

Sistem Navigasi Robot *Quadruped* 12 DoF dengan Algoritma Dynamic Programming

Achmad Firman Choiri
Program Studi Informatika
Institut Teknologi dan Bisnis Widya Gama Lumajang
Lumajang, Indonesia
firman@dosen.itbwigalumajang.ac.id

Samsul Arifin
Program Studi Sistem Komputer
Institut Teknologi dan Bisnis Asia Malang
Malang, Indonesia
samsul@asia.ac.id

Abstract— The quadruped robot that has 4 legs as a means of locomotion can move from the previous place because it has a degree of freedom (DOF) on each leg. Of the 3 DOFs, each leg requires an algorithm to be able to create a precise navigation system. This is done because quadruped robots are more difficult to find balance in maneuvering. After all, this robot only has 3 fulcrum points in each movement on one leg of the robot. Giving the right algorithm to each leg of the robot will create a fit of movement where 3 legs will always be the pedestal when 1 leg of the robot is being lifted to ensure the robot does not collapse. Supported by the right algorithm, it will produce a good navigation system for the robot. In this study, the servo used was the Hitec HS-645MG servo type. To support testing on the navigation system in this study is to use ultrasonic sensors as distance reading input sensors in supporting robots in the navigation process. So that the robot can be controlled according to the input of the ultrasonic sensor that is inputted so that the robot does not touch the obstacles around it. (Abstract)

Keywords— *Quadruped Robot; Navigation System; Legged Robot; Degree of Freedom.* (key words)

Abstrak— Robot quadruped yang memiliki 4 kaki sebagai alat gerak robot dapat melakukan perpindahan dari tempat sebelumnya karena memiliki degree of freedom (DOF) pada setiap kakinya. Dari 3 DOF pada setiap kakinya memerlukan algoritma untuk dapat menciptakan sistem navigasi yang tepat. Hal ini dilakukan karena pada robot quadruped lebih sulit dalam mencari keseimbangan dalam bermanuver karena robot ini hanya memiliki 3 titik tumpuan dalam setiap melakukan satu gerakan pada satu kaki robot. Dengan memberikan algoritma yang tepat pada setiap kaki robot akan menciptakan kesesuaian gerakan dimana 3 kaki akan selalu menjadi tumpuan disaat 1 kaki robot sedang diangkat untuk memastikan robot tidak roboh. Didukung dengan algoritma yang tepat maka akan menghasilkan sistem navigasi yang baik pada robot. Dalam penelitian ini servo yang digunakan adalah tipe servo Hitec HS-645MG. Untuk menunjang pengujian pada sistem navigasi dalam penelitian ini ialah menggunakan sensor ultrasonik sebagai sensor input baca jarak dalam mendukung robot dalam proses navigasi. Sehingga robot dapat di kontrol sesuai dengan inputan sensor ultrasonik yang di inputkan agar robot tidak menyentuh halangan yang ada di sekelilingnya.. (Abstrak)

Keywords— *Robot Quadruped; Sistem Navigasi; Robot Berkaki; Degree of Freedom.* (Keywords)

PENDAHULUAN

Robot memiliki sistem gerak yang digunakan untuk bermanuver seperti menggunakan roda dan kaki. Robot quadruped memiliki 4 kaki sebagai alat gerak robot dapat melakukan perpindahan dari tempat sebelumnya ke tempat lainnya karena memiliki degree of freedom (DOF)[1][2] pada setiap kakinya. Kebutuhan DOF pada setiap kaki sangat diperlukan sebagai sendi robot yang akan mempengaruhi sistem gerak robot dalam setiap melakukan manuver. Dari 3 DOF pada setiap kakinya memerlukan algoritma untuk dapat menciptakan sistem navigasi yang tepat. Hal ini dilakukan karena pada robot quadruped lebih sulit dalam mencari keseimbangan dalam bermanuver karena robot ini hanya memiliki 3 titik tumpuan dalam setiap melakukan satu gerakan pada satu kaki robot. Dibandingkan dengan robot hexapod yang memiliki 5 titik tumpuan sehingga keseimbangan pada robot lebih kokoh dari pada robot quadruped. Oleh karena itu robot yang memiliki lebih sedikit kaki lebih membutuhkan algoritma untuk mengoptimalkan sistem navigasi yang bagus pada robot.

Algoritma sistem navigasi robot quadruped untuk setiap kaki pada dasarnya mencari keseimbangan beban keseluruhan dari robot tersebut disaat robot sedang diam atau sedang melakukan gerakan [3][4][5] sehingga robot berpindah dari tempat sebelumnya. dengan memberikan algoritma yang tepat pada setiap kaki robot akan menciptakan kesesuaian gerakan dimana 3 kaki akan selalu menjadi tumpuan disaat 1 kaki robot sedang diangkat untuk memastikan robot tidak roboh. Didukung dengan algoritma yang tepat maka akan menghasilkan sistem navigasi yang baik pada robot.

Kontrol utama robot quadruped pada penelitian ini menggunakan dua buah mikrokontroler yang saling berkomunikasi atau terhubung, yaitu mikrokontroler ATmega8 dan mikrokontroler ATmega128 [6], [7]. Penggunaan dua buah mikrokontroler ini bertujuan untuk proses eksekusi program. Mikrokontroler ATmega8 digunakan untuk mengakses inputan berupa 6 buah sensor jarak Ultrasonik [8][9]. Sedangkan mikrokontroler ATmega128 digunakan untuk mengakses inputan dan output berupa tombol, LCD dan 12 motor Servo [10] dan juga sebagai pengeksekusi program utama.

Aktuator motor servo berfungsi sebagai sendi dengan mengacu pada tungkai kaki biologis. Struktur kaki terdiri dari tiga bagian utama yaitu coxa, femur dan tibia. *Coxa* atau pinggul mempunyai fungsi untuk menahan berat tubuh pada posisi statis (misalnya berdiri) dan dinamis (misalnya berjalan atau berlari). Beban terberat terdapat di bagian ini. *Femur* atau tulang paha memiliki fungsi sebagai penyanggung

antara coxa atau tulang pinggul dengan tibia atau tulang kering. Femur memberikan dukungan pada seluruh struktur rangka sehingga membantu dalam pergerakan kaki. *Tibia* atau tulang kering mempunyai fungsi membentuk engsel bersama dengan tulang paha yang disebut dengan lutut sehingga memungkinkan robot untuk berjalan, berlari dan menaiki tangga.

Penelitian-penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan penelitian ini berupa jurnal-jurnal dan beberapa referensi pendukungnya. Berbagai macam fokus penelitian dibidang robot quadruped mulai review berbagai macam jenis robot berkaki [12][13], menciptakan desain robot yang lebih efisien [5][14][15], desain kaki robot yang efisien [9][3][16][17][18], menanamkan algoritma dan metode pada robot untuk stabilisasi [3][19][20][21][22][23], tracking area, kontrol torsi pada kaki robot[2] Serta dapat berjalan di medan kasar maupun miring. [4] [10][24][18], [25][19]. Oleh karena itu melihat dari penelitian sebelumnya banyak sekali type dari robot akan tetapi yang sering diteliti adalah robot dengan jenis tubuh memanjang dengan mengadopsi hewan seperti kambing, angjing dan lainnya. Namun robot berkaki dalam penelitian ini mengadopsi bentuk dari laba-laba dengan kaki 4 dan mengangkat pembahasan tentang step by step langkah kaki robot. Maka diperlukan algoritma pendukung untuk

mengetahui dan menyusun bagaimana robot dapat berjalan dengan baik dan seimbang.

Penelitian ini menggunakan servo type servo Hitec HS-645MG [11]. Untuk menunjang pengujian pada sistem navigasi pada penelitian ini ialah menggunakan sensor ultrasonik sebagai sensor input baca jarak dalam mendukung robot dalam proses navigasi. Sehingga robot dapat di kontrol sesuai dengan inputan sensor ultrasonik yang di inputkan agar robot tidak menyentuh halangan yang ada di sekelilingnya.

Tujuan dalam penelitian ini diantaranya adalah mempelajari sistem navigasi robot berkaki quadruped, dengan mencari algoritma yang tepat untuk menciptakan sistem gerak yang memiliki kestabilan gait pada sistem navigasi robot berkaki quadruped dan memanfaatkan sensor ultrasonik SRF04 sebagai komponen pendukung dalam pengenalan jarak antara robot dengan benda lainnya. Dan manfaat yang diharapkan dapat diambil dalam penelitian ini yaitu dapat mengetahui algoritma sistem navigasi yang ditanamkan pada robot *quadruped*, Sistem gerak robot quadruped menjadi lebih baik dan stabil serta metode pergerakan robot dapat diamati dan dipelajari berdasarkan step by step pada saat robot bergerak.

TABEL I. RANGKUMAN PENELITIAN PENELITIAN SEBELUMNYA

Nama Peneliti / Tahun	Judul	Hasil Penelitian	Persamaan	Perbedaan
Gor, M. M., Pathak, P. M., Samantaray, A. K., Alam, K., Kumar, P., Anand, D., Vijay, P., Sarkar, R., Yang, J. M., Kwak, S. W /2018	Development of a compliant legged quadruped robot	Melakukan penelitian tentang robot quadruped tentang kontrol toleransi terhadap kesalahan pada sambungan kaki robot yang dapat mempengaruhi kinerja pada robot	Menggunakan robot quadruped	Kontroler, aktuator sebagai sendi berbeda dan fokus penelitian hanya pada sambungan kaki dengan 2 DOF
B. Wang, Z. Wan, C. Zhou, J. Wu, Y. Qiu, and Z. Gao/2019	A Multi-module Controller for Walking Quadruped Robots	melakukan eksperimen pengendalian gerak pada robot berkaki 4 dengan menggunakan Central Pattern Model (CPG) sebagai pengendalian robot dengan menjaga keseimbangan saat robot melakukan gerakan maju, mundur, berhenti, memutar, belok, dan gerakan lainnya	Robot berkaki 4 dengan menggunakan servo sebagai aktuator dan 12 DOF	Desain kaki berbeda dari tataletak servo yang digunakan dan menggunakan CPG yang diteliti
Wang, Miaocao, Zhu, Fulong, Xu, Yixin, Liu, Sheng/2018	Investigation of nanocutting characteristics of off-axis 4H-SiC substrate by molecular dynamics	Melakukan penelitian terhadap gerak robot menggunakan The traditional zero-moment point (ZMP) untuk menganalisis gerakan medan tidak beraturan sehingga dapat menentukan keadaan dan mengevaluasi stabilitas robot berkaki empat	Robot berkaki 4 menggunakan desain 12 DOF	Desain kaki robot, controller berbeda, dan melakukan analisa dan evaluasi stabilitas gerak robot
Zeng, Yinquan. Li, Junmin. Yang, Simon X. Ren, Erwei/2018	A bio-inspired control strategy for locomotion of a quadruped robot	Melakukan penelitian pada robot quadruped dengan mengadopsi model CPG dengan algoritma CNN dan dapat melakukan gerakan dengan model kaki WT	Robot berkaki 4	Pengendalian multi joint pada kaki robot dan menggunakan 8 DOF
Bledt, Gerardo. Powell, Matthew J. Katz, Benjamin. Di Carlo, Jared. Wensing, Patrick M. Kim, Sangbae/2018	MIT Cheetah 3: Design and Control of a Robust, Dynamic Quadruped Robot	Melakukan desain dan kontrol pada robot quadruped dengan model cheetah dengan pengembangan sebelumnya yang dapat menaiki tangga dengan baik	Robot berkaki 4	Desain dan model berjalan berbeda. Dan menggunakan 8 DOFs
Lee, Yoon Haeng. Lee, Young Hun. Lee, Hyunyong. Kang, Hansol. Lee, Jun Hyuk. Phan, Luong Tin. Jin, Sungmoon. Kim, Yong Bum. Seok, Dong Yeop. Lee, Seung Yeon. Moon, Hyungpil. Koo, Ja Choon. Choi, Hyouk Ryeol/2021	Development of a Quadruped Robot System with Torque-Controllable Modular Actuator Unit	Melakukan penelitian terhadap robot quadruped berkaki 4 dengan fokus meneliti sistem torsi pada robot di mana power torsi akan semakin tinggi berbanding lurus jika beban semakin berat	Robot berkaki 4	Desain dan model berjalan berbeda. Dan menggunakan 8 DOFs
Srinivas, Taarun. Madhusudhan, Adithya. Krishna Karigiri. Manohar, Lokeshwaran. Pushpagiri, Nikhit Mathew Stephen/2021	Valkyrie—design and development of gaits for quadruped robot using particle swarm optimization	Melakukan pengujian terhadap robot quadruped dengan menggunakan algoritma particle swarm untuk membuktikan efisiensi algoritma dan stabilitas robot terhadap jarak yang ditempuh robot ke posisi target dan gaya berjalan yang berbeda	Robot berkaki 4 dengan menggunakan servo sebagai aktuator	Desain dan model berjalan berbeda. Dan menggunakan 8 DOFs
Iqbal, Amir. Gao, Yuan. Gu, Yan/2020	Provably Stabilizing Controllers for Quadrupedal Robot Locomotion on Dynamic Rigid	Melakukan penelitian terhadap permukaan kau pada saat robot berjalan dengan melakukan simulasi pada sebuah beberapa aplikasi seperti MATLAB, dan desain sistem kontrol robot pada kaki	Robot berkaki 4	Desain dan model berjalan berbeda

Platforms	dapat berjalan dengan stabil seperti mengambang pada permukaan yang kaku	
-----------	--	--

TABEL I. (LANJUTAN)

Nama Peneliti / Tahun	Judul	Hasil Penelitian	Persamaan	Perbedaan
Aractingi, Michel. Léziart, Pierre Alexandre. Flayols, Thomas. Perez, Julien. Silander, Tomi. Souères, Philippe/2023	Controlling the Solo12 quadruped robot with deep reinforcement learning	Fokus penelitian pada robot quadruped adalah menanamkan metode learning pada robot untuk mengembangkan kontrol pada saat berjalan di medan luar ruangan dan dalam ruangan.	Robot berkaki 4	Desain dan model berjalan berbeda
Kim, Joonyoung. Kang, Taewoong. Song, Dongwoon. Yi, Seung Joon/2021	Design and control of a open-source, low cost, 3d printed dynamic quadruped robot	Melakukan penelitian terhadap desain robot quadruped mengadopsi model cheetah, membangun dengan low cost budget menggunakan plastic yang di bentuk dengan 3D Printing	Robot berkaki 4	Desain dan model berjalan berbeda
Chen, Guangrong. Guo, Sheng. Hou, Bowen. Wang, Junzheng/2020	Virtual Model Control for Quadruped Robots	Pelakukan penelitian dengan melakukan simulasi kontrol keseimbangan, serta tracking control yang di lakukan di dalam aplikasi simulasi dengan penyesuaian gaya/torsi secara virtual	Robot berkaki 4	Dilakukan secara virtual atau simulasi
Soim, Sopian. Amperawan Anisah, Masayu. Farhan, Novendra/2022	Akselerasi Gerakan Maju Pada Robot Berkaki Empat Menggunakan Fuzzy Logic	Melakukan penelitian terhadap robot berkaki 4, dengan menggunakan 6 sensor untuk mendeteksi halangan dan mengadopsi metode fuzzy untuk menentukan rule yang diberikan agar navigasi robot dapat dieksekusi dengan baik	Robot berkaki 4, desain mirip akan tetapi desain kaki lebih pendek	Fokus penelitian membahas metode algoritma fuzzy untuk akselerasi navigasi pada robot
R. Cahyo Prayogo, A. Triwiyatno, and D. Sumardi/2018	Perancangan Robot Berkaki 4 (Quadruped) Dengan Stabilization Algorithm Pada Uneven Floor Menggunakan 6-Dof Imu Berbasis Invers Kinematic	menjelaskan bahwa penelitian ini melakukan perancangan dan pembuatan algoritma stabilisasi robot quadruped dari lantai yang tidak rata dengan sensor pada 6 DOF berbasis invers kinematic. Sensor MPU 6050 yang digunakan terbagi atas sensor accelerometer dan gyroscope. Sensor ini dapat memberikan input berupa nilai sudut kemiringan sehingga dapat diolah dalam sistem agar dapat mempertahankan body robot tetap datar pada kondisi tersebut	Desain robot berkaki 4 mirip. Mengadopsi 12 DOF	Fokus penelitian adalah stabilisasi robot pada beban tertentu dan lantai tidak rata berbasis inverse kinematik
B. Wang, Z. Wan, C. Zhou, J. Wu, Y. Qiu, and Z. Gao/2019	A Multi-module Controller for Walking Quadruped Robots	Melakukan eksperimen pengendalian gerak pada robot berkaki 4 dengan menggunakan Central Pattern Model (CPG) sebagai pengendalian robot dengan menjaga keseimbangan saat robot melakukan gerakan maju, mundur, berhenti, memutar, belok, dan gerakan lainnya.	Robot berkaki 4 dan menggunakan servo	Desain sendi setiap kaki berbeda, fokus penelitian menggunakan model CPG menghasilkan transisi yang
T. Aoki, K. Asami, S. Ito, and S. Waki/2020	Development of quadruped walking robot with spherical shell: improvement of climbing over a step	Penelitian terhadap robot berkaki 4 dengan menambahkan cangkang berupa bulatan pada robot dan sebagai pelindung jika robot berada di area yang berbahaya. Dengan melakukan percobaan gerak naik dan menggelinding di saat robot gagal melakukan gerakan naiknya	Robot Berkaki 4 dan menggunakan servo	Pernelitian lebih fokus terhadap desain robot menggunakan pelindung jika terjadi insiden
R. Singh and T. K. Bera/2020	Walking Model of Jansen Mechanism-Based Quadruped Robot and Application to Obstacle Avoidance	Melakukan penelitian terhadap robot berkaki 4 dengan mengadopsi mekanisme jansen untuk model berjalan yang di terapkan terhadap robot dan didukung oleh 3 sensor jarak (HC-SR04) untuk mendeteksi rintangan dengan menggunakan metode fuzzy sebagai algoritma pendukungnya	Menggunakan 4 kaki	Kontroller berbeda dan menggunakan motor sebagai aktuator dengan 6 DOF pada masing masing kakinya dengan memanfaatkan desain kerangka sebagai kaki robot.
F. Zhang, S. Teng, Y. F. Wang, Z. J. Guo, J. J. Wang, and R. L. Xu/2020	Design of bionic goat quadruped robot mechanism and walking gait planning	perancangan robot berkaki 4 dengan mengadopsi konsep bionik dari kaki kambing Untuk meningkatkan kestabilan berjalan dan kemampuan melompati rintangan robot di lereng dengan metode Denavit-Hartenberg (DH) digunakan untuk membangun model kinematik	Menggunakan 4 kaki dengan servo sebagai aktuator	Desain menggunakan simulasi pada MATLAB, serta 2 DOF pada setiap kakinya yang di pakai. Dan menggunakan 2 servo untuk setiap kaki
Y. Shi, S. Li, M. Guo, Y. Yang, D. Xia, and X. Luo/2021	Structural design, simulation and experiment of quadruped robot	Melakukan penelitian desain, simulasi dan implementasi pada robot berkaki 4 dengan menggunakan mekanisme bionik dari fisik seperti anjing. Menggunakan metode DH untuk perhitungan kinematic & invers sebagai dasar untuk algoritma gaya berjalannya	Menggunakan 4 kaki, 12 DOF pada robot dan 3 servo pada setiap kaki	Fokus penelitian terhadap desain kaki robot seperti mekanisme bionik dengan metode DH
V. Lyashenko, M. A. Ahmad, N. Belova, and S. Sotnik/2021	Modern Walking Robots: A Brief Overview	melakukan menyajikan review dari beberapa desain robot berjalan modern yang paling menarik: bipedal, quadropedal, hexopedal, dan octopoda. Menjelaskan kelebihan dan kekurangan setiap robot	Membahas tentang robot berkaki	Fokus penelitian terhadap macam macam robot berkaki dengan masing masing desain kaki dan kemudian melakukan kesimpulan
L. H. Wong, S. Sivanesan, M. F. A. Faisol, W. A. F. W. Othman, A. A. A. Wahab, and S. S. N. Alhady/2021	Development of quadruped walking robot with passive compliance legs using XL4005 buck converter	melakukan penelitian robot berjalan dengan menggunakan buck converter XL4005 terhadap masing masing kaki robot dan arduino sebagai controller untuk menggerakkan setiap kaki robot sehingga robot mampu berjalan dengan lurus di permukaan datar dan stabil	Menggunakan 4 kaki	Menggunakan 4 servo dengan fokus penelitian pada desain kaki robot menggunakan peer sebagai penyeimbang beban robot
P. Biswal and P. K. Mohanty/2021	Development of quadruped walking robots: A review	menjelaskan tentang perkembangan robot berkaki dari tahun ke tahun yang mengalami perkembangan yang signifikan. Dan memberikan penjelasan tentang sistem penggerak, desain struktural, analisis gaya berjalan, dan aktuator yang dipakai	Membahas tentang robot berkaki	Fokus penelitian terhadap macam macam robot berkaki dengan masing masing karakteristik robot
C. E. J Mamahit and dan R. Fransiskus Seke/2022	Pengembangan Sistem Gerak Robot Berkaki Enam	penelitian melakukan pengembangan pada sistem gerak robot berkaki 6 dengan melakukan analisa, desain rangka robot dan penempatan kaki robot	Robot berkaki, menggunakan servo,	Robot berkaki 6, memiliki 18 DOF dan penelitian lebih fokus uji

		dengan menggunakan arduino dan servo sebagai penggerak dan kemudian robot diujicoba pada medan rata dan tidak rata	menggunakan 3 DOF pada masing masing kaki	coba medan
--	--	--	---	------------

Rangkuman beberapa penelitian sebelumnya tidak ada yang membahas secara detail bagaimana step by step pergerakan robot quadruped agar dapat bergerak seperti maju, belok dan lain sebagainya. Akan tetapi yang dibahas mengenai bagaimana desain dan teknologi serta metode apa agar robot dapat berjalan lebih baik ataupun agar biaya pembuatan menjadi murah

METODE PENELITIAN

Metode ini adalah sebagai tahapan dalam proses penelitian sebagai berikut:

A. Perumusan Masalah

Masalah-masalah yang telah didefinisikan kemudian mencari beberapa argumen dari berbagai sumber yang relevan dan dapat dijadikan sebagai acuan untuk menemukan keterkaitan antara satu masalah dengan masalah lainnya. Sehingga dapat ditemukan titik terang pada solusi yang akan diambil.

B. Pengumpulan Data Observasi

Mengumpulkan beberapa datasheet – datasheet untuk setiap komponen yang mendukung proses kerja sistem. Hal ini dimaksudkan untuk mencari standart nilai yang dimiliki setiap variable sehingga dengan dasar acuan tersebut dapat memudahkan pengambilan data yang diinginkan. Serta mencari berbagai sumber penelitian dan sumber lain yang relevan sebagai pendukung penelitian sebagai tinjauan pustaka dan teori.

C. Analisa Sistem Navigasi

Proses analisa dan simulasi sistem fuzzy terhadap beberapa paper atau sumber rujukan yang akan digunakan sebagai pendukung keputusan dalam penelitian ini dengan membandingkan dengan setiap ujicoba sebelumnya. apakah sistem sudah siap diterapkan kepada sistem atau tidak sehingga hasilnya dapat diaplikasikan seperti yang sudah diharapkan.

D. Perancangan Sistem Navigasi

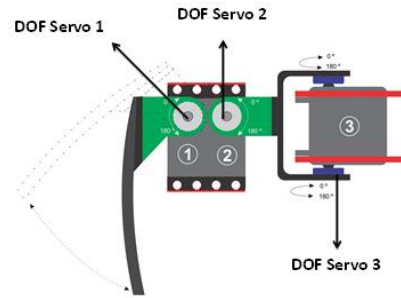
Melakukan proses analisa dan simulasi sistem navigasi pada robot berkaki *Quadruped* yaitu robot dengan 4 kaki terhadap beberapa sumber paper atau sumber rujukan yang akan digunakan sebagai pendukung metode yang akan diterapkan dalam penelitian ini dengan membandingkan dengan setiap penelitian sebelumnya. Apakah sistem sudah dapat diterapkan untuk mendukung penelitian atau tidak sehingga hasilnya dapat diaplikasikan seperti yang sudah diharapkan.

E. Perancangan Mekanik & Hardware

Perancangan mekanik adalah rancangan bagian – bagian fisik dari robot diantaranya (1) mekanik kaki robot, (2) alamat ID kaki servo robot, (3) Desain Keseluruhan Robot yang akan dirancang sebagai berikut:

1. Mekanik Kaki Robot

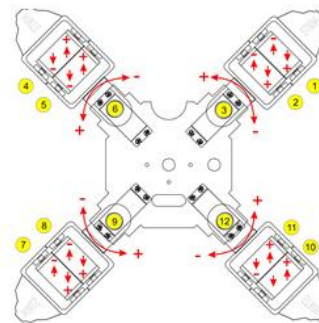
Desain kaki robot yang terinspirasi dari makhluk hidup seperti kaki buaya maupun serangga. Dalam perancangan desain 1 kaki robot membutuhkan 3 servo sebagai DOF yang berfungsi untuk melakukan perputaran atau sendi.



Gambar. 1. Desain mekanik kaki robot

2. Alamat ID Kaki Servo Robot

Desain kaki robot pengalaman nomor ID servo yang berfungsi sebagai DOF atau sendi pada setiap kaki robot quadruped diperlukan untuk menyusun step by step pergerakan sendi pada setiap kaki. Hal ini sangatlah penting agar mempermudah menemukan servo atau DOF mana yang seharusnya akan digerakkan atau sedang bergerak, dan juga dapat mempermudah dalam pembuatan program dimana ID dapat dituliskan sebagai variable yang mudah diingat.



Gambar. 2. Desain ID kaki servo robot

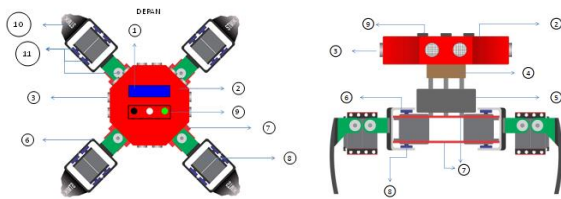
Tabel II adalah penentuan DOF pada setiap sendi sesuai yang digambarkan pada “Fig. 2” adalah servo dalam kondisi stanby dimana nilai stanby servo diatur menjadi 0° dengan nilai data = 65. dan pergerakan servo memiliki 2 arah yaitu pergerakan arah CW atau CCW, yang berarti bahwa pergerakan sendi memiliki “+” dan “-” yang dapat digunakan untuk pergerakan seperti arah atas, bawah, depan dan belakang sesuai dengan penempatan servo yang dipasang yang dapat diamati pada Tabel II.

TABEL II. PERANCANGAN ID SERVO KAKI ROBOT SEBAGAI DOF

ID Program	Posisi Servo	Degree Of Freedom	
		Tambah (+)	Minus (-)
servo_data[1]	Kanan Depan DOF 1	Bawah	Atas
servo_data[2]	Kanan Depan DOF 2	Bawah	Atas
servo_data[3]	Kanan Depan DOF 3	Depan	Belakang
servo_data[4]	Kiri Depan DOF 1	Atas	Bawah
servo_data[5]	Kiri Depan DOF 2	Atas	Bawah
servo_data[6]	Kiri Depan DOF 3	Belakang	Depan
servo_data[7]	Kiri Belakang DOF 1	Bawah	Atas
servo_data[8]	Kiri Belakang DOF 2	Bawah	Atas

servo_data[9]	Kiri Belakang DOF 3	Belakang	Depan
servo_data[10]	Kanan Belakang DOF 1	Atas	Bawah
servo_data[11]	Kanan Belakang DOF 2	Atas	Bawah
servo_data[12]	Kanan Belakang DOF 3	Depan	Belakang

Bagian desain robot ditunjukkan pada “fig. 1” secara keseluruhan terdapat: (1) LCD 16x2 yang digunakan untuk menampilkan data sensor ultrasonik dan data lainnya, (2) Casing kepala Robot sebagai penampung bagian atas robot, (3) Ultrasonik SRF04 sebagai sensor pembaca jarak, (4) Rangkaian ATmega 8 controller pengendali atas, (5) Rangkaian ATmega 128 controller pengendali bawah, (6) Penompang servo sebagai sendi robot, (7) Casing Bawah sebagai penampung robot bagian bawah, (8) Servo HS-645MG sebagai aktuator penggerak utama robot, (9) Tombol sebagai kontrol untuk menjalankan dan mematikan robot dengan mode tombol, (10) Kaki robot sebagai alat gerak berjalan, (11) DOF sendi pada setiap kaki robot dengan masing masing sendi memiliki 3 DOF.

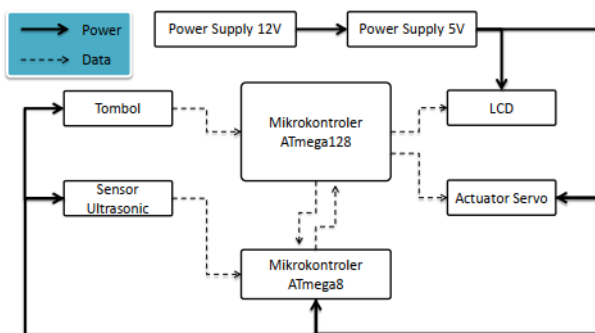


Gambar. 3. Desain robot quadruped tampak atas dan samping

Bagian desain robot ditunjukkan pada “Fig. 3” secara keseluruhan adalah desain Segi Delapan (Poligon) dengan penempatan kaki yang simetris sama sisi terhadap kaki lainnya seperti membentuk tanda huruf “X” jika tampak dari atas.

3. Gambaran Sistem

Diagram blok merupakan gambaran dasar dari rangkaian robot yang akan dirancang baik dari input, proses, ataupun output dari robot. Setiap diagram blok mempunyai fungsi masing-masing.



Gambar. 4. Gambaran sistem robot quadruped

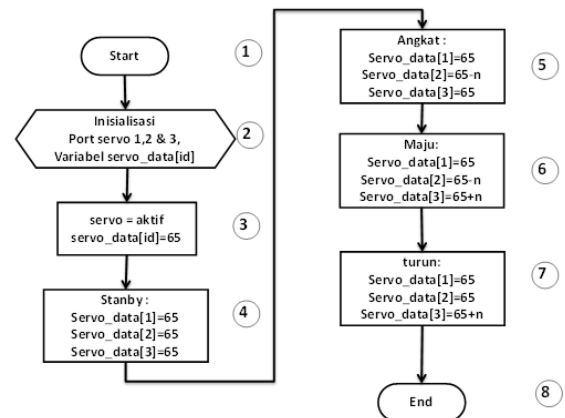
Gambaran sistem dapat ditentukan bahwa input hanya berupa tombol dan sensor ultrasonik, dan pada bagian proses dilakukan oleh 2 mikrokontroler yaitu Atmega8 dan Atmega128. Sedangkan pada bagian output berupa LCD untuk menampilkan data dan aktuator servo sebagai penggerak kaki robot.

F. Perancangan Software

1. Flowchart Angkat Kaki Maju

Flowchart angkat kaki maju menjelaskan bagaimana proses pergerakan servo pada saat melangkah kedepan (maju)

terhadap 1 kaki. Sebagai contoh untuk kaki yang digunakan adalah kaki kanan depan memiliki ID 1, ID 2, dan ID 3. Selengkapnya mengenai ID dapat dilihat pada “Fig. 5”.

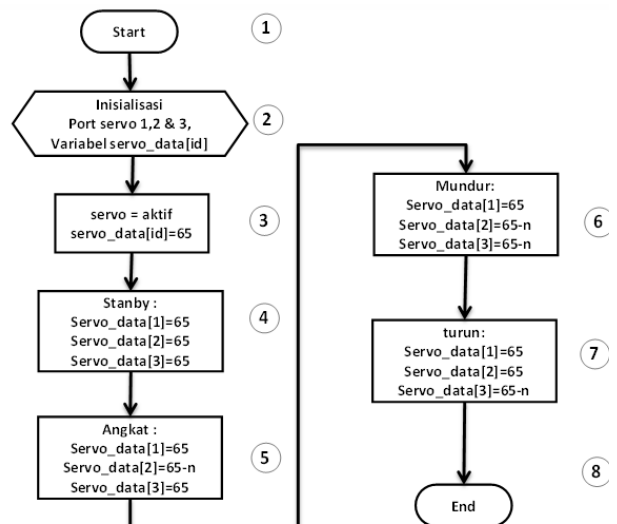


Gambar. 5. Flowchart angkat kaki maju

Berikut penjelasan dari flowchart pada “Fig. 5”:

- (1) Start, yang diartikan hardware dan mekanik bekerja sebagaimana fungsinya,
- (2) Inisialisasi variable dan PORT yang akan digunakan,
- (3) Servo diaktifkan dan nilai servo_data[id]=65 (nilai tengah dengan sudut 90°),
- (4) Stanby, seperti posisi yang ditunjukkan pada “Fig. 5”,
- (5) Angkat, ID 2 yang bertugas untuk mengangkat dan yang lain masih dalam kondisi tetap,
- (6) Maju, ID 2 masih dalam kondisi terangkat dan kemudian ID 3 menggeser sudut sehingga ID 3 dalam posisi Kedepan,
- (7) Turun, ID 2 kembali ke posisi dimana servo_data[2]=65 (awal), kecuali ID 3 masih tetap berada di posisi maju atau kebelakang. Sehingga kaki robot sudah menyentuh lantai kembali, dan
- (8) Stop.

2. Flowchart Angkat Kaki Mundur



Gambar. 6. Flowchart angkat kaki mundur

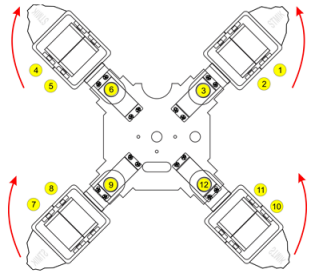
Flowchart angkat kaki mundur secara konsep juga sama dengan angkat kaki maju yakni menjelaskan bagaimana proses pergerakan servo pada saat melangkah, namun dalam hal ini adalah kebelakang (mundur) terhadap 1 kaki.

Berikut penjelasan dari flowchart pada “Fig. 6”:

- (1) Start, yang diartikan hardware dan mekanik bekerja sebagaimana fungsinya,
- (2) Inisialisasi variable dan PORT yang akan

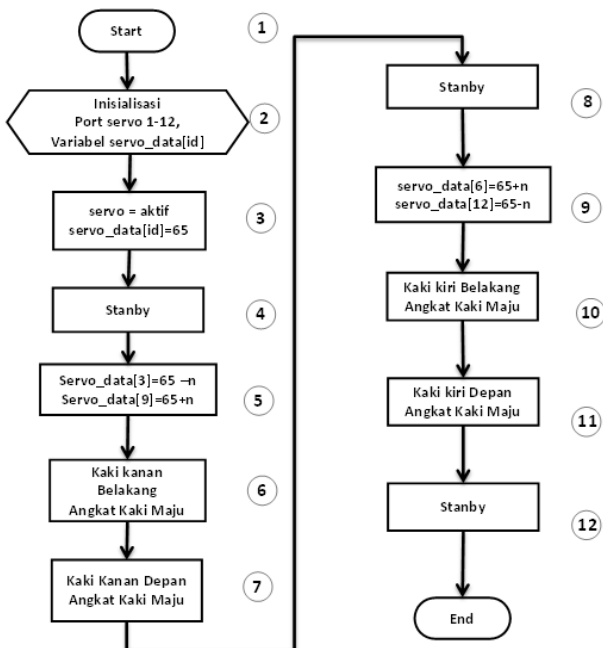
digunakan, (3) Servo diaktifkan dan nilai servo_data[id]=65 (nilai tengah dengan sudut 90°), (4) Stanby, seperti posisi yang ditunjukkan pada “Fig. 6”, (5) Angkat, ID 2 yang bertugas untuk mengangkat dan yang lain masih dalam kondisi tetap, (6) Mundur, ID 2 masih dalam kondisi terangkat dan kemudian ID 3 menggeser sudut sehingga ID 3 dalam posisi kebelakang, (7) Turun, ID 2 kembali ke posisi dimana servo_data[2]=65 (awal), kecuali ID 3 masih tetap berada di posisi mundur atau kebelakang. Sehingga kaki robot sudah menyentuh lantai kembali, dan (8) Stop.

3. Flowchart Maju



Gambar. 7. Konsep Pergerakan Maju

Dapat disimpulkan bahwa mengacu pada konsep pergerakan maju robot pada “Fig. 7” dapat di gambarkan flowchart maju pada robot. Flowchart maju ini menjelaskan bagaimana proses pergerakan servo pada saat melangkah kedepan (maju) terhadap semua kaki. Untuk detail flowchartnya dapat dilihat pada “Fig. 8” dan informasi tentang ID dapat dilihat pada “Fig. 2”.



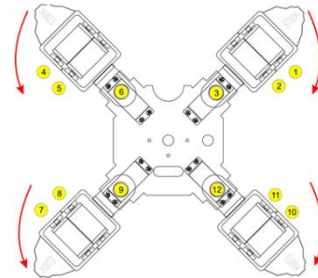
Gambar. 8. Flowchart Maju

Berikut penjelasan dari flowchart pada “Fig. 8”:

- (1) Start, yang diartikan hardware dan mekanik bekerja sebagaimana fungsinya,
- (2) Inisialisasi variable dan PORT yang akan digunakan,
- (3) Servo diaktifkan dan nilai servo_data[id]=65 (nilai tengah dengan sudut 90°),
- (4) Stanby, robot dalam posisi berdiri seperti yang ditunjukkan pada “Fig. 3” tampak depan dan tampak atas,
- (5) Servo ID 3 dan ID 9 melakukan perubahan sudut bergerak ke belakang (mundur),
- (6) Kaki kanan belakang melakukan pergerakan angkat kaki mundur,
- (7) Disusul oleh Kaki kanan depan melakukan pergerakan angkat kaki mundur,
- (8) Stanby, robot dalam posisi berdiri seperti yang ditunjukkan pada point 4,
- (9) Pada ID 6 dan ID 12 melakukan pergerakan sudut kearah belakang,
- (10) Kaki kiri belakang melakukan pergerakan angkat kaki maju,
- (11) Disusul oleh Kaki kiri depan melakukan pergerakan angkat kaki maju,
- (12) Stanby, robot dalam posisi berdiri seperti yang ditunjukkan pada point 4, dan
- (13) Stop.

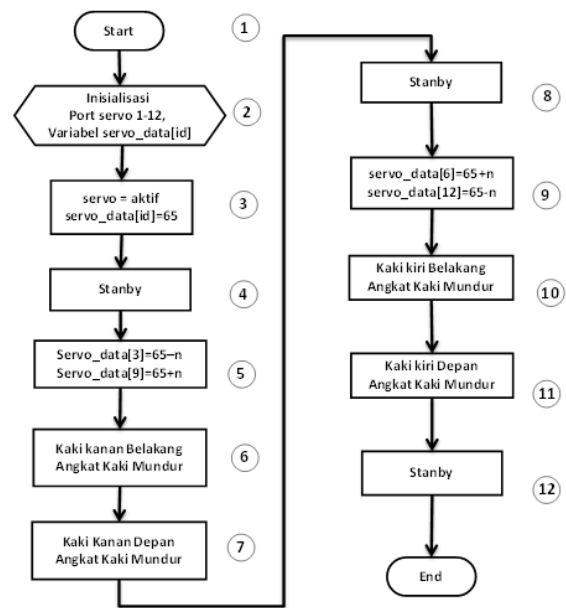
Disusul oleh Kaki kanan depan melakukan pergerakan angkat kaki maju, (8) Stanby, robot dalam posisi berdiri seperti yang ditunjukkan pada point 4, (9) Pada ID 6 dan ID 12 melakukan pergerakan sudut kearah belakang, (10) Kaki kiri belakang melakukan pergerakan angkat kaki maju, (11) Disusul oleh Kaki kanan depan melakukan pergerakan angkat kaki maju, (12) Stanby, robot dalam posisi berdiri seperti yang ditunjukkan pada point 4, dan (13) Stop.

4. Flowchart Mundur



Gambar. 9. Konsep pergerakan mundur robot

Dapat disimpulkan bahwa mengacu pada konsep pergerakan maju robot pada “Fig. 9” dapat di gambarkan flowchart mundur pada robot dimana mundur ini adalah kebalikan dari konsep pergerakan maju robot. Flowchart mundur ini menjelaskan bagaimana proses pergerakan servo pada saat melangkah kebelakang (mundur) terhadap semua kaki. Untuk detail flowchartnya dapat dilihat pada “Fig. 10”. dan informasi tentang ID dapat dilihat pada “Fig. 2”.



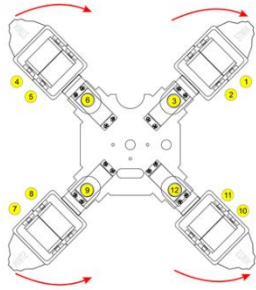
Gambar. 10. Flowchart mundur

Berikut penjelasan dari flowchart pada “Fig. 10”:

- (1) Start, yang diartikan hardware dan mekanik bekerja sebagaimana fungsinya,
- (2) Inisialisasi variable dan PORT yang akan digunakan,
- (3) Servo diaktifkan dan nilai servo_data[id]=65 (nilai tengah dengan sudut 90°),
- (4) Stanby, robot dalam posisi berdiri seperti yang ditunjukkan pada “Fig. 3” tampak depan dan tampak atas,
- (5) Servo ID 3 dan ID 9 melakukan perubahan sudut bergerak ke belakang (mundur),
- (6) Kaki kanan belakang melakukan pergerakan angkat kaki mundur,
- (7) Disusul oleh Kaki kanan depan melakukan pergerakan angkat kaki mundur,
- (8) Stanby, robot dalam posisi berdiri seperti yang ditunjukkan pada point 4,
- (9) Pada ID 6 dan ID 12 melakukan pergerakan sudut kearah belakang,
- (10) Kaki kiri belakang melakukan pergerakan angkat kaki mundur,
- (11) Disusul oleh Kaki kiri depan melakukan pergerakan angkat kaki mundur,
- (12) Stanby, robot dalam posisi berdiri seperti yang ditunjukkan pada point 4,
- (13) Stop.

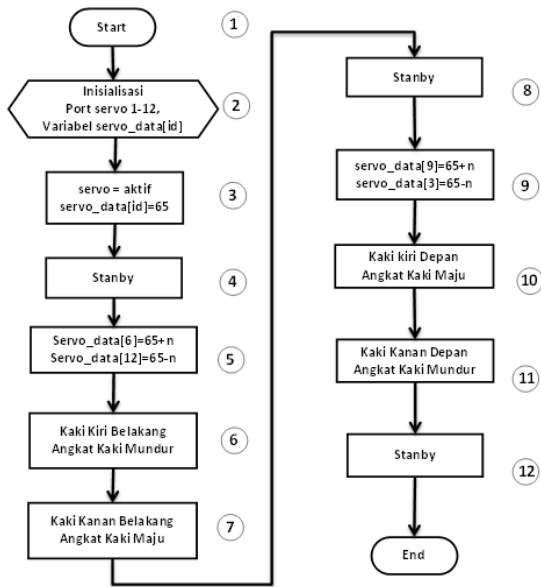
Pada ID 6 dan ID 12 melakukan pergerakan sudut kearah belakang, (10) Kaki kiri belakang melakukan pergerakan angkat kaki mundur, (11) Disusul oleh Kaki kanan depan melakukan pergerakan angkat kaki maju, (12) Stanby, robot dalam posisi berdiri seperti yang ditunjukkan pada point 4, dan (13) Stop.

5. Flowchart Geser Kanan



Gambar. 11. Konsep Pergerakan Geser Kanan Robot

Dapat disimpulkan bahwa mengacu pada konsep pergerakan robot pada “Fig. 11”. Konsep pergerakan geser kanan ini menjelaskan bagaimana proses pergerakan servo pada saat melangkah kekanan (berjalan kesamping kiri) terhadap semua kaki. Untuk detail flowchartnya dapat dilihat pada “Fig. 12”. dan informasi tentang ID dapat dilihat pada “Fig. 2”.



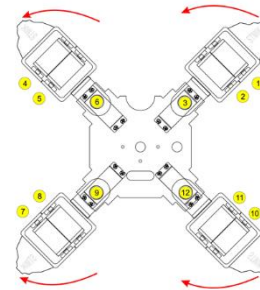
Gambar. 12. Flowchart Geser Kanan

Berikut penjelasan dari flowchart pada “Fig. 12”: (1) Start, yang diartikan hardware dan mekanik bekerja sebagaimana fungsinya, (2) Inisialisasi variable dan PORT yang akan digunakan, (3) Servo diaktifkan dan nilai servo_data[id]=65 (nilai tengah dengan sudut 90°), (4) Stanby, robot dalam posisi berdiri seperti yang ditunjukkan pada “Fig. 3” tampak depan dan tampak atas, (5) Servo ID 6 dan ID 12 melakukan perubahan sudut bergerak ke belakang (mundur), (6) Kaki kiri belakang melakukan pergerakan angkat kaki mundur, (7) Disusul oleh Kaki kanan belakang melakukan pergerakan angkat kaki maju, (8) Stanby, robot dalam posisi berdiri seperti yang ditunjukkan pada point 4, (9) Pada ID 9 dan ID 3 melakukan pergerakan sudut kearah belakang, (10) Kaki kiri Depan melakukan pergerakan angkat kaki maju, (11) Disusul oleh Kaki kanan depan melakukan pergerakan angkat kaki mundur, (12) Stanby, robot dalam

posisi berdiri seperti yang ditunjukkan pada point 4, dan (13) Stop.

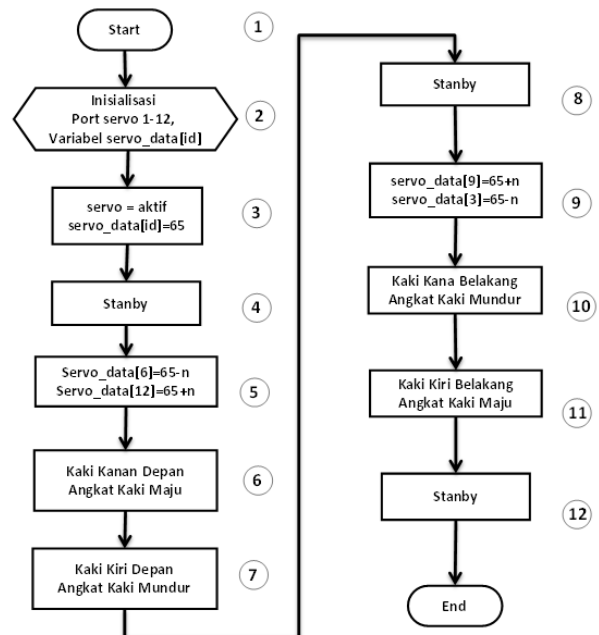
6. Flowchart Geser Kiri

Dapat disimpulkan bahwa mengacu pada konsep pergerakan robot pada “Fig. 13”. Konsep pergerakan geser kiri ini menjelaskan bagaimana proses pergerakan servo pada saat melangkah kekiri (berjalan kesamping kiri) terhadap semua kaki. Untuk detail flowchartnya dapat dilihat pada “Fig. 14”. dan informasi tentang ID dapat dilihat pada “Fig. 2”..



Gambar. 13. Konsep Pergerakan Geser Kiri Robot

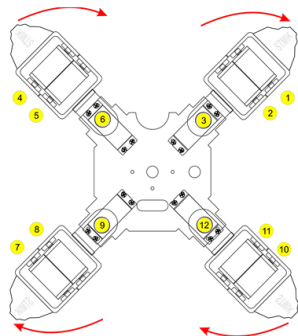
Berikut penjelasan dari flowchart pada “Fig. 14”: (1) Start, yang diartikan hardware dan mekanik bekerja sebagaimana fungsinya, (2) Inisialisasi variable dan PORT yang akan digunakan, (3) Servo diaktifkan dan nilai servo_data[id]=65 (nilai tengah dengan sudut 90°), (4) Stanby, robot dalam posisi berdiri seperti yang ditunjukkan pada “Fig. 3” tampak depan dan tampak atas, (5) Servo ID 6 dan ID 12 melakukan perubahan sudut bergerak ke depan (maju), (6) Kaki kanan depan melakukan pergerakan angkat kaki maju, (7) Disusul oleh Kaki kiri depan melakukan pergerakan angkat kaki mundur, (8) Stanby, robot dalam posisi berdiri seperti yang ditunjukkan pada point 4, (9) Pada ID 9 dan ID 3 melakukan pergerakan sudut kearah belakang (mundur), (10) Kaki kanan belakang melakukan pergerakan angkat kaki mundur, (11) Disusul oleh Kaki kiri belakang melakukan pergerakan angkat kaki maju, (12) Stanby, robot dalam posisi berdiri seperti yang ditunjukkan pada point 4, dan (13) Stop.



Gambar. 14. Flowchart Geser Kiri

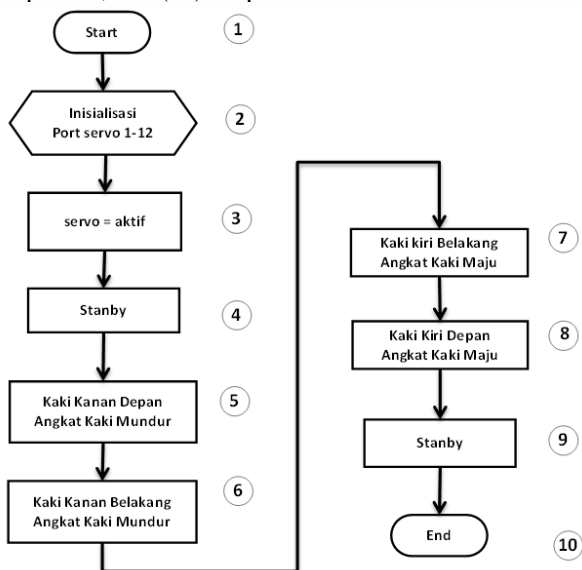
7. Flowchart Putar Kanan

Dapat disimpulkan bahwa mengacu pada konsep pergerakan robot pada “Fig. 15”. Konsep pergerakan putar kanan ini menjelaskan bagaimana proses pergerakan servo pada saat melangkah berputar kekanan terhadap semua kaki. Untuk detail flowchartnya dapat dilihat pada “Fig. 16”. dan informasi tentang ID dapat dilihat pada “Fig. 2”..



Gambar. 15. Konsep Pergerakan Putar Kanan Robot

Berikut penjelasan dari flowchart pada “Fig. 16”: (1) Start, yang diartikan hardware dan mekanik bekerja sebagaimana fungsinya, (2) Inisialisasi PORT yang akan digunakan, (3) Servo diaktifkan, (4) Stanby, robot dalam posisi berdiri seperti yang ditunjukkan pada “Fig. 3” tampak depan dan tampak atas, (5) Kaki kanan depan melakukan pergerakan angkat kaki mundur, (6) Kaki kanan belakang melakukan pergerakan angkat kaki mundur, (7) Kaki kiri belakang melakukan pergerakan angkat kaki maju, (8) Kaki kiri depan melakukan pergerakan angkat kaki maju, (9) Stanby, robot dalam posisi berdiri seperti yang ditunjukkan pada point 4, dan (10) Stop.



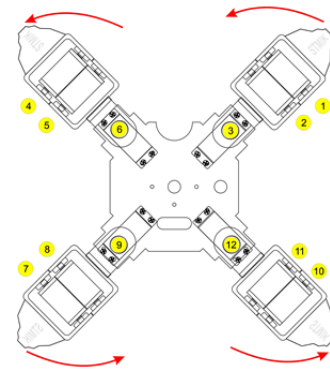
Gambar. 16. Flowchart Putar Kanan

Pergerakan putar kanan pada robot secara terus menerus dapat digunakan untuk membuat sistem navigasi baru diantaranya adalah hadap serong kanan, hadap kanan dan balik kanan tergantung banyaknya perulangan pergerakan robot dalam berputar.

8. Flowchart Putar Kiri

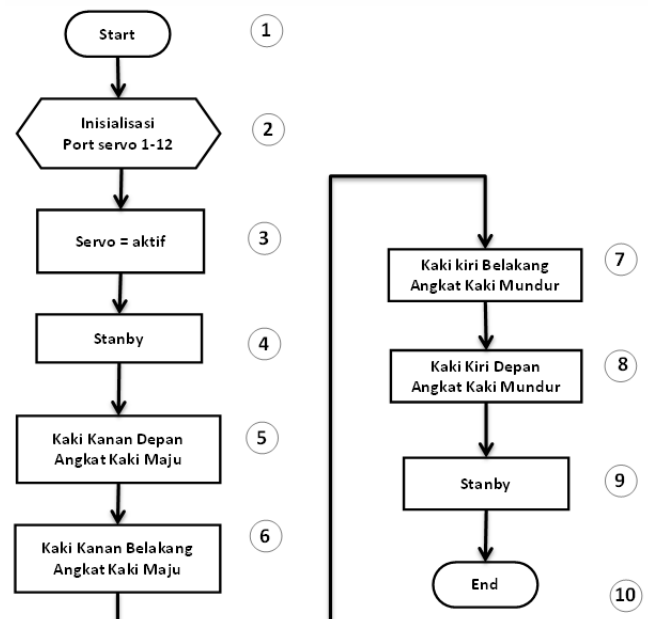
Dapat disimpulkan bahwa mengacu pada konsep pergerakan robot pada “Fig. 17”. Konsep pergerakan putar kiri ini adalah kebalikan dari konsep pergerakan robot putar kanan. Dan konsep pergerakan putar kiri ini menjelaskan

bagaimana proses pergerakan servo pada saat berputar ke kiri terhadap semua kaki. Untuk detail flowchartnya dapat dilihat pada “Fig. 18”. dan informasi tentang ID dapat dilihat pada “Fig. 2”..



Gambar. 17. Konsep Pergerakan Putar Kiri Robot

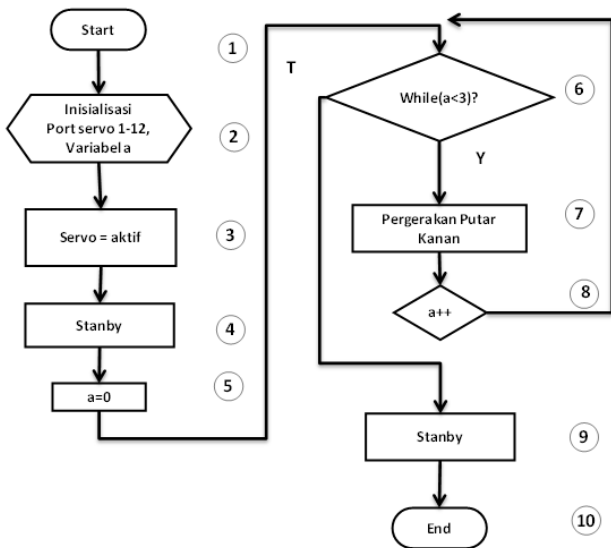
Berikut penjelasan dari flowchart pada “Fig. 18”: (1) Start, yang diartikan hardware dan mekanik bekerja sebagaimana fungsinya, (2) Inisialisasi PORT yang akan digunakan, (3) Servo diaktifkan, (4) Stanby, robot dalam posisi berdiri seperti yang ditunjukkan pada “Fig. 3” tampak depan dan tampak atas, (5) Kaki kanan depan melakukan pergerakan angkat kaki maju, (6) Kaki kanan belakang melakukan pergerakan angkat kaki maju, (7) Kaki kiri belakang melakukan pergerakan angkat kaki mundur, (8) Kaki kiri depan melakukan pergerakan angkat kaki mundur, (9) Stanby, robot dalam posisi berdiri seperti yang ditunjukkan pada point 4, (10) Stop.



Gambar. 18. Flowchart Putar Kiri

Pergerakan putar kiri pada robot secara terus menerus dapat digunakan untuk membuat sistem navigasi baru diantaranya adalah hadap serong kiri, hadap kiri dan balik kiri tergantung banyaknya perulangan pergerakan robot dalam berputar.

9. Flowchart Hadap Kanan



Gambar. 19. Flowchart Hadap Kanan

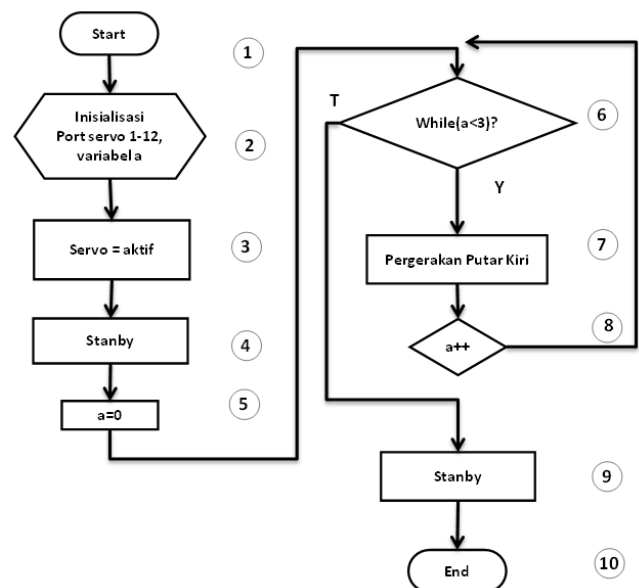
Flowchart hadap kanan adalah mengacu pada konsep pergerakan putar kanan robot. Dimana dalam membuat robot agar melakukan hadap kanan dapat dilakukan perulangan terhadap pergerakan putar kanan beberapa kali sampai robot benar benar sesuai dengan keinginan. Pergerakan hadap kanan sering digunakan sebagai sistem navigasi belok kanan dan dapat disebut juga belok kanan.

Berikut penjelasan dari flowchart pada “Fig. 19”: (1) Start, yang diartikan hardware dan mekanik bekerja sebagaimana fungsinya, (2) Inisialisasi variable dan PORT yang akan digunakan, (3) Servo diaktifkan, (4), Stanby, robot dalam posisi berdiri seperti yang ditunjukkan pada “Fig. 3” tampak depan dan tampak atas, (5) Variable a=0, (6) Menggunakan perulangan while apakah a<3?, (7) Melakukan pergerakan putar kanan, (8) Variable a terus ditambahkan 1 (a++), (9) Stanby, dan Stop.

10. Flowchart Hadap Kiri

Pengaplikasian flowchart hadap kiri juga mengacu pada konsep pergerakan putar kiri robot kebalikan dari konsep pergerakan putar kanan. Dimana dalam membuat robot agar melakukan hadap kiri dapat dilakukan perulangan terhadap pergerakan putar kiri beberapa kali sampai robot benar benar sesuai dengan keinginan. Pergerakan hadap kiri juga sering digunakan sebagai sistem navigasi belok kiri dan dapat disebut juga belok kiri.

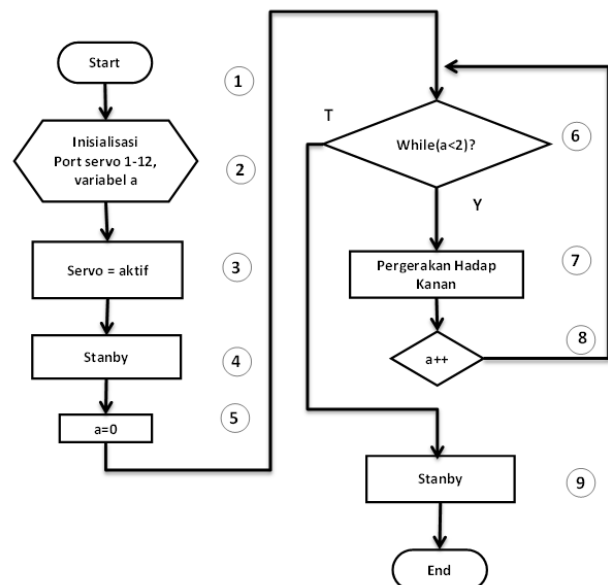
Berikut penjelasan dari flowchart pada “Fig. 20”, (1) Start, yang diartikan hardware dan mekanik bekerja sebagaimana fungsinya, (2) Inisialisasi variable dan PORT yang akan digunakan, (3) Servo diaktifkan dan $y = servo_data[n]$ dengan nilai $servo_data[n] = 65$ (nilai tengah dengan sudut 90°), (4) Stanby, robot dalam posisi berdiri seperti yang ditunjukkan pada “Fig. 3” tampak depan dan tampak atas, (5) Variable a=0, (6) Menggunakan perulangan while apakah a<3?, (7) Melakukan pergerakan putar kiri, (8) Variable a terus ditambahkan 1 (a++), (9) Stanby, dan (10) Stop.



Gambar. 20. Flowchart Hadap Kiri

11. Flowchart Balik Kanan

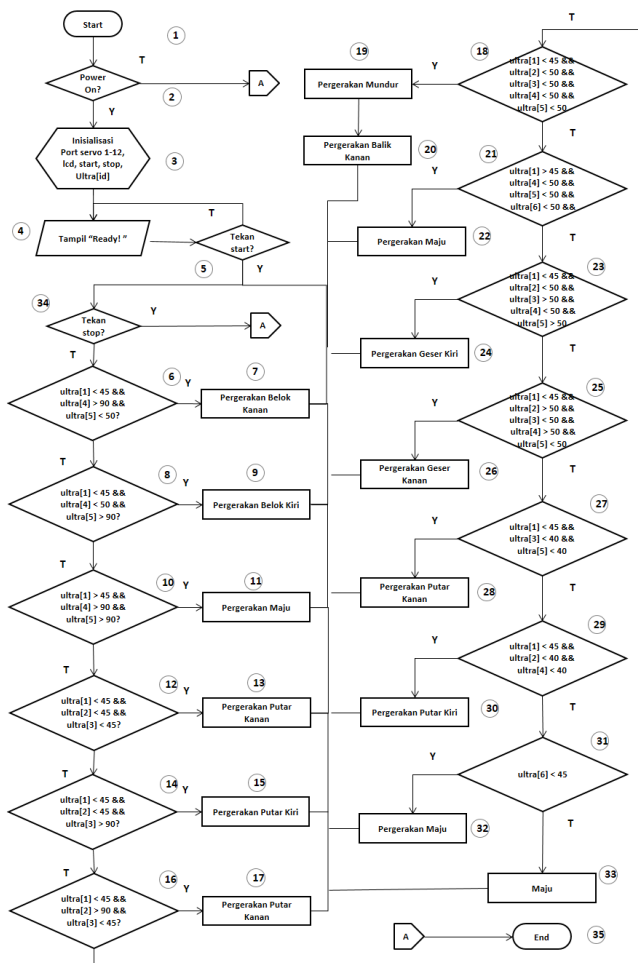
Balik Kanan adalah pengembangan dari konsep pergerakan hadap kanan robot. untuk membuat robot agar melakukan balik kanan dapat dilakukan perulangan terhadap pergerakan hadap kanan dua kali sampai robot benar benar sesuai dengan keinginan. Pergerakan balik kanan dan balik kiri secara kegunaan adalah sama maka dalam laporan ini yang dibahas hanya balik kanan sering digunakan sebagai salah satu sistem navigasi robot.



Gambar. 21. Flowchart Balik Kanan

Berikut penjelasan dari flowchart pada “Fig. 21”, (1) Start, yang diartikan hardware dan mekanik bekerja sebagaimana fungsinya, (2) Inisialisasi PORT yang akan digunakan, (3) Servo diaktifkan, (4) Stanby, robot dalam posisi berdiri seperti yang ditunjukkan pada “Fig. 3” tampak depan dan tampak atas, (5) Variable a=0, (6) Menggunakan perulangan while apakah a<2? Untuk 2 kali perulangan, (7) Melakukan pergerakan hadap kanan, (8) Variable a terus ditambahkan 1 (a++), (9) Stanby, dan (10) Stop.

12. Flowchart Keseluruhan Pembacaan Sensor



Gambar. 22. Flowchart Keseluruhan Pembacaan Ultra

Flowchart keseluruhan pembacaan ultra menjelaskan start awal sampai robot bernavigasi karena menerima inputan data jarak sensor ultrasonik. Adapun flowchart keseluruhan pembacaan ultra ditunjukkan pada “Fig. 22”.

Berikut penjelasan dari flowchart pada “Fig. 22”: (1) Start, yang diartikan hardware dan mekanik bekerja sebagaimana fungsinya, (2) Apakah **Power On** ?, (3) Inisialisasi variable dan PORT yang akan digunakan. (4) LCD menampilkan “Ready.. !”, (5) Apakah sudah **Tekan start?**, (6) apakah $ultra1 < 45 \ \& \ ultra4 > 90 \ \& \ ultra5 < 50$?, (7) Eksekusi robot belok kanan atau dapat juga disebut hadap kanan, (8) apakah $ultra1 < 45 \ \& \ ultra4 < 50 \ \& \ ultra5 > 90$?, (9) Eksekusi robot belok kiri atau dapat juga disebut hadap kiri, (10) apakah $ultra1 > 45 \ \& \ ultra4 > 90 \ \& \ ultra5 > 90$?, (11) Eksekusi robot maju, (12) apakah $ultra1 < 45 \ \& \ ultra2 < 45$?, (13) Eksekusi robot putar kanan, (14) apakah $ultra1 < 45 \ \& \ ultra2 < 45 \ \& \ ultra3 > 90$?, (15) Eksekusi robot putar kiri, (16) apakah $ultra1 < 45 \ \& \ ultra2 > 90 \ \& \ ultra3 < 45$?, (17) Eksekusi robot putar kanan, (18) apakah $ultra1 < 45 \ \& \ ultra2 < 50 \ \& \ ultra3 < 50 \ \& \ ultra4 < 50 \ \& \ ultra5 < 50$?, (19) Eksekusi robot mundur, (20) Eksekusi robot Balik kanan, (21) apakah $ultra1 > 45 \ \& \ ultra4 < 50 \ \& \ ultra5 < 50 \ \& \ ultra6 < 50$?, (21) Eksekusi Robot Maju, (22) apakah $ultra1 < 45 \ \& \ ultra2 < 50 \ \& \ ultra3 > 50 \ \& \ ultra4 < 50 \ \& \ ultra5 > 50$?, (23) Eksekusi Robot Geser Kiri, (24) apakah $ultra1 < 45 \ \& \ ultra2 > 50 \ \& \ ultra3 < 50 \ \& \ ultra4 > 50 \ \& \ ultra5 < 50$?, (25) Eksekusi Robot Geser Kanan, (26) apakah

$ultra1 < 45 \ \& \ ultra3 < 40 \ \& \ ultra5 < 40$?, (27) Eksekusi Robot Putar Kanan, (28) apakah $ultra1 < 45 \ \& \ ultra2 < 50 \ \& \ ultra4 < 50$?, (29) Eksekusi Robot Putar Kiri, (30) apakah $ultra6 < 45$?, (31) Eksekusi Robot Maju, (32) Eksekusi Robot Maju, (33) Apakah tombol stop di tekan?, dan (34) Stop.

G. Pengujian

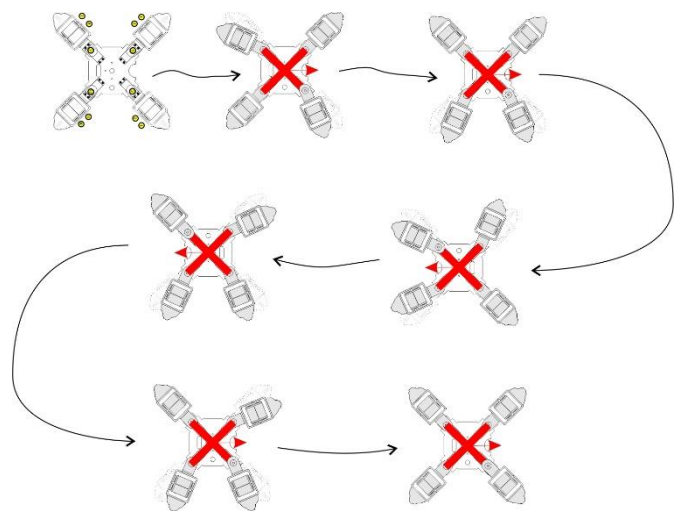
Pengujian Robot dilakukan untuk mengetahui hasil dari pergerakan robot dalam bernavigasi berupa data jarak, waktu, prosentase tingkat keberhasilan dan beberapa keterangan lainnya. Beberapa sistem gerak yang perlu di uji adalah (1) navigasi robot maju, (2) navigasi robot mundur, (3) navigasi robot belok kanan, (4) navigasi robot belok kiri, (5) navigasi robot geser kanan, (6) navigasi robot geser kiri, (7) navigasi robot putar kanan, (8) navigasi robot putar kiri, (9) pengujian keseluruhan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Robot quadruped atau robot berkaki memiliki banyak variasi dan macamnya. Akan tetapi pada penelitian ini mengambil salah satu type robot memiliki 4 kaki dengan desain polygon atau segi delapan atau lebih tepatnya menggunakan desain fisik hewan laba-laba. Banyak pada penelitian sebelumnya yang mengacu pada desain fisik hewan berkaki seperti kambing, anjing dan sejenis dengan tubuh memanjang kebelakang. Hal ini dapat mempengaruhi sistem gerak navigasi pada robot. jika diterapkan maka sudah sangat berbeda dalam menentukan sistem geraknya.

A. Degree Of Freedom

Desain kaki pada robot quadruped atau berkaki 4 adalah memiliki 3 sendi pada setiap kakinya yang dapat digerakkan atau diatur 2 arah yaitu CW dan CCW. Ketika robot akan melakukan pergerakan maka setiap kaki pada robot akan melakukan gerakan secara berurutan. Hal ini dimaksudkan untuk merubah posisi salah satu kaki awal untuk mengganti pijakan kaki robot ke tempat lainnya.



Gambar. 23. Navigasi pergerakan sendi pada setiap kaki 1 step maju

Dengan membuat suatu algoritma yang mengatur kapan perpindahan atau pergerakan masing-masing sendi pada setiap kaki robot maka dalam penelitian ini memanfaatkan timing yang sesuai dalam setiap gerakannya dan pergerakan yang dilakukan robot juga menjaga keseimbangan beban robot itu sendiri dengan konsep 1 kaki akan mengangkat kaki dengan waktu millisecond dan 3 kaki yang lainnya akan

menjadi tumpuan beban robot agar robot tidak roboh atau jatuh. Dan selanjutnya setelah kaki yang terangkat akan turun kembali dan disusul dengan kaki robot yang lainnya dengan secara bergantian dengan ritme yang pas dengan merujuk konsep cara berjalan makhluk hidup berkaki 4.

Jika mengamati “Fig. 23” adalah gambaran robot bergerak maju dimana hanya 1 step gerakan yang dilakukan untuk memindahkan robot ke arah depan. 1 step yang dimaksud adalah mulai dari kondisi kaki awal robot (stanby) dengan melakukan pergerakan pada setiap kaki secara bergantian sampai kaki robot kembali ke kondisi semula yaitu stanby, hal ini dalam penelitian ini di anggap pergerakan 1 step. Jika robot di inginkan untuk lebih jauh perpindahannya maka perlu menambah step dalam program untuk bisa mencapai titik jauh yang diinginkan. Hal ini juga diterapkan pada sistem navigasi yang lainnya akan tetapi perbedaannya adalah terletak pada langkah kaki apakah melakukan langkah ke depan dahulu atau ke belakang dahulu dan disesuaikan dengan kaki yang lainnya sehingga menciptakan pergerakan robot yang diinginkan.

B. Pengujian

1. Pengujian navigasi robot maju

Pengujian ini adalah untuk mengetahui sejauh mana kestabilan maju pada robot *quadruped*.

TABEL III. PENGUJIAN NAVIGASI MAJU

No	Jarak (cm)	Waktu Percobaan (detik)	Gerak Step (kali)	Keterangan
1	10	2	1	Lurus
2	20	3	2	Lurus
3	30	4	3	Lurus
4	40	5	5	Lurus
5	50	7	6	Sedikit belok

Dari data pengujian pada tabel III dapat disimpulkan bahwa percobaan pada jarak 50 cm didapatkan robot mengalami sedikit belok. Sedangkan waktu terjauh yang dibutuhkan robot dalam navigasi maju adalah 7 detik.

2. Pengujian navigasi robot mundur

Mundur adalah salah satu navigasi yang diperlukan dalam robot untuk mengetahui sejauh mana kestabilan mundur pada robot *quadruped*.

TABEL IV. PENGUJIAN NAVIGASI MUNDUR

No	Jarak (cm)	Waktu Percobaan (detik)	Gerak Step (kali)	Keterangan
1	10	2	1	Lurus
2	20	4	2	Lurus
3	30	5	3	Lurus
4	40	7	5	Lurus
5	50	8	6	Sedikit belok

Dari data pengujian pada tabel IV dapat disimpulkan bahwa percobaan pada jarak 50 cm didapatkan robot mengalami sedikit belok. Sedangkan waktu terjauh yang dibutuhkan adalah 8 detik.

3. Pengujian navigasi robot belok kanan

Pengujian navigasi belok kanan hal yang akan diuji adalah tingkat keakurasian belok pada robot. Dari data pengujian pada tabel V dapat disimpulkan bahwa prosentasi tingkat keberhasilan pengujian Belok Kanan sebesar 87.48%. Karena pada gerak step 4 kali dilakukan percobaan lebih mendekati sudut 90° dari pada 3 gerak step.

TABEL V. PENGUJIAN NAVIGASI BELOK KANAN

No	Akurasi Perputaran	Tingkat Keberhasilan Belok (%)	Gerak Step (kali)	Keterangan
1	Lebih	88.8	4	± Lebih 10°
2	Lebih	85.5	4	± Lebih 13°
3	Lebih	88.8	4	± Lebih 10°
4	Lebih	86.6	4	± Lebih 12°
5	Lebih	87.7	4	± Lebih 11°

4. Pengujian navigasi robot belok kiri

Dalam pengujian navigasi belok kiri hal yang akan diuji adalah sama dengan navigasi belok kanan dengan menguji tingkat keakurasian belok pada robot.

TABEL VI. PENGUJIAN NAVIGASI BELOK KIRI

No	Akurasi Perputaran	Tingkat Keberhasilan Belok (%)	Gerak Step (kali)	Keterangan
1	Kurang	92.2	4	± Lebih 7°
2	Kurang	92.2	4	± Lebih 7°
3	Kurang	93.3	4	± Lebih 6°
4	Kurang	92.2	4	± Lebih 7°
5	Kurang	91.1	4	± Lebih 8°

Dari data pengujian pada tabel VI dapat disimpulkan bahwa prosentasi tingkat keberhasilan pengujian belok kiri sebesar 92.2%. Karena pada gerak step 4 kali dilakukan percobaan lebih mendekati sudut 90° dari pada 5 gerak step.

5. Pengujian navigasi robot geser kanan

Pengujian ini adalah untuk mengetahui sejauh mana kestabilan pergeseran khususnya ke kanan pada robot *quadruped*.

TABEL VII. PENGUJIAN NAVIGASI GESER KANAN

No	Jarak (cm)	Waktu Percobaan (detik)	Gerak Step (kali)	Keterangan
1	10	2	1	Lurus
2	20	3	2	Lurus
3	30	3	3	Lurus
4	50	7	5	Lurus
5	70	9	7	Lurus

Dari data pengujian pada tabel VII dapat disimpulkan bahwa percobaan pada jarak 10 - 70 cm robot masih dalam keadaan lurus. Sedangkan waktu terjauh yang dibutuhkan adalah 9 detik

6. Pengujian navigasi robot geser kiri

Pengujian ini adalah untuk mengetahui sejauh mana kestabilan pergeseran khususnya ke kiri pada robot *quadruped*.

TABEL VIII. PENGUJIAN NAVIGASI GESER KIRI

No	Jarak (cm)	Waktu Percobaan (detik)	Gerak Step (kali)	Keterangan
1	10	2	1	Lurus
2	20	3	2	Lurus
3	30	4	3	Lurus
4	50	7	5	Mulai Belok
5	70	9	7	Tambah Belok

Dari data pengujian pada tabel VIII dapat disimpulkan bahwa percobaan pada jarak 50 cm didapatkan robot mulai mengalami belok dan pada jarak 70 cm robot bertambah belok. Sedangkan waktu terjauh yang dibutuhkan adalah 9 detik.

7. Pengujian navigasi robot puter kanan

Dalam pengujian navigasi putar kanan ini hal yang akan diuji adalah menguji tingkat keakurasian terhadap sudut 45°, 90°, 180° dan 360° pada robot.

TABEL IX. PENGUJIAN NAVIGASI PUTAR KANAN

No	Gerak Step (kali)				Total waktu 360 derajat (detik)
	45°	90°	180°	360°	
1	2	4	8	15	19 detik
2	2	4	8	15	20 detik
3	2	4	8	15	19 detik
4	2	4	8	15	20 detik
5	2	4	8	15	20 detik

Dari data pengujian pada tabel IX dapat disimpulkan bahwa percobaan untuk menentukan jumlah step pada masing masing sudut yang ditentukan adalah sama. Dan waktu yang yang dicapai dalam 1 putaran adalah 19-20 detik.

8. Pengujian navigasi robot puter kiri

Dalam pengujian navigasi putar kiri ini hal yang akan diuji sama dengan navigasi putar kanan yaitu menguji tingkat keakurasian terhadap sudut 45°, 90°, 180° dan 360° pada robot.

TABEL X. PENGUJIAN NAVIGASI PUTAR KIRI

No	Gerak Step (kali)				Total waktu 360 derajat (detik)
	45°	90°	180°	360°	
1	2	4	8	16	23 detik
2	2	4	8	16	23 detik
3	2	4	8	16	24 detik
4	2	4	8	16	23 detik
5	2	4	8	16	24 detik

Dari data pengujian pada tabel X dapat disimpulkan bahwa percobaan untuk menentukan jumlah step pada masing masing sudut yang ditentukan adalah sama. Dan kemudian waktu yang yang dicapai dalam 1 putaran adalah 23-24 detik.

9. Pengujian keseluruhan

Dalam pengujian keseluruhan ini secara keseluruhan sistem akan diujikan dengan menggunakan sensor ultrasonik sebagai inputan data jarak dimana sensor ultrasonik ini berfungsi sebagai indra pendeteksi jarak pada robot. Tabel XI adalah pengujian robot berdasarkan algoritma yang di berikan.

Tabel XI. Pengujian Keseluruhan

No	Algoritma	Harapan	Waktu (detik)	Hasil
1	ultra[1] < 15 && ultra[4] > 20 && ultra[5] < 20?	Pergerakan Belok Kanan	6	Berhasil
2	ultra[1] < 15 && ultra[4] < 20 && ultra[5] > 20?	Pergerakan Belok Kiri	6	Berhasil
3	ultra[1] > 15 && ultra[4] > 20 && ultra[5] > 20?	Pergerakan Maju	2	Berhasil
4	ultra[1] < 15 && ultra[2] < 15 && ultra[3] < 15?	Pergerakan Putar Kanan	2	Berhasil
5	ultra[1] < 15 && ultra[2] < 15 && ultra[3] > 20?	Pergerakan Putar Kiri	2	Berhasil
6	ultra[1] < 15 && ultra[2] > 15 && ultra[3] < 15?	Pergerakan Putar Kanan	2	Berhasil

7	ultra[1] < 15 && ultra[2] < 15 && ultra[3] < 15 && ultra[4] < 20 && ultra[5] < 20	Pergerakan Mundur dan Pergerakan Balik Kanan	14	Berhasil
9	ultra[1] > 15 && ultra[4] < 20 && ultra[5] < 20 && ultra[6] < 20 &&	Pergerakan Maju	0	Gagal
10	ultra[1] < 15 && ultra[2] < 15 && ultra[3] > 15 && ultra[4] < 20 && ultra[5] > 20	Pergerakan Geser Kiri	3	Berhasil
11	ultra[1] < 15 && ultra[2] > 15 && ultra[3] < 15 && ultra[4] > 20 && ultra[5] < 20	Pergerakan Geser Kanan	3	Berhasil
12	ultra[1] < 20 && ultra[3] < 15 && ultra[5] < 20	Pergerakan Putar Kanan	2	Berhasil
13	ultra[1] < 15 && ultra[2] < 15 && ultra[4] < 20	Pergerakan Putar Kiri	2	Berhasil
14	ultra[6] < 20	Pergerakan Maju	0	Gagal
15	Else	Pergerakan Maju	2	Berhasil

Dari tabel XI hasil pengujian diatas dapat disimpulkan prosentase tingkat keberhasilan menggunakan sensor ultrasonik sebesar 86.6% dan tingkat kegagalan sebesar 13.4%. Diakibatkan dari sensor ultra[6] mengalami kerusakan namun robot masih dapat bernavigasi dengan baik

KESIMPULAN

Robot *legged Quadruped* yang memiliki kaki 4 lebih sulit dalam mempertahankan kestabilan robot yaitu kestabilan untuk menjaga keseimbangan badan keseluruhan robot sampai agar tidak roboh dan dengan memberikan algoritma yang sesuai pada setiap step ayunan pada robot, robot dapat berdiri dengan kokoh tidak jatuh. dan tetap menjaga akurasi pergerakan seperti maju, mundur, belok kanan atau kiri, hadap kanan atau kiri, geser kanan atau kiri dan putar kanan atau kiri dengan melakukan pergerakan navigasi yang sesuai. Dan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa robot bergerak pada jarak 50 cm mengalami kemiringan pergerakan robot saat berjalan dapat disebabkan oleh beberapa keadaan desain penempatan kaki yang kurang presisi walaupun hanya berbeda beberapa mili saja akan tetapi dapat diantisipasi dengan kalibrasi pergerakan servo ke arah CW maupun CCW yang dilakukan di dalam program arduino.

PENGHARGAAN

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada lembaga Jurnal Teknologi Informasi dan Terapan (J-TIT) sebagai media publikasi ilmiah di bidang Teknologi Informasi Terapan yang diselenggarakan oleh Jurusan Teknologi Informasi Politeknik Negeri Jember yang telah memberikan sponsor atau support terhadap publikasi penelitian pada paper ini.

REFERENSI

[1] A. Firman Choiri and B. Widiawan, "Penerapan IC 74LS241 Untuk Multi Aktuator Dynamixel AX-12A Pada Biped Robot," *Pros. SEMNASKIT 2015*, vol. 1, no. 1, pp. 165–169, 2018.

[2] M. M. Gor et al., "Development of a compliant legged quadruped

- robot,” *Sadhana - Acad. Proc. Eng. Sci.*, vol. 43, no. 7, 2018, doi: 10.1007/s12046-018-0918-7.
- [3] B. Wang, Z. Wan, C. Zhou, J. Wu, Y. Qiu, and Z. Gao, “A Multi-module Controller for Walking Quadruped Robots,” *J. Bionic Eng.*, vol. 16, no. 2, pp. 253–263, Mar. 2019, doi: 10.1007/s42235-019-0021-8.
- [4] S. Zhang, M. Liu, Y. Yin, X. Rong, Y. Li, and Z. Hua, “Static Gait Planning Method for Quadruped Robot Walking on Unknown Rough Terrain,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 177651–177660, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2958320.
- [5] T. Aoki, K. Asami, S. Ito, and S. Waki, “Development of quadruped walking robot with spherical shell: improvement of climbing over a step,” *ROBOMECH J.*, vol. 7, no. 1, Dec. 2020, doi: 10.1186/s40648-020-00170-5.
- [6] Atmel, “ATmega8 Datasheet,” *Avr*, p. 331, 2013.
- [7] Atmel, “8-bit Atmel Microcontroller Programmable ATmega128L,” *Www.Atmel.Com/Atmel/Acrobat/2467S.Pdf*, no. 8-bit Atmel Microcontroller, p. 384, 2011, [Online]. Available: <http://www.atmel.com/images/doc2467.pdf>
- [8] Robot Electronic, “SRF04 Technical Documentation.” Accessed: Nov. 30, 2023. [Online]. Available: <https://www.robot-electronics.co.uk/htm/srf04tech.htm>
- [9] R. Singh and T. K. Bera, “Walking Model of Jansen Mechanism-Based Quadruped Robot and Application to Obstacle Avoidance,” *Arab. J. Sci. Eng.*, vol. 45, no. 2, pp. 653–664, Feb. 2020, doi: 10.1007/s13369-019-04135-8.
- [10] C. E. J Mamahit and dan R. Fransiskus Seke, “Pengembangan Sistem Gerak Robot Berkaki Enam,” *J. EDUNITRO J. Pendidik. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 1, pp. 53–60, 2022.
- [11] Hitec, “HS-645MG High Torque, Metal Gear Premium Sport Servo | HITEC RCD USA.” Accessed: Nov. 30, 2023. [Online]. Available: <https://hitecrcd.com/products/servos/analog/sport-2/hs-645mg/product>
- [12] V. Lyashenko, M. A. Ahmad, N. Belova, and S. Sotnik, “Modern Walking Robots: A Brief Overview,” *Int. J. Recent Technol. Appl. Sci.*, vol. 3, no. 2, pp. 32–39, Sep. 2021, doi: 10.36079/lamintang.ijortas-0302.252.
- [13] P. Biswal and P. K. Mohanty, “Development of quadruped walking robots: A review,” *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 12, no. 2. Ain Shams University, pp. 2017–2031, Jun. 01, 2021. doi: 10.1016/j.asej.2020.11.005.
- [14] Y. Shi, S. Li, M. Guo, Y. Yang, D. Xia, and X. Luo, “Structural design, simulation and experiment of quadruped robot,” *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 22, 2021, doi: 10.3390/app112210705.
- [15] G. Chen, S. Guo, B. Hou, and J. Wang, “Virtual Model Control for Quadruped Robots,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 140736–140751, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3013434.
- [16] M. Wang, F. Zhu, Y. Xu, and S. Liu, “Investigation of nanocutting characteristics of off-axis 4H-SiC substrate by molecular dynamics,” *Appl. Sci.*, vol. 8, no. 12, 2018, doi: 10.3390/app8122381.
- [17] T. Srinivas *et al.*, “Valkyrie—design and development of gaits for quadruped robot using particle swarm optimization,” *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 16, 2021, doi: 10.3390/app11167458.
- [18] J. Kim, T. Kang, D. Song, and S. J. Yi, “Design and control of a open-source, low cost, 3d printed dynamic quadruped robot,” *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 9, 2021, doi: 10.3390/app11093762.
- [19] R. Cahyo Prayogo, A. Triwiyatno, and D. Sumardi, “PERANCANGAN ROBOT BERKAKI 4 (QUADRUPED) DENGAN STABILIZATION ALGORITHM PADA UNEVEN FLOOR MENGGUNAKAN 6-DOF IMU BERBASIS INVERS KINEMATIC,” *Transient J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 7, no. 2, pp. 543–551, 2018.
- [20] F. Zhang, S. Teng, Y. F. Wang, Z. J. Guo, J. J. Wang, and R. L. Xu, “Design of bionic goat quadruped robot mechanism and walking gait planning,” *Int. J. Agric. Biol. Eng.*, vol. 13, no. 5, pp. 32–39, 2020, doi: 10.25165/ijabe.20201305.5769.
- [21] L. H. Wong, S. Sivanesan, M. F. A. Faisol, W. A. F. W. Othman, A. A. A. Wahab, and S. S. N. Alhady, “Development of quadruped walking robot with passive compliance legs using XL4005 buck converter,” in *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing Ltd, Jul. 2021. doi: 10.1088/1742-6596/1969/1/012003.
- [22] Y. Zeng, J. Li, S. X. Yang, and E. Ren, “A bio-inspired control strategy for locomotion of a quadruped robot,” *Appl. Sci.*, vol. 8, no. 1, 2018, doi: 10.3390/app8010056.
- [23] S. Soim, Amperawan, M. Anisah, and N. Farhan, “Akselerasi Gerakan Maju Pada Robot Berkaki Empat Menggunakan Fuzzy Logic,” *J. Ampere*, vol. 7, no. 2, p. 123, 2022, doi: 10.31851/ampere.v7i2.9503.
- [24] G. Bledt, M. J. Powell, B. Katz, J. Di Carlo, P. M. Wensing, and S. Kim, “MIT Cheetah 3: Design and Control of a Robust, Dynamic Quadruped Robot,” *IEEE Int. Conf. Intell. Robot. Syst.*, pp. 2245–2252, 2018, doi: 10.1109/IROS.2018.8593885.
- [25] M. Aractingi, P. A. Léziart, T. Flayols, J. Perez, T. Silander, and P. Souères, “Controlling the Solo12 quadruped robot with deep reinforcement learning,” *Sci. Rep.*, vol. 13, no. 1, pp. 1–12, 2023, doi: 10.1038/s41598-023-38259-7.