OPTIMASI PERGERAKAN ROBOT CERDAS BERKAKI DENGAN MENERAPKAN *MODEL REFERENCE ADAPTIVE CONTROL*

MOVEMENT OPTIMIZATION OF LEGGED SMART ROBOT IMPLEMENTING MODEL REFERENCES ADAPTIVE CONTROL

Ary Pradana Kusuma[1*], Agusma Wajiansyah[2], Rihartanto[3]
[123]*Teknologi Informasi, Politeknik Negeri Samarinda*
Jl. Dr. Ciptomangunkusumo, Kampus Gunung Lipan, Samarinda

[*]*Email: arypradanakusuma@gmail.com*

Diterima 05-10-2017	Diperbaiki 05-11-2017	Disetujui 12-11-2017

ABSTRAK

Pergerakan robot berkaki seringkali tidak sesuai dengan yang diinginkan,seperti saat robot diperintah untuk menjalankan gerakan jalan maju, namun hasil dari perintah tersebut tidak sesuai, seperti ketepatan jarak tempuh dan gerakan maju yang dihasilkan tidak lurus melainkan menyerong. Dari permasalahan inidigunakanModel Reference Adaptive Control (MRAC) yang dapat menangani masalah ini dengan mengoptimasi pergerakan kaki robot sehingga pergerakan robot yang didapat sesuai dengan referensi yang diinginkan. Penelitian diterapkan pada robot berkaki jenis hexapod dengan menggunakan tripod gait dan forward kinematic, MRAC diterapkan pada setiap step pada tripod gait dengan menambahkan sensor pergerakan pada setiap kaki sebagai input dan data forward kinematic sebagai model referensinya. Kesalahan yang terjadi pada setiap step pada tripod gait akan dioptimasi pada step berikutnya. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, pada tahap pengujian dengan menggunakan simulasi didapatkan bahwa pergerakan dapat diperbaiki dengan melihat dari pergerakan aktual yang telah sama dengan referensi yang diinginkan.

Kata kunci: MRAC, Robot Cerdas Berkaki

ABSTRACT

The movement of the legged robot often does not match with desired.. Like when the robot is ordered to run forward movement, but the result of the command is not appropriate, such as the accuracy of the mileage and the resulting forward movement is not straight but rather oblique. From this problem used Model Reference Adaptive Control (MRAC) that can handle this problem by optimizing the movement of the robot legs so that the movement of robots that obtained in accordance with the desired reference. The experiments were applied to hexapod-type robots using tripod gait and kinematic forward, MRAC applied to each step of the tripod gait by adding motion sensors to each leg as input and kinematic forward data as reference models. Errors that occur on each step on the tripod gait will be optimized in the next step. From the results of research that has been done, in the testing phase by using the simulation showed that the movement can be improved by looking at the actual movement that has been the same with the desired reference.

Keyword*: MRAC, legged Smart robot*

PENDAHULUAN

Pergerakan robot berkaki sering kali menuai kendala jika diinginkan ketepatan dalam jarak tempuh robot. Hal ini dikarenakan antara lain karena tidak adanya kendali *close loop* dalam pengaturan langkah pada setiap perubahan *gait* yang dilakukan, sehingga hal ini menyebabkan tidak konsistennya jarak setiap langkah yang dihasilkan. Untuk itu diperlukan suatu mekanisme guna mengoptimasi kendali atau pergerakan robot yang diinginkan yaitu ketepatan jarak tempuh robot untuk melakukan 1 basis gerakan melangkah.

Robot hexapodmampu melakukan pergerakan pada permukaan yang kasaratau permukaan tanah yang tidak rata. Robot inidilengkapi dengan sensor yang dapat mendeteksi sumber kebocoran pipa gas. Sistem gerak robot ini menggunakan metode inverse kinematics dalam melakukan pergerakkan kakinya [1]. Permasalahan dalam menggerakkan kaki robot pada robot berkaki dapat diatasi dengan *invers* kinematik yang

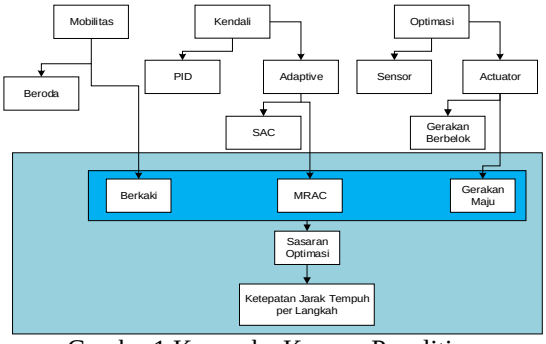
dapat mempercepat proses pemberian sudut kepada setiap kaki untuk bergerak menuju suatu titik tertentu [2]. Menurut peneliti, *invers* kinematik juga dapat diaplikasikan kedalam algoritma lain yang dapat membantu pergerakan robot berkaki seperti algoritma PID. Namun, dalam kesempatan ini penulis mencoba menyelesaikan permasalahan tersebut dengan menerapkan kontroler *Model Reference Adaptive Control* (MRAC).

Kontrol adaptif merupakan suatu bentuk sistem kontrol modern yang memiliki kelebihan yaitu parameter kendali dapat berubah secara dinamis untuk beradaptasi dengan perubahan pada *plant*[3]. *Model Reference Adaptive Control* (MRAC) merupakan salah satu skema kendali adaptif dimana performansi keluaran sistem (proses) mengikuti performansi keluaran model referensinya.

Penggunaan model control adaptif dalam praktis sistem dunia nyata mengalami kesulitan memahami kondisi yang dapat menjamin operasi yang stabil dari system control adaptif dengan lingkungan operasional yang realistis [4]. Tujuan MRC adalah untuk memperoleh *feedback control low* yang mengubah struktur dan dinamika plant agar memiliki perpformansi *closed loop system* yang sama dengan Model referensi [5]

Dari uraian diatas, didesain kendali untuk mengoptimalkan pergerakan pada langkah robot *hexapod* dengan cara pengendalian secara *loop* tertutup (menggunakan aksi umpan balik untuk memperkecil kesalahan sistem) untuk sudut aktuator horizontal dengan menggunakan sistem kendali *Model Reference Adaptive Control* (MRAC). Dengan ketepatan jarak pada setiap langkah *hexapod* maka diharapkan robot *hexapod* dapat dikendalikan untuk bergerak sesuai dengan jarak referensi yang diinginkan.

Dari pemanfaatan metode tersebut, robot diharapkan mampu menjalankan tugas secara adaptif sesuai referensi atau parameter yang ditetapkan. Akan didesain optimasi pergerakan robot berkaki agar didapatkan pergerakan yang ideal dengan parameter yang ditentukan yaitu jarak tempuh robot. Dengan sajian Kerangka konsep penelitian dalam gambar 1 dibawah ini

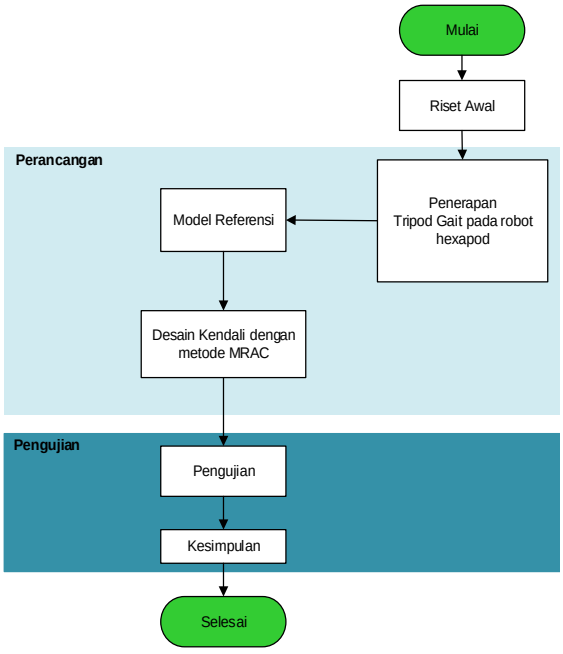


Gambar1 Kerangka Konsep Penelitian

METODOLOGI PENELITIAN

Sebelum melakukan penelitian terlebih dahulu mempelajari segala hal terkait dengan bagian utama topik penelitian yaitu : Teknik Optimasi, *Model Reference Adaptive Control*, dan Robot Berkaki. Sebelum melakukan pengujian terlebih dahulu peneliti membuat rancangan yang meliputi desain kontrol kendali aktuator, basis gerakan robot berkaki dan model simulasi yang akan digunakan untuk menganalisa keluaran dari pergerakan kaki robot secara vertikal maupun horizontal.

Uraian tentang tahapan penelitian yaitu, perancangan, pembuatan, dan pengujian akan dituangkan dalam bentuk *flow diagram* seperti pada gambar 2 yang kemudian akan diuraikan secara ringkas dan jelas dalam bentuk paragraf.



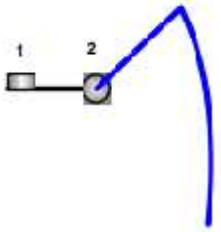
Gambar 2. Metodologi penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan membuat desain konstruksi kaki robot terlebih dahulu beserta model geraknya, dimana sistem pergerakan robot ini menggunakan konsep *tripod gait.* Untuk membuat suatu model referensi, terlebih dahulu menghitung jarak tempuh per *cycle gait* kaki robot yang digambarkan dalam bentuk trigonometri. Kemudian, pada tahap perancangan akan didesain sistem kendali *close loop* robot dengan menerapkan *Model Reference Adaptive Control.* Pengujian penelitian ini dilakukan dengan membuat simulasi menggunakan *tools Microsoft Excel*untuk mengetahui ketepatan parameter yang ditentukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

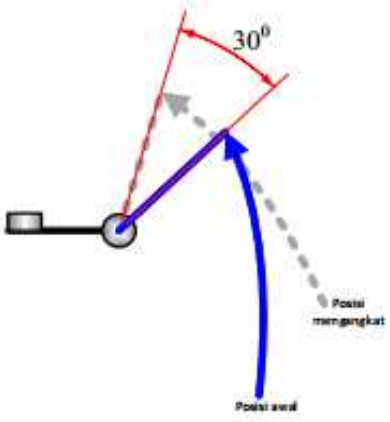
A. Konstruksi Kaki Robot

Robot *Hexapod* adalah robot yang bergerak dengan menggunakan 6 buah kaki. Bentuk dasar kaki robot menggunakan 2 DOF (*Degree of Fredom*) dengan pergerakan horizontal dan vertikal seperti pada gambar 3.



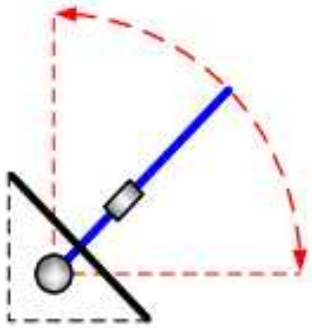
Gambar 3. Bentuk dasar kaki robot

Servo nomor 1 yang merekat pada badan robot digunakan untuk membuat pergerakan horizontal, dan servo nomor 2 digunakan untuk membuat pergerakan vertikal. Gambar 4 dan 5 adalah pergerakan kaki robot secara horizontal dan vertikal.



Gambar 4 Gerakan kaki vertikal

Gerakan vertikal kaki robot yang dimaksud adalah gerakan kaki robot ke atas dan ke bawah, yaitu bergerak pada sumbu y.

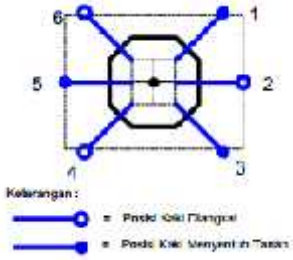


Gambar 5 Gerakan kaki horizontal

Gerakan horizontal kaki robot yang dimaksud adalah gerakan kaki robot ke samping kiri dan samping kanan, yaitu bergerak pada sumbu x.

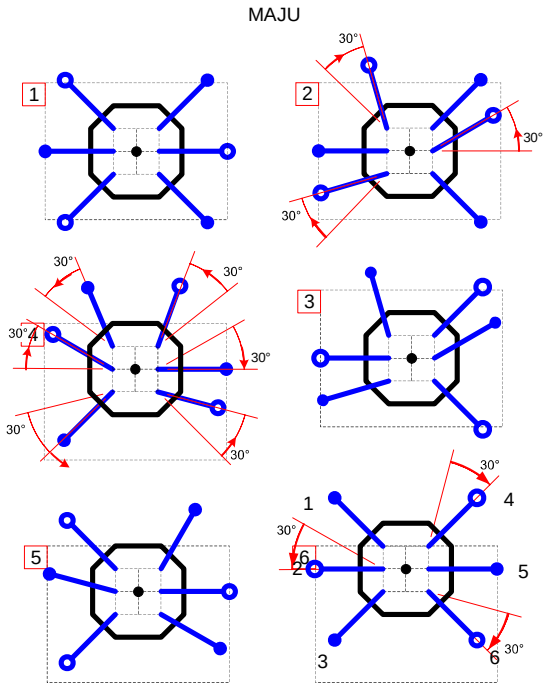
B. Membangun Model Gerak Robot

Mekanisme *sequential* diperlukan agar robot hexapod dapat bergerak sesuai dengan yang diinginkan. Gambar 6 adalah adalah konfigurasi kaki pada robot.



Gambar 6. Posisi kaki robot

Sistem pergerakan robot ini menggunakan konsep *Tripod Gait*. Pada robot *hexapod* memiliki 2 *tripod*, *tripod* pertama terdiri dari kaki depan, belakang pada kaki bagian kiri dan kaki tengah pada kaki bagian kanan, dan sebaliknya *tripod* kedua terdiri dari kaki depan, belakang bagian kanan dan kaki tegang bagian kiri. Untuk setiap *tripod*, kaki diangkat, diturunkan, dan digerakkan maju secara bersamaan. Pada saat berjalan, *hexapod* menggunakan kedua *tripod* melangkah dari satu kaki ke kaki lain. Karena 3 kaki selalu berada di tanah, maka gait tersebut akan selalu stabil.

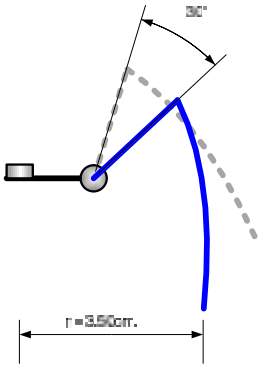


Gambar 7. Gerakan Maju Robot

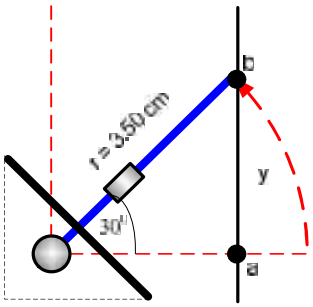
Deskripsi dari gambar 7 sebagai berikut:

1. *Tripod* B (kaki, 1, 3, dan 5) bergerak secara vertikal ke atas.
2. *Tripod* B bergerak secara horizontal kearah depan sebesar tiga puluh derajat
3. *Tripod* B bergerak secara vertikal ke bawah dan *Tripod* A (kaki, 2, 4, dan 6)bergerak secara vertikal ke atas
4. *Tripod* A bergerak secara horizontal ke arah depan sebesar tiga puluh derajatdan *Tripod* B bergerak secara horizontal kembali ke posisi *default*
5. *Tripod* B bergerak secara vertikal ke atas dan *Tripod* A bergerak secaravertikal kembali ke posisi *default*
6. *Tripod* A bergerak secara horizontal kembali ke posisi *default*
7. Langkah-langkah tersebut akan diulang sehingga robot dapat bergerak majusejauh y = 1.75 cm

C. Perhitungan Jarak Tempuh Per *Cycle Gait*



Gambar 8. Jarak antara servo horizontal pada badan robot dengan ujung kaki bagian robot



Gambar 9. Ilustrasi perhitungan jarak gerakan servo horizontal pada kaki robot

Untuk mendapatkan jarak setiap langkah sesuai dengan yang diinginkan maka servo horizontal harus diatur bergerak dengan sudut tertentu, dengan sudut maksimal sebesar 30° dari posisi centernya (0°). Dengan data seperti pada gambar diatas maka akan didapatkan jarak setiap langkah seperti perhitungan sebagai berikut :

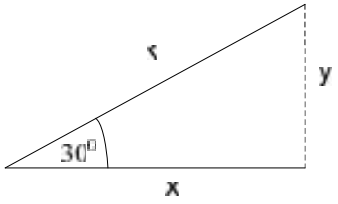
r = 3.5 cm

Dan sudut pergerakan kaki:

Max : α = 300

Min : α = 00

Jika digambarkan dalam bentuk trigonometri akan menjadi seperti gambar 5.8



Gambar 10. Bentuk trigonometri

Jikaαdan$r$diketahui, makauntukmencarijarak$y$diperolehpersamaans ebagaiberikut :

$$\sin \alpha = \frac{y}{r}$$
$$y = \sin \alpha \times r$$

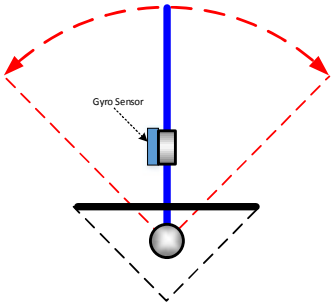
dengan :
y : jarak perpindahan
r : jarak antara servo horizontal dengan ujung kaki bagian robot
sin α : sudut pergerakan

Hasil yang diperolehdaripersamaan di atasadalah …

$$y = \sin \alpha \times r$$
$$y = \sin 30^{0} \times 3.5\,cm$$
$$y = \frac{1}{2} \times 3.5\,cm)$$
$$y = 0.5 \times 3.5\,cm$$
$$y = 1.75\,cm$$

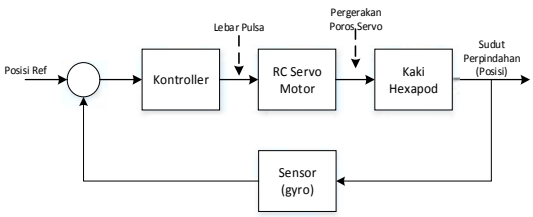
D. Desain Kendali

Untuk mendapatkan jarak setiap langkah yang akurat, maka diperlukan kedali *close loop* khususnya pada servo horizontal. Untuk keprluan tersebut maka diperlukan sebuah sensor yang dapat membaca besar sudut pergerakan hasil dari perputaran servo horizontalnya.



Gambar 11. Peletakan sensor *gyro* untuk mengetahui sudut hasil pergerakan

Dengan penambahan sensor seperti pada gambar 11, maka sistem pergerakan kaki menjadi sistem kendali *close loop.*

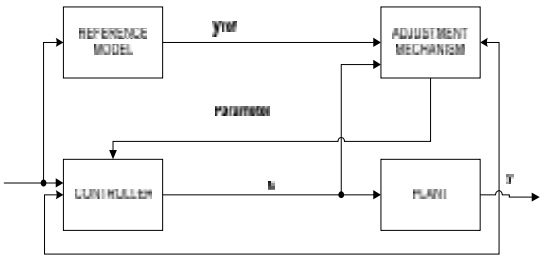


Gambar 12. Desain sistem kendali pergerakan kaki *hexapod*

Sistem kendali yang digunakan adalah control *loop* tertutup atau sistem umpan balik, dimana system tersebut sinyal keluarannya bisa dibandingkan dengan masukan sistem sedemikian rupa agar tindakan pengendalian yang tepat sebagai fungsi dari keluaran dan masukannya bisa terjadi [6].Sinyal keluaran dalam hal ini adalah sudut perpindahan (posisi) pada kaki robot, yang merupakan selisih antara posisi referensi dengan sudut perpindahan (posisi) diumpankan ke kontroler untuk memperkecil kesalahan dan membuat agar keluaran system mendekati nilai yang diinginkan. Untuk mendeteksi kesalahan pada pergerakan kaki robot digunakan sensor *gyro* yang dimuat pada control *loop* tertutup seperti pada gambar 12.

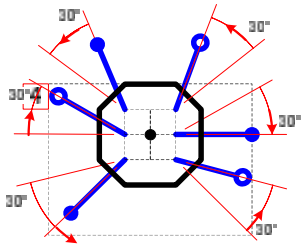
E. Menerapkan *Model Reference Adaptive Control*

Model Reference Adaptive Control merupakan salah satu dari mekanisme kontrol adaptif. Pada dasarnya bertujuan untuk memecahkan masalah yaitu mengoptimasi ketepatan jarak tempuh yang spesifikasi performansinya digambarkan dalam bentuk model referensi dengan sudut pergerakan robot sebagai referensinya [7]. Model ini menyatakan bagaimana proses *output* seharusnya merespon secara ideal. Gambar 12 adalah desain kontroler adaptif model acuan yang akan digunakan :



Gambar 12. *Model Reference Adaptive Control*

Untuk dapat mengoptimalkan pergerakan kaki robot, digunakan *adjustment mechanism* yang terdapat pada kontroler MRAC. *Adjustment Mechanism* didapat dari *reference model* gerak kaki robot, dan deviasi antara *reference model* dan *plant* ketika dijalankan. *Reference model* akan menjadi pembanding dari hasil *plant* yang masuk ke *adjustment mechanism* ketika *controller* di jalankan, kemudian dari perbandingan antara *reference model* dan *plant* terdapat nilai deviasi yang akan digunakan untuk menjalankan *mechanism adjustment* pada *step* selanjutya. Gambar 14 adalah contoh tahapan gerakan maju ke-4.



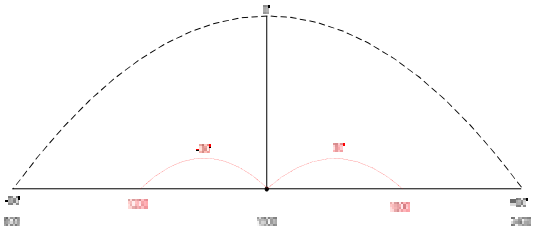
Gambar 14. Tahapan gerakan maju ke-4

Pada *step* ke 4 terjadi *error* sebanyak $+x^0$ pada setiap kaki yang mengalami pergerakan secara horizontal. Nilai *error* pada *step* ke-4 merupakan nilai asumsi yang dimuat pada tabel 1. Untuk contoh data *error* diambil dari *step* ke 4 dimana banyak terjadi pergerakan kaki secara horizontal.

Tabel 1. Data deviasi antara y_{ref} dengan y

Contoh data *step* 4			
Nomor kaki	y_{ref}	Y	Error (x)
1	-30^0	29^0	1^0
2	$+30^0$	28^0	2^0
3	-30^0	28^0	2^0
4	$+30^0$	29^0	1^0
5	-30^0	28^0	2^0
6	$+30^0$	29^0	1^0

Nilai error padatabel 1 di atas nantinya akan dioptimasi pada proses *adjustment mechanism*. Ketika masuk kedalam proses *adjustment*, nilai *error* dalam satuan derajat akan dikonversi menajdi nilai *duty cycle* seperti pada gambar15 :



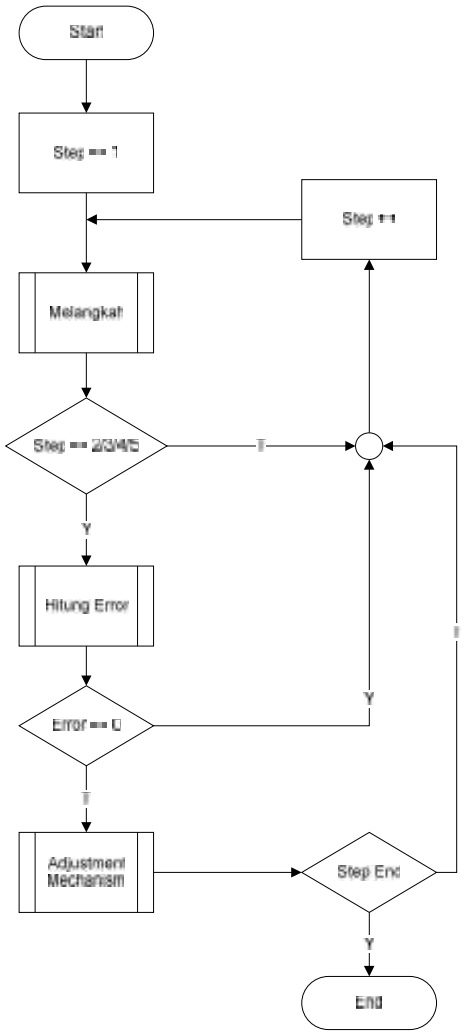
Gambar 15. Rentang sudut pergerakan

Denganperhitungansebagaiberikut :

$$pulse = \frac{y+90^0}{180^0} \times 1800 + 600$$

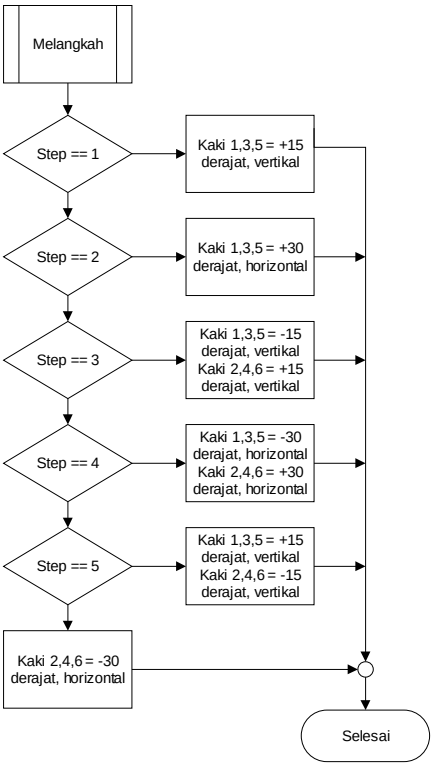
F. Algoritma utama

Seluruh fungsi optimasi pergerakan kaki robot dilakukan dengan menggunakan agoritma utama sesuai dengan kontroler MRAC yang dituangkan dalam gambar 16.

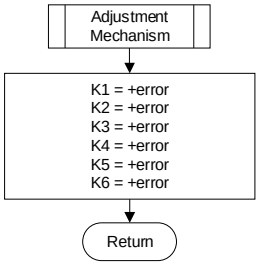


Gambar 16. Algoritma utama

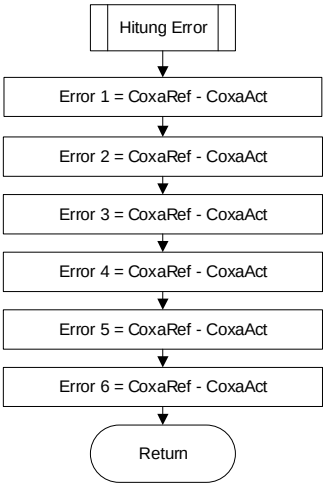
Deskripsi dari gambar 16 adalah menjalankan proses pertama yaitu melangkah. Kemudian menjalankan kondisi gerakan maju untuk kaki nomor 2/3/4/5. Jika kondisi ya, maka akan dihitung *error* yang terjadi pada kaki robot yang bergerak. Jika tidak, maka robot akan melakukan proses pertama. Setelah itu masuk ke dalam proses hitung *error* dan menjalankan kondisi perhitungan *error* pada gerakan kaki robot. Jika *error* = 0, maka robot kembali menjalankan proses pertama. Jika *error* ≠ 0, maka gerakan kaki robot akan di optimasi pada mekanisme penyesuaian. Selanjutnya akan dijalankan kondisi mekanisme penyesuaian. Jika kondisi Ya, adalah tidak terdapat *error* pada pergerakan kaki robot. Jika Tidak, maka robot akan menjalankan kondisi perhitungan *error* kembali hingga *error* terdeteksi = 0.



Gambar 17. Algoritma melangkah



Gambar 18. Algoritma penyesuaian



Gambar 19. Algoritma hitung *error*

G. Pengujian

Pengujian dilakukan dengan menjalankan gerakan maju *step by step* yang di simulasikan menggunakan *tools Microsoft Excel*. Ada 2 data yang di tampilkan ketika robot menjalankan gerakan maju yaitu, data referensi dan data actual. Data actual diperoleh setelah robot menjalankan 1 *step* gerakan maju hanya pada bagian *coxa* atau servo *motor* yang bergeraksecara horizontal. Tabel 2 adalah data referensi yang akan digunakan untuk menjalankan gerakan maju :

Tabel 2. Data model referensi

Model Ref								
Leg Num	Servo Pos	Step						
		0	1	2	3	4	5	6
		Servo Angle						
1	Coxa	0	0	0	0	30	30	0
	Tibia	0	0	0	30	30	0	30
2	Coxa	0	0	30	30	0	0	0
	Tibia	0	30	30	0	0	30	0
3	Coxa	0	0	0	0	30	30	0
	Tibia	0	0	0	30	30	0	30
4	Coxa	0	0	-30	-30	0	0	0
	Tibia	0	30	30	0	0	30	0
5	Coxa	0	0	0	0	-30	-30	0
	Tibia	0	0	0	30	30	0	30
6	Coxa	0	0	-30	-30	0	0	0
	Tibia	0	30	30	0	0	30	0

Nilai referensi diatas akan di jadikan acuan untuk menjalankan gerakan maju. Setelah menjalankan gerakan maju akan diperoleh nilai aktual yang diharapkan sesuai untuk mencapai ketepatan langkah yang diinginkan yang didapat dengan memanfaatkan sensor *gyro* sebagai pendeteksinya.

Tabel 3. Nilai Aktual

Aktual								
Leg Num	Servo Pos	Step						
		0	1	2	3	4	5	6
		Servo Angle						
1	Coxa	0	0	0	0	29	30	0
	Tibia	0	0	0	30	30	0	30
2	Coxa	0	0	33	30	0	0	0
	Tibia	0	30	30	0	0	30	0
3	Coxa	0	0	0	0	28	30	0
	Tibia	0	0	0	30	30	0	30
4	Coxa	0	0	-32	-30	0	0	0
	Tibia	0	30	30	0	0	30	0
5	Coxa	0	0	0	0	-27	-30	0
	Tibia	0	0	0	30	30	0	30
6	Coxa	0	0	-31	-30	0	0	0
	Tibia	0	30	30	0	0	30	0

Sensor *gyro* mutlak ada atau terpasang pada robot, akan tetapi pada penelitian ini tidak membahas bagaimana cara sensor *gyro* tersebut memperoleh nilai actual dari

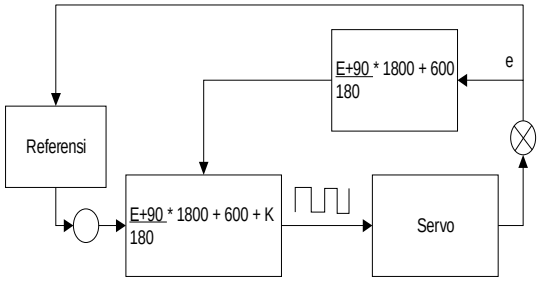
pergerakan robot. Nilai actual didapat dengan asumsi dari hasil pendeteksian sensor *gyro* yang diletakkan di bagian kaki robot. Jika nilai actual tidak sama dengan nilai referensi atau terdapat selisih sekian derajat pada masing-masing pergerakannya, maka itulah yang disebut *error* atau ketepatan langkahnya tidak tepat.

Tabel 4 adalah table nilai *error* yang dibuat dengan asumsi pada nilai actual dikurang nilai referensi :

Tabel 4. Nilai *error*

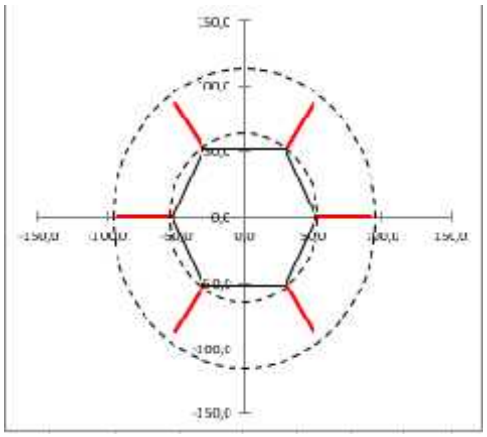
Error								
Leg Num	Servo Pos	Step						
		0	1	2	3	4	5	6
		Servo Angle						
1	Coxa	0	0	0	0	1	0	0
	Tibia	0	0	0	0	0	0	0
2	Coxa	0	0	-3	0	0	0	0
	Tibia	0	0	0	0	0	0	0
3	Coxa	0	0	0	0	2	0	0
	Tibia	0	0	0	0	0	0	0
4	Coxa	0	0	2	0	0	0	0
	Tibia	0	0	0	0	0	0	0
5	Coxa	0	0	0	0	-3	0	0
	Tibia	0	0	0	0	0	0	0
6	Coxa	0	0	1	0	0	0	0
	Tibia	0	0	0	0	0	0	0

Nilai *error* ini akan dikompensasi pada *step* selanjutnya untuk membuktikan apakah mekanisme penyesuaian terbukti dapat bekerja sebagai mana mestinya..Mekanisme ex penyesuaian akan disimulasikan menggunakan *Microsoft Excel* dengan model matematisnya seperti pada gambar 17



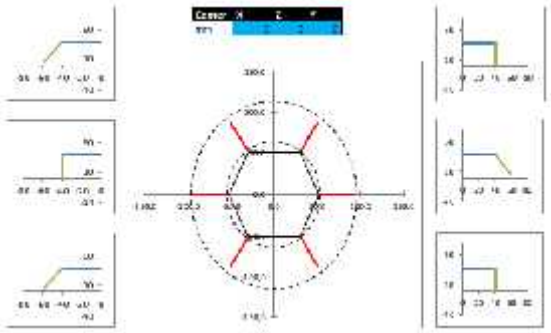
Gambar 20. Model matematis mekanisme penyesuaian

Gambar 20 merupakan model simulasi yang dibuat menggunakan *Microsoft Excel* dengan menyerupai bentuk pada gambar 6.



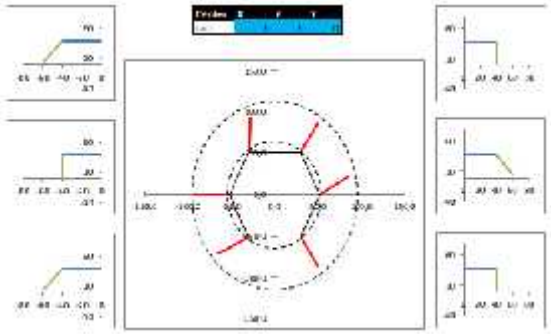
Gambar 21. Posisi kaki robot dalam simulasi

Posisi kaki robot akan berpindah posisi sesuai data referensi ketika memasukkan *step input* == 1 pada simulasi menggunakan *Microsoft Excel* seperti pada gambar 21.



Gambar 22. Tampilan simulasi gerak vertical dan gerak horizontal

Setelah memasukkan *step input* == 1 dengan data model referensi yang tertuang pada tabel 2, terlihat kaki 2, 4 dan 6 bergerak vertikal seperti pada kolom-kolom di sisi kiri dan kanan gambar. Kolom tersebut dibuat untuk menunjukkan pergerakan kaki robot secara vertikal. Gambar 22 akan menunjukkan posisi kaki pada simulasi setelah memasukkan *step input* == 2.



Gambar 23. Posisi kaki pada simulasi *step* == 2

Terlihat perpindahan posisi kaki robot setelah memasukkan *step input* == 2. Kaki robot 2, 4, dan 6 bergerak secara horizontal ke depan sesuai dengan data model referensi pada

tabel 2 Dari dua *step*yang telah dijalankan, kaki robot mendeteksi nilai *error* dikarenakan terdapat deviasi antar data model referensi dengan data model aktual pada tabel 3 Perbedaan nilai *error* tersebut akan ditampilkan pada tabel 4 setelah menjalankan simulasi *step input* == 2 dimana terdapat pergerakan horizontal kaki robot pada *step*tersebut.

Tabel 5. Nilai Aktual setelah *step input* ==2

Legs Angles (Aktual)						
Leg Num	1	2	3	4	5	6
Coxa (deg)	0	33	0	-32	0	-31
Tibia (deg)	0	30	0	30	0	30
Error Coxa	0	-3	0	2	0	1

Selanjutnya *error* akan dioptimasi pada mekanisme penyesuaian dengan mengurangi atau menambah besaran pulsa pergerakan motor servo sesuai dengan akumulasi nilai *error*. Penjelasan perhitungan pulsa ada pada persamaan rentang sudut gerakan dan gambar 15. Tabel 6 adalah nilai pulsa pergerakan motor servoseteah menjalankan *step input* == 2.

Tabel 6. Nilai pulsa pergerakan motor servo setelah *step input* == 2

Legs Angles (Ref) & Kontrol Signal						
Leg Num	1	2	3	4	5	6
Coxa (deg)	0	30	0	-30	0	-30
Tibia (deg)	0	30	0	30	0	30
Coxa Servo (uS)	1500	1800	1500	1200	1500	1200
Tibia Servo (uS)	1500	1800	1500	1800	1500	1800

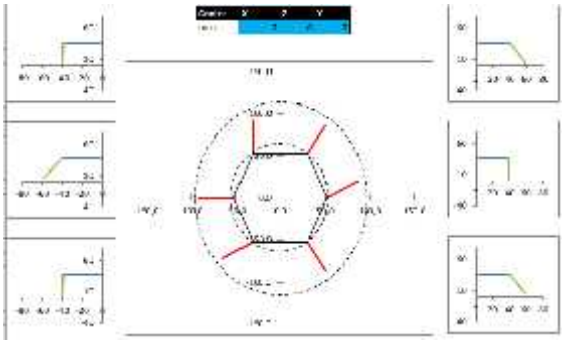
Dan tabel 7 merupakan penambahan dan pengurangan nilai pulsa pergerakan motor servoyang dikirim setalah melakukan proses optimasi nilai *error* pada mekanisme penyesuaian yang dikerjakan pada *step input* == 3.

Tabel 7. Nilai pulsa setelah optimasi

Legs Angles (Ref) & Kontrol Signal						
Leg Num	1	2	3	4	5	6
Coxa (deg)	0	30	0	-30	0	-30
Tibia (deg)	30	0	30	0	30	0
Coxa Servo (uS)	1500	1770	1500	1220	1500	1210
Tibia Servo (uS)	1800	1500	1800	1500	1800	1500

Dari data pada tabel 7 terlihat bahwa ada perubahan dan perbedaan besar pulsa yang dikirim untuk melakukan gerakan pada motor servosetelah dilakukan proses optimasi dengan data pada tabel 6.

Setelah menjalankan dan menguji 3 tahapan *step input* yang diantaranya terdapat proses optimasi yang dikerjakan pada *step input* == 3, maka *output* dari proses optimasi tersebut menunjukkan posisi kaki akan kembali kepada posisi yang sesuai dengan nilai referensi yang diasumsikan yang ditunjukkan pada gambar 24.



Gambar 24. *Output* atau posisi kaki setelah optimasi

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa Metode *Model Reference Adaptive Control* (MRAC) terbukti dapat diimplementasikan untuk mengoptimasi pergerakan robot dengan menggunakan control *loop* tertutup dengan mengubah nilai pulsa gerak motor servo pada saat perpindahan *step.*

SARAN

Penelitian ini tidak diimplementasikan ke objek terkait, pada penelitian selanjutnya diharapkan konsep yang telah diuji ini dapat diimplementasikan dan menggunakan data real yang diperoleh dari kinerja sensor.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh dosen terkait pada penelitian ini juga kepada rekan-rekan sejawat JTI Politeknik Negeri Samarinda.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Avrilyantama, H, Rivai, M, Purwanto, D, "Pengembangan Robot Hexapod untuk Melacak Sumber Gas", *Jurnal Teknik ITS Vol. 4 No. 1* (2015)

[2] Kusuma, J.W. "Penerapan Invers Kinematik Terhadap Pergerakan Kaki Pada Robot Hexapod", Oktober 02, 2013 http://eprints.mdp.ac.id/id/eprint/942, *STMIK GI MDP, Teknik Informatika (2013)*

[3] Izhak Barkana, Howard Kaufman. ”Simple adaptive control a stable direct model reference adaptive control methodology brief survey”. *International Journal (2007)* IFAC

[4] Setyaningrum, D, Effendi, R, Fatoni, A, “Desain dan Implementasi *ModelReferenceAdaptive Control* untuk Pengaturan *Tracking* Optimal Posisi Motor DC”, *Jurnal Teknik POMITS, Vol 1, No. 1, (2012) 1-6*

[5] Ioannou, 2003. “Robust Adaptive Control”,*University of Southern California – Prentice Hall.*

[6] Hidayat, L, Iswanto, Muhammad, H, “Perancangan Robot Pemadam Api Divisi Senior Berkaki”, *Jurnal Ilmiah Semest Teknika, Vol.14, No.2* (Nov,2011) 112-116

[7] Sudewo, T, Iskandar, E, Astrowulan, K, ”Disain dan Implementasi Kontrol PID *Model Reference Adaptive Control* untuk *Automatic Safe Landing* Pada Pesawat UAV *Quadcopter*”, *Jurnal Teknik ITS, Vol 1, No. 1* (sept, 2012) ISSN: 2301-9271