

SIMULASI DAN EKSPERIMEN KONTROL AUTOMATIC TURRET GUN

Mohamad Nasyir Tamara¹⁾

Bambang Pramujati

Hendro Nurhadi

Endra Pitowarno

Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

¹⁾nasir_meka@pens.ac.id

Abstrak

Penelitian ini mempresentasikan metode Active Force Control (AFC) sebagai sebuah metode kontrol yang diaplikasikan pada *Automatic Turret Gun (ATG)*. Metode ini membandingkan gaya referensi aktuator dengan gaya aktual. Keunggulan metode AFC adalah kemampuannya menangani gangguan secara efektif tanpa perhitungan matematis yang rumit. Metode AFC ini menggunakan metode Crude Approximation (CA) dalam loop internal kontroler AFC sebagai estimator matrik inersia yang merupakan bagian penting dalam loop kontrol.

Simulasi tanpa beban pada gerakan azimuth menunjukkan kontroler PID menghasilkan kepresisian paling baik dengan Mean Square Error (MSE) 0 derajat sedangkan metode RACAFC dan RAC memberikan MSE 0.267 derajat. Pada pengujian elevasi, metode RAC menunjukkan hasil paling baik dengan perkiraan MSE terhadap target tembakan adalah 2.42 derajat, sedangkan metode PID dan RACAFC 2.5 dan 2.46 derajat. Saat simulasi dengan beban metode RACAFC memberikan kepresisian paling baik yaitu dengan MSE 0.267 dan 2.46 derajat, sedangkan metode PID sebesar 4.24 dan 10.52 derajat. Metode RAC menghasilkan MSE 0.7 dan 2.87 derajat. Dengan melakukan penambahan beban performa kontroler PID menurun.

Dalam implemetasi terhadap gangguan pada rig yang telah dibangun, metode RAC dan RACAFC menghasilkan trayektori gerakan yang lebih halus dan osilasi minimum dibandingkan dengan kontroler PID. Pada kondisi sistem terbebani metode ini lebih tetap dapat mempertahankan performanya. Namun demikian secara keseluruhan metode-metode

tersebut tetap dapat mencapai titik referensi pada akhir gerakannya baik terkena gangguan atau tidak.

Kata-kata kunci: Automatic Turret gun, PID, RAC, RACAFC, INS, matrik inersia

Abstract

This research presented Active Force Control (AFC) as a control method which is applied to Automatic Turret gun (ATG) in ground combat vehicles. This method compares the reference force conducted by actuator with actual force of the mechanical systems that arise due to disturbances. The advantage of AFC method is its ability to handle disturbances effectively without complicated mathematical calculations. The AFC method uses Crude Approximation (CA) in the internal loop controller. AFC as inertia matrix estimator as an important part in the control loop.

Simulation without load on the azimuth movement shows PID controller produces the best precision with MSE of 0 degrees while RACAFC and RAC method provide MSE 0.267 degrees. In simulation on the elevation movement, the RAC method showed the best results with an estimated MSE of the targets shot of 2.42 degrees, while the PID and RACAFC method are 2.5 and 2.46 degrees. When simulation is conducted with additional load RACAFC method gives the best precision with a MSE of 0.267 and 2:46 degrees, while the PID method was 4.24 and the 10.52 degrees. RAC method produces MSE of 0.7 and 2.87 degrees. With the added load the performance of PID controller decreases.

In the experiment on the constructed rig, RAC and RACAFC scheme produce smoother movement trajectory and minimum oscillation compared to the PID controller. In loaded conditions these methods are able to maintain their performance. However, these three methods can still achieve a reference point with or without load in the end of travel time.

Keywords: Automatic Turret gun, PID, RAC, RACAFC, INS, inersia matrix

1. PENDAHULUAN

Turret gun adalah senjata proyektil dengan mekanisme putar dalam orientasi azimuth dan elevasi yang memungkinkan senjata ditembakkan ke berbagai arah. *Platform* ini dapat dipasang pada sebuah bangunan atau struktur kendaraan tempur. *Turret gun* dapat dipersenjatai dengan satu atau lebih senapan mesin, meriam

otomatis, senjata kaliber besar, atau peluncur rudal. jenis-jenis *turret gun* dan aplikasinya pada berbagai kendaraan tempur dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. *Turret gun* pada berbagai kendaraan tempur

Salah satu aspek penting yang dikembangkan pada *turret gun* adalah ketepatan dan kecepatan untuk mencapai posisi target. Isu dari permasalahan kontrol pada *turret gun* lebih pada aspek metode kontrol yang tepat karena factor dinamika sistem. Sistem kontrol sebagai otak sangat mempengaruhi desain kontroler turret gun. Pada penelitian ini, sebuah metode kontrol yang dapat mengkompensasi gangguan-gangguan secara efektif diusulkan pada *turret gun* yaitu Active Force Control (AFC). Diharapkan dengan mengimplementasikan AFC pada dinamika sistem, efek yang disebabkan oleh gangguan internal atau eksternal baik yang diketahui atau tidak, perubahan parameter, dan variasi dari kondisi operasi dapat secara signifikan diatasi.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Kontrol *Turret Gun*

Di awal pengembangannya, *turret gun* sangat sulit dikendalikan. Hal ini merupakan sebuah pekerjaan yang berat untuk mengarahkan senjata ke target dengan akurasi tertentu. Terlebih lagi dengan geometri yang besar dan berat beresiko tinggi ketika digerakkan dalam kecepatan tinggi. Selanjutnya dengan berkembangnya teknologi elektronika.

Kontrol PID merupakan metode kontrol konvensional yang di awal perkembangannya diaplikasikan juga pada *turret gun*.

Namun karena karakteristik kontrol PID dengan parameter konstanta yang tetap, membuat metode itu kurang *reliable* untuk *plant* yang disertai gangguan atau parameter yang berubah. Untuk meningkatkan performa kontrol klasik PID dan menjadikannya adaptif terhadap perubahan, metode *gain scheduling* dan kontroler tipe *switching* juga diimplementasikan.

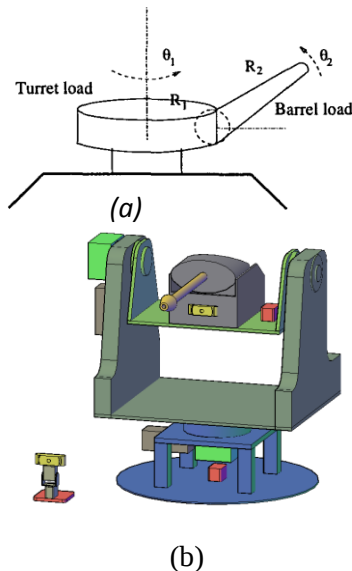
Tian J.H. et al [1] menggunakan metode *intelligent sliding mode controller* (SMC) dengan menggabungkan *Neural Network* (NN) dan *non-singular* SMC untuk menghilangkan *chattering* dari SMC. *Neural Network* (NN) digunakan sebagai estimator dari kontrol ekivalen dan gangguan sekaligus secara paralel bekerja sama dengan SMC untuk mengidentifikasi *error* dari model.

Beberapa metode kontrol lainnya juga telah diimplementasikan dalam pengaturan gerakan *turret gun*. Mayoritas pekerjaan ini dikonsentrasikan pada stabilitas gerakan *turret* dan penolakan gangguan baik yang muncul dari dinamika struktur mekanik, friksi yang timbul dari komponen-komponen yang bergerak, dan *uncertainty* dari medan tempur. Selain itu faktor vibrasi juga menjadi parameter yang perlu dipertimbangkan karena gangguan jenis ini akan berulang-ulang terjadi pada sistem dengan frekuensi dan amplitud terentu yang dapat mengurangi kestabilan dan performa sistem. Gangguan-gangguan tersebut memberi efek perancangan kontroler *turret* menjadi lebih kompleks. Metode *Variable structure control* (VSC) memberikan *robustness* terhadap perubahan parameter ketika sistem pada kondisi *sliding mode* (Raphael D. et al [2]), metode lainnya diterapkan untuk menjamin *state variable* dari sistem loop tertutup sehingga menjadi terpusat terhadap *reference state* dengan bantuan *extended state observer* dengan mengestimasi ketidaktentuan inersia dan gangguan eksternal (Yuanqing Xia et al [3]). *Model predictive control* (MPC) diterapkan pada model linier dari *turret gun* karena kemampuannya dalam menangani keterbatasan sistem (Guatam K. et al [4]). Dengan banyaknya problematika yang muncul ditambah dengan sistem yang tidak linier yang terdiri dari multi bodi, multi input, dan multi output maka metode *fuzzy logic* diusulkan (M. Galal et al [5]). Sistem

kontrol cerdas diterapkan dan digabungkan dengan sistem kontrol konvensional dengan harapan dapat mengatasi gangguan eksternal dan gangguan parameter tidak tentu secara otomatis (Tian J. H. et al [1]). Metode kontrol yang digunakan adalah *nonsingular terminal sliding mode* dan *radial basis function neural network*.

2.2 Pemodelan Sistem

Model *turret gun* terdiri dari base yang berputar (*turret*) dan laras (*gun*). Struktur mekanik seperti ini diilustrasikan sama dengan robot manipulator dengan dua joint. Gambar 2(b) memperlihatkan ilustrasi mekanik *turret gun*. Model matematis dibangun dengan asumsi bahwa struktur *turret* dianggap rigid dan pejal berupa silinder yang berputar pada pusat lingkaran. Sedangkan struktur *gun* dianggap rigid dan pejal berupa silinder yang berputar dengan ujung silinder sebagai poros putarnya Gambar 2(a).



Gambar 2. (a) Ilustrasi Turret Gun
(b) Rig Eksperimen Turret Gun

Dua beban pada sistem ini yaitu *turret* dan *gun* masing-masing digerakkan oleh motor. Parameter yang perlu diketahui adalah m_1 dan R_1 adalah massa dan radius dari *turret* dan m_2 dan R_2 adalah massa dan radius dari *gun*. Berdasarkan persamaan Euler-Lagrange maka formulasi model matematis adalah sebagai berikut:

$$D(\theta)\ddot{\theta} + C(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta} + G(\theta) = \tau \quad (1)$$

$$\theta = [\theta_1, \theta_2]^T, \tau = [\tau_1, \tau_2]^T \quad (2)$$

$$D(\theta) = \begin{bmatrix} D_{11} & 0 \\ 0 & D_{22} \end{bmatrix}, C(\theta, \dot{\theta}) = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} \\ C_{21} & C_{22} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$$G(\theta) = \left[0, \frac{1}{2}m_2gR_2 \cos \theta_2 \right]^T \quad (4)$$

$$D_{11} = \frac{1}{2}m_1R_1^2 + m_2R_1^2 + m_2R_1R_2 \cos \theta_2 + \frac{1}{3}m_2R_2^2 \cos^2 \theta_2$$

$$D_{22} = \frac{1}{3}m_2R_2^2$$

$$C_{11} = -m_2R_1R_2 \cos \theta_2 \dot{\theta}_2$$

$$C_{12} = \frac{1}{3}m_2R_2^2 \sin(2\theta_2) \dot{\theta}_1$$

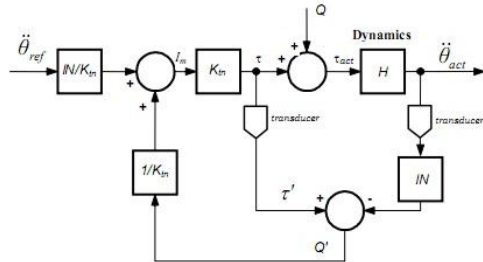
$$C_{21} = \left(\frac{1}{2}m_2R_1R_2 \sin \theta_2 + \frac{1}{6}m_2R_2^2 \sin(2\theta_2) \right) \dot{\theta}_1$$

$$C_{22} = 0$$

2.3 Active Force Control (AFC)

Konsep yang mendasari AFC diterapkan pada sistem rotasi dinamis disajikan dengan mengacu pada Gambar 3. Skema AFC dapat dilihat pada Gambar 3 di dalam kotak merah bergaris putus-putus. Metode AFC adalah teknik yang bergantung pada estimasi yang tepat terhadap parameter inersia atau massa dari dinamika sistem, pengukuran percepatan aktual. Dalam simulasi

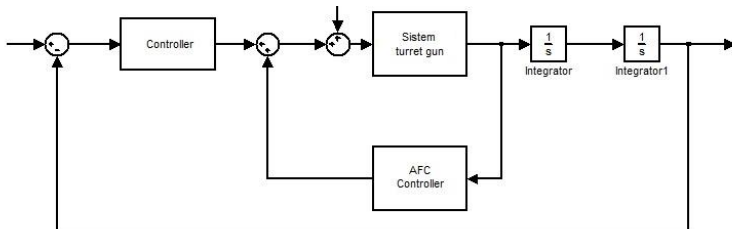
teoritis, adalah normal jika pemodelan sensor diasumsikan dan noise pada sensor benar-benar diabaikan. Dalam metode AFC, terlihat bahwa sistem yang mengalami sejumlah gangguan akan tetap stabil dan robust melalui tindakan kompensasi dari strategi pengendalian.



Gambar 3. Blok Skematik Kontrol AFC

3. METODE

Metode kontrol stabilisasi sistem *turret gun* yang diusulkan pada penelitian ini adalah kontrol RAC ditambah dengan metode AFC sebagai *disturbance cancellation*. Skema kontrol yang diusulkan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Ilustrasi Kontrol Dasar Turret Gun

AFC merupakan metode yang bekerja efektif ketika muncul gangguan. Oleh karena itu metode ini diimplementasikan pada ATG dengan memperhatikan faktor-faktor gangguan yang ada seperti penambahan payload pada sistem *turret gun* dan vibrasi.

Model dinamika yang disederhanakan berdasarkan Gambar 3 dan Pengukuran Q' (nilai gangguan yang diestimasi) sekaligus hubungannya dengan torsi dapat diperoleh dengan persamaan berikut

$$\tau_{act} = \tau + Q = I(\theta)\ddot{\theta}_{act} \quad (5)$$

$$Q' = \tau' - \ddot{\theta}'_{act}IN' \quad (6)$$

$$\tau' = I'_m K_{tn} \quad (7)$$

$$Q' = I'_m K_{tn} - \ddot{\theta}'_{act}IN' \quad (8)$$

$$\tau = \left(\frac{\ddot{\theta}_{ref}IN'}{K_{tn}} + \frac{Q'}{K_{tn}} \right) K_{tn} \quad (9)$$

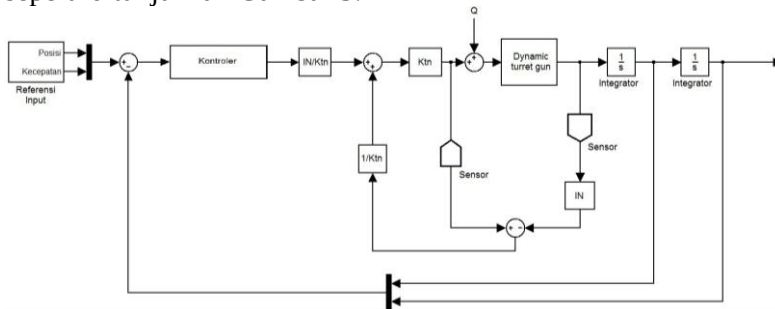
$$\tau = \left(\frac{\ddot{\theta}_{ref}IN'}{K_{tn}} + \frac{I'_m K_{tn} - \ddot{\theta}'_{act}IN'}{K_{tn}} \right) K_{tn} \quad (10)$$

$$\tau = \ddot{\theta}_{ref}IN' - \ddot{\theta}'_{act}IN' + I'_m K_{tn}$$

$$\tau = IN'(\ddot{\theta}_{ref} - \ddot{\theta}'_{act}) + I'_m K_{tn}$$

$$\tau = IN'(\ddot{\theta}_{ref} - \ddot{\theta}'_{act}) + I'_m K_{tn} + Q \quad (11)$$

Persamaan 12 dikenal sebagai persamaan output AFC, sehingga model lengkap skema kontrol metode AFC adalah seperti ditunjukkan Gambar 5.

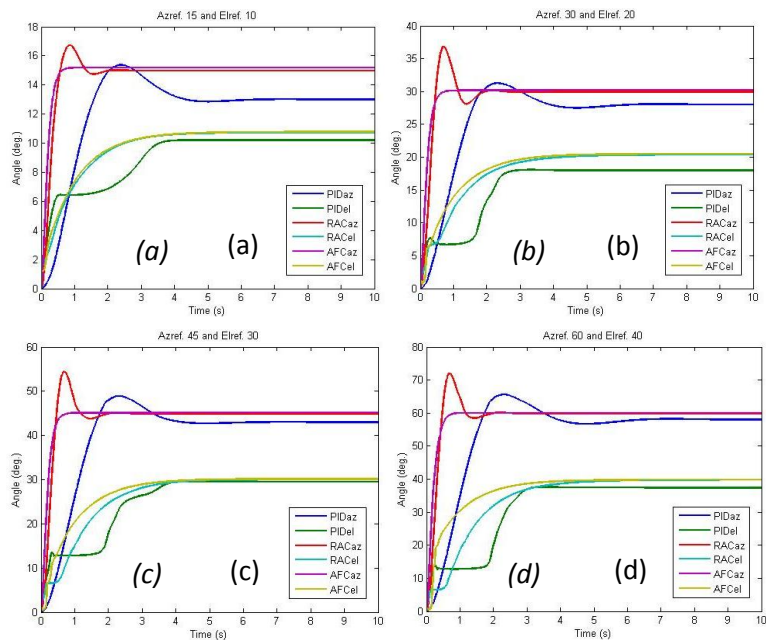


Gambar 5. Diagram Skema Kontrol RACAFC

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Simulasi

Pada bagian ini dipelajari perbandingan masing-masing kontroler untuk gaya konstan atau torsi yang dianggap sebagai muatan dinamis. Nilainya dapat disesuaikan untuk menemukan kondisi maksimum di mana kontroler tidak dapat mencapai target secara akurat atau tepat, atau di mana kecepatan terdegradasi dari spesifikasi yang diperlukan. Metode kontrol yang dibandingkan adalah PID, RAC, dan AFC. Untuk pengujian dengan gangguan, dengan parameter kontrol yang sama gangguan simulasi diatur masing-masing untuk *turret* dan gun 30 Nm dan 20 Nm. Hasilnya ditunjukkan dalam Gambar 7(a) hingga 7(d). Dari Gambar 7, ini perlu dicatat bahwa indeks az dan el masing-masing mewakili azimut dan elevasi.



Gambar 7. Diagram Skema Kontrol RACAFC

Dari hasil simulasi telah dibandingkan metode kontrol yang berbeda diterapkan dalam ATG. Untuk sistem dengan efek inersia yang tinggi, pengendali PID tidak memiliki kinerja yang diperlukan. Hal ini dapat dilihat dari hasil simulasi (Gambar 7 a-d) dengan *overshoot* dalam gerakan azimuth dan elevasi. Selain itu, waktu respon untuk mencapai target membutuhkan sekitar 3 - 6 detik. Di sisi lain, RAC menunjukkan peningkatan kinerja yang nyata dibandingkan dengan metode sebelumnya (PID). Dengan peningkatan waktu respon 2 dan 5 detik dengan gerakan yang lebih tepat. Turret mengalami *overshoot* yang jauh lebih rendah dengan waktu respon yang sedikit lebih lama. Kinerja superior dalam simulasi ini ditunjukkan pada Gambar 7 (a) ke (d), kendali ATG menggunakan metode AFC. Dengan menggabungkan RAC dan AFC, metode ini telah sepenuhnya menghilangkan *overshoot*, dan juga meningkatkan waktu respons untuk mencapai sudut yang ditargetkan. Ini menunjukkan bahwa sistem ini mampu mengurangi waktu hingga 1 dan 4 detik.

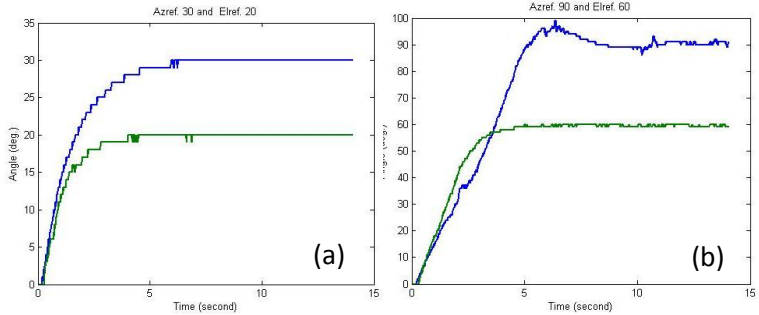
4.2 Eksperimen

Pada bagian ini beberapa hasil percobaan menggunakan metode kontrol yang diusulkan akan digambarkan dalam grafik. Parameter yang digunakan adalah:

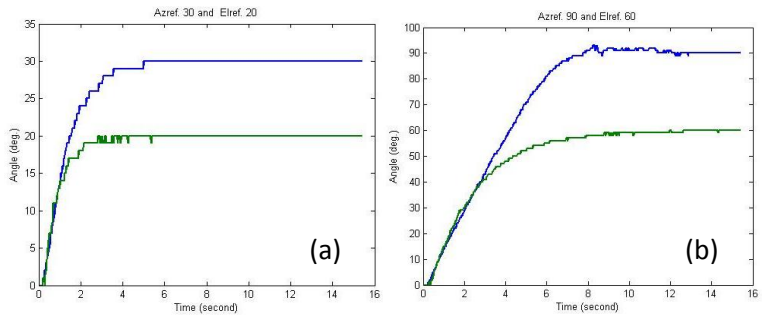
Radius *turret* (r_1): 0,25 m Panjang pucuk (r_2): 0,135 m

Massa *turret* (m_1): 93,85 kg Massa senjata (m_2): 23 kg

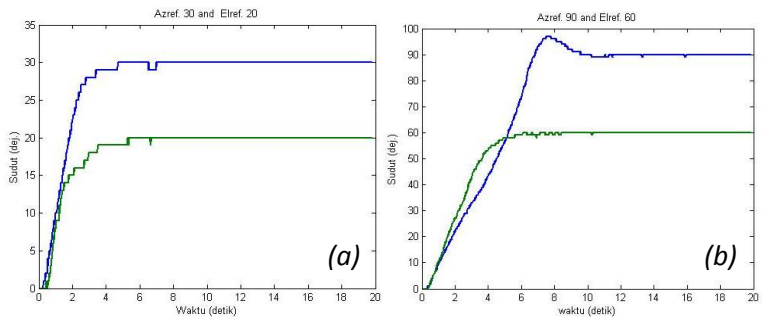
Untuk skema AFC sebagaimana disebutkan di atas bahwa itu benar-benar bergantung pada perkiraan matriks massa inersia, dalam penelitian ini nilai inersia diperoleh melalui pemodelan struktur mekanis



Gambar 8. Hasil Eksperimen dengan Kontrol PID



Gambar 9. Hasil Eksperimen dengan Kontrol RAC



Gambar 10. Hasil Eksperimen dengan Kontrol RACAFC

Dari eksperimen seperti yang ditunjukkan Gambar 8-10 dengan atau tanpa beban, tampaknya skema RAC dan skema

RACAFRC relatif lebih stabil dibandingkan dengan kontroler PID. Kontroler PID memberikan hasil yang bagus untuk azimuth sementara sudutnya kurang dari 90 derajat. Untuk elevasi pada 20 derajat sudut referensi, kontroler PID mampu mengkompensasi osilasi dan *overshoot*. Namun demikian ketika gerakan sudut semakin besar dalam kontrol PID, elevasi mulai menghasilkan *overshoot* meskipun pada akhir traverse masih dapat mencapai target. *Overshoot* muncul pada sudut 40 dan 60 derajat. Ketika sudut referensi kurang dari 45 derajat baik dalam azimuth dan elevasi kinerja kontroler PID dan skema RAC adalah sama. Keduanya masih bisa menjangkau semua sudut referensi yang diberikan. Metode AFC mampu menghasilkan trayektori gerakan dengan lancar dibandingkan dengan pengendali lain. Efek gangguan ditolak lebih baik daripada yang lain.

5. PENUTUP

Hasil simulasi menunjukkan bahwa ketiga kontroler mampu menunjukkan performa yang baik ketika diuji tanpa beban/gangguan dengan selisih error pencapaian posisi target oleh turet dan gun kurang dari 1 derajat. Performa yang signifikan ditunjukkan oleh kontroler PID yang menghasilkan selisih 0 derajat terhadap target pada gerakan azimuth.

Superioritas performa metode AFC tampak ketika AGT diuji dengan beban tambahan yang diasumsikan sebagai gangguan dengan nilai 30 kg. RACAFRC menunjukkan error yang paling kecil, yaitu dengan selisih terhadap target adalah 0.19, 0.15, 0.1, 0.05, 0.01, 0, 0, 0 derajat untuk gerakan azimuth.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bavota, G., De Lucia, A., & Oliveto, R. (2011). Identifying extract class refactoring opportunities using structural and semantic cohesion measures. *Journal of System and Software*, 397–414.

- [2] Brown, W., Malveau, R., & Mowbray, T. (1998). *AntiPatterns: Refactoring Software, Architectures, and Projects in Crisis*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- [3] Coad, P., & Yourdon, E. (1991). *Object-Oriented Design*, 1st edition. Prentice Hall.
- [4] Fowler, M. (1999). *Refactoring: Improving the Design of Existing Code*. Addison-Wesley.
- [5] Gui, G., & Paul D., S. (2008). New Coupling and Cohesion Metrics for Evaluation of Software Component. Young Computer Scientists, 2008. ICYCS 2008. The 9th International Conference for (hal. 1181-1186). Zhang Jia Jie, Hunan, China: IEEE.
- [6] Marie-Catherine de Marneffe, B. M. (2006). Generating typed dependency parses from phrase structure parses. 5th International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC 2006). Genoa, Italy.
- [7] Opdyke, W. F. (1992). *Refactoring object-Oriented Frameworks*. Urbana, Illinois: University of Illinois at Urbana-Champaign.
- [8] Poshyvanyk, D., Guéhéneuc, Y., Marcus, G. Anton, A., & Anton, G. (2007). Feature location using probabilistic ranking of methods based on execution scenarios and information retrieval. *IEEE Transactions on Software Engineering* 33, 420–432.
- [9] Thomas H. Cormen, C. E. (2009). *Introduction To Algorithms: Third Edition*. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology.