuk menaik-turunkan roda angkat serta lima buah baterai 9 Volt sebagai *power supply*.

Gambar 11 merupakan tampilan hasil *assembly* untuk modul tengah. Pada modul tengah akan terdapat *microcontroller* Arduino Uno dan satu buah TowerPro SG90 sebagai motor pengungkit. Power penggerak didapatkan dari modul belakang.

Semua modul kemudian di-*print* dan ditimbang untuk mengetahui massa aktual modul tersebut. Didapatkan massa modul tersebut bersama sebuah Arduino Uno dan motor TowerPro SG90 adalah sebesar 300 gram. Kemudian dilakukan perhitungan momen yang dibutuhkan untuk mengangkat modul. Perhitungan dilakukan dengan dua skenario. Skenario pertama adalah pengangkatan modul depan dan skenario kedua adalah pengangkatan modul tengah. Berdasarkan perhitungan motor TowerPro SG90 tidak mampu untuk mengangkat modul depannya sehingga motor itu diganti dengan TowerPro MG995. Motor MG995 memiliki massa 55 gram. Akibat penggantian motor tersebut maka pusat massa modul akan berubah. Gambar 12 menunjukkan pergeseran titik pusat massa modul.



Gambar 10. Hasil *assembly* modul belakang (ekor)



Gambar 11. Hasil *assembly* model tengah

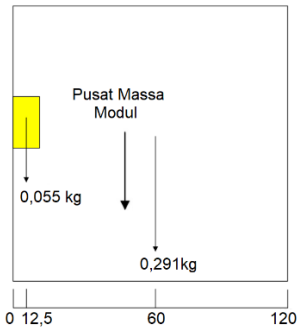
Mengacu pada (1), perhitungan pusat massa modul yang baru dihitung sebagai berikut:

$$X = \frac{\Sigma(m_i \times x_i)}{\Sigma\, m_i} \qquad (1)$$

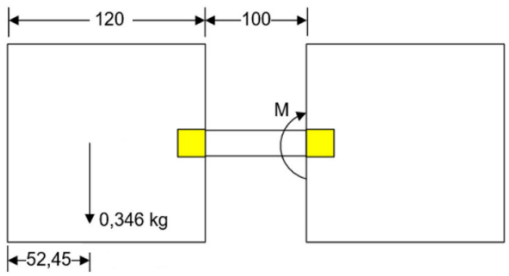
$$X = \frac{0{,}055 \times 12{,}5 + 0{,}291 \times 60}{0{,}055 + 0{,}291} = 52{,}45$$

dimana
X : koordinat pusat massa total
m_i : massa komponen-i
x_i : koordinat komponen-i yang terdapat pada

Berdasarkan perhitungan diketahui bahwa pusat massa baru berada pada koordinat 52,45 mm dari titik ujung kiri modul (Gambar 11) dan nilai massa yang baru adalah 0,346 kg. Oleh sebab itu dilakukan perhitungan momen ulang yang dibutuhkan untuk mengangkat modul sebelah kiri untuk kedua skenario sesuai Gambar 13 dengan asumsi percepatan gravitasi sebesar 10 m/s^2.



Gambar 12. Titik pusat massa modul dengan motor TowerPro MG995



Gambar 13. Ilustrasi perhitungan momen dengan motor TowerPro MG995

$$M = 0{,}346\ kg \times 10\frac{m}{s^2} \times 0{,}16755\ m = 0{,}5797\ N.m$$

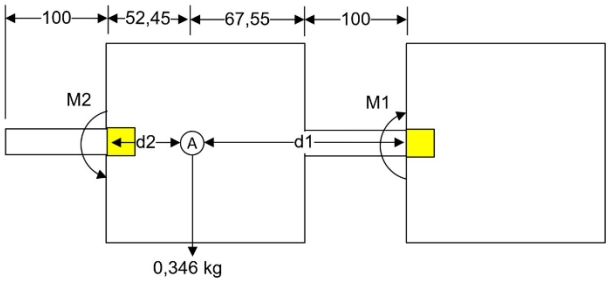
Dengan pengertian setiap momen pada motor diperlukan untuk mengangkat modul sederhana seperti pada Gambar 12, maka pada saat pasangan modul M1 dan M2 (ataupun M2 dan M3) sedang aktif, maka model beban yang harus ditangani disajikan seperti pada Gambar 14.

$$M2 + 3{,}46 \times 10 \times 0{,}1676 = M1$$
$$0{,}5797 + 0{,}5797 = M1$$
$$M1 = 1{,}159\ N.m$$

Perhitungan di atas memasukkan momen M2 yang sebenarnya terjadi saat modul kiri sudah terangkat, sementara bila belum maka momen sebesar M2 belum terjadi. Berdasarkan hasil perhitungan momen yang harus dihasilkan oleh motor pengangkat, maka motor TowerPro MG995 dengan torsi sebesar 1,1 N.m mampu mengangkat modul tersebut.

Struktur fisik modul *body* dirancang untuk merealisasi gerakan dasar merayap dan juga dapat mengakomodasi penempatan komponen-komponen elektronika serta unit penggerak yang diperlukan. Secara fisik, modul *body* ini dibuat dengan teknologi 3D-printing dengan tujuan kemudahan proses pembuatan dan memanfaatkan teknik perakitan yang sederhana tetapi kokoh. Dalam proses printing 3D harus diperhatikan bentuk fitur yang ada/akan diprint, misalnya arah lubang harus menghadap ke atas, serta kerumitan fitur produk lain yang sangat tergantung dari fitur yang akan dibuat.

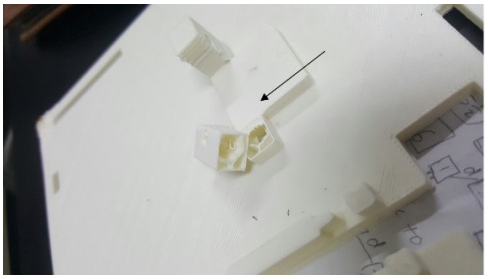
Pada evaluasi awal didapatkan bahwa motor TowerPro SG90 yang digunakan untuk menaik-turunkan roda tidak mampu melakukan tugasnya. Motor tersebut diganti dengan TowerPro MG995 yang memiliki kemampuan lebih tinggi. Kemudian perlu ada bagian yang dipisah dari komponen modul bagian dasar (*base*) karena terdapat bagian yang patah akibat struktur *honeycomb* menerima gaya dari arah yang tidak tepat seperti ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 14. Ilustrasi perhitungan momen motor saat sepasang modul sedang aktif

Setelah semua modul *body* robot behasil dibuat dan dirakit, kemdian prototipe robot ulat diuji coba untuk berjalan pada permukaan yang rata. Pada uji coba ini permukaan tersebut terbuat dari kardus. Gambar 16 merupakan posisi awal pengujian prototipe model robot ulat ini.

Pergerakan diawali dari gerak maju modul belakang (ekor) bersamaan dengan gerak angkat madul M1. Saat M1 terangkat, modul ini juga menurunkan tuas depannya (menjadi tuas tekan) dan menghasilkan gerak maju modul belakang. Saat sikuensi kedua dilakukan, modul M2 harus mengubah orientasi tuasnya menjadi tuas angkat, terjadi ketidak seimbangan posisi, sehingga gerakan menjadi tidak beraturan. Hal ini bisa terjadi karena realisasi gerakan yang sebenarnya berpola segi-3 itu tidak mudah dilakukan, karena adanya kontraksi jarak saat memiliki konfigurasi datar dan konfigurasi segi-3. Pola gerak saat M1 dan M3 akrif ditunjukkan pada Gambar 17.



Gambar 15. Kondisi *base* yang patah akibat gaya yang datang telalu besar



Gambar 16. Posisi awal pengujian prototipe



Gambar 17. Kondisi saat modul M1 terangkat dan M3 sedang turun



Gambar 18. Konfigurasi saat 1 siklus gerak terlewati

Prototipe tersebut dibiarkan berjalan selama 2 menit. Dalam jangka waktu 2 menit tersebut, prototipe berhasil bergerak maju sejauh 140 mm dengan beberapa sikusensi gerak yang belum sempurna. Posisi akhir prototipe dapat dilihat pada Gambar 18.

Pergerakan model robot ini saat ditinjau pada setiap satu rentetan gelombang gerak dari mudul akhir hingga terdepan, dihasilkan permindahan jarak sejauh 70 mm. Pada saat modul terdepan (kepala) menginjakkan diri ke lantai, modul lain dibelakangnya juga ada yang sedang merealisasi rentetan gelombang gerak selanjutnya.

Dibanding konsep yang disajikan oleh [4], kemiripan yang ada adalah bentuk pola konfigurasi gerak segi-3 yang identik. Perbedaannya adalah gerak awal ekor dimulai dengan gerak angkat ekor sebesar sudut θ, baru dilanjutkan dengan gerak angkat modul di depannya. Sementara gerak maju ekor pada [8] sangat identik, tetapi pola gerak segi-3 nya berbeda dimana terdapat 2 modul diangkat secara bersamaan.

Secara struktural rancangan dan realisasi modul *body* dalam penelitian ini menjadi lebih rapuh dibandingkan dengan *body* pada penelitian [3], [4], [8] dan [9]. Hal tersebut terjadi karena segmen penghubung antara modul di dasar dengan modul yang sedang terangkat berupa segmen modul *body* yang memiliki rigiditas yang memang lebih tinggi. Sedangkan pada penelitian ini, segmen penghubung adalah batang penghubung (batang 2-gaya) sederhana saja. Perbaikan rigiditas modul *body* dapat diperbaiki dengan mengadopsi bentuk *body* yang disajikan pda model-model fisik pada penelitian [17] dan [18].

IV. KESIMPULAN

Desain awal robot ulat untuk tujuan membantu proses pencarian korban bencana alam di dalam reruntuhan adalah rancangan robot dengan dua macam kelompok modul yaitu modul belakang dengan mekanisme untuk menaik-turunkan roda, modul tengah dan modul depan yang merupakan modul tengah yang ditaruh secara berurutan. Dimensi desain modul tersebut dapat menampung motor MG995, *microcontroller* Arduino Uno dan 5 buah baterai 9 Volt. Rancangan produk yang menggunakan teknik 3D *printing* dalam proses pembuatannya adalah desain modular dengan lubang yang akan di-*print* menghadap arah atas dan bila terdapat lubang dengan ukuran yang berbeda pada sisi berlawanan maka lubang dengan dimensi lebih besar berada harus berada di atas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) UNPAR atas pendanaan yang diberikan sehigga kajian tentang pembuatan prototipe robot ulat dapat dilaksanakan. Perjanjian kontrak No: III/LPPM/2016-02/72-P.

REFERENSI

[1] EM-DAT (25th January 2016): The OFDA/CRED - International Disaster Database, Université catholique de Louvain Brussels – Belgium, https://www.emdat.be (diakses: 19 Agustus 2016)

[2] M. Yim, D. G. Duff, and K. Roufas, "Modular Reconfigurable Robots, an Approach to Urban Search and Rescue," *In Proceedings of the 1st Intl. Workshop on Human-friendly Welfare Robotics Systems*, Taejon, Korea, Jan. 2000.

[3] R. S. Desai, C. J. Rosenberg, and J. L. J. Kaa, "An Autonomous Serpentine Robot Utilizes Behaviour Control," *In Proceedings of IROS'95*, 3: 250-255, 1995.

[4] C. S. Merino and S. Tosunoglu, "Design of a Crawling Gait for a Modular Robot," *Proceedings of the 17th Florida Conference on Recent Advances in Robotics*, University of Central Florida, Orlando, Florida, May 6-7, 2004.

[5] K. Wang, W. Gao and S. Ma, "Snake-Like Robot with Fusion Gait for High Environmental Adaptability: Design, Modeling, and Experiment," *Applied Sciences*, *MDPI*, vol. 7, pp. 1133, 2017.

[6] A. A. Biewener & S. N. Patek, *Animal Locomotion*. Oxford University Press, 2018.

[7] V. S. Rajashekhar, S. Kumar, "Design of a Snake Robot to exhibit Rectilinear Motion on Floor and Inside Pipes," *2nd International and 17th National Conference on Machines and Mechanisms* (iNaCoMM2015-71), 2015.

[8] P. Chavan, et. al., "Modular Snake Robot with Mapping and Navigation," *2015 International Conference on Computing Communication Control and Automation*, pp. 537-541, 2015.

[9] B. W. Spranklin, "Design, Analysis, And Fabrication of a Snake-Inspired Robot with a Rectilinear Gait, *Master of Science Thesis*, University of Maryland, 2006.

[10] A. Wolf, et. al., "A Mobile Hyper Redundant Mechanism for Search and Rescue Tasks," *Proceedings of the 2003 IEEE/RSJ Intl. Conference*

on Intelligent Robots and Systems, Las Vegas, Nevada, October 2003.

[11] https://www.beritateknologi.com/imobot-robot-modular-untuk-penelitian/ (diakses: 2 November 2022).

[12] J. K. Hopkins, B. W. Spranklin, and S. K. Gupta, "A Survey of Snakeinspired Robot Designs. Bioinspiration & Biomimetics", Diunduh dari iopscience.iop.org/1748-3190/4/2/021001 (diakses: 19 Oktober 2022).

[13] A. Chang, M. Serrano, P. Vela, "Shape-centric modeling of traveling wave rectilinear locomotion for snake-like robots," in: IEEE Conference on Decision and Control, Las Vegas, NV, 2016, pp. 7535–7541.

[14] A. H. Chang, S. Feng, Y. Zhao, J. S. Smith, P. A. Vela, Autonomous, Monocular, Vision-Based Snake Robot Navigation and Traversal of Cluttered Environments using Rectilinear Gait Motion, 2019, https://www.researchgate.net/publication/335291115.

[15] A. H. Chang, P. A. Vela, "Shape-centric modeling for control of traveling wave rectilinear locomotion on snake-like robots," Robotics and Autonomous Systems 124, pp. 1-18, 2020.

[16] A. H. Chang, P. A. Vela, In-Place Rotation for Enhancing Snake-like Robot Mobility, 2022, https://www.researchgate.net/publication/359156584.

[17] H. H. Cheng, Learning Robot Programming with Linkbot for the Absolute Beginner, UC Davis Center for Integrated Computing and STEM Education (C-STEM), University of California-Davis, http://c-stem.ucdavis.edu (diakses: 3 Nov. 2022)

[18] M. Zhao, T. Nishio, Generalized Design, Modeling and Control Methodology for a Snake-like Aerial Robot, Sensors 23, 1882, pp. 1-22, 2023.