

Aplikasi Graf pada Deskripsi Sistem Lokalisasi Robot Humanoid dengan Metode Monte Carlo Localization dan K Means Clustering

Miftahul Mahfuzh (13513017)
Program Studi Teknik Informatika
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia
mahfuzh74@gmail.com

Abstrak— Sistem Lokalisasi adalah hal yang sangat vital dalam bidang kecerdasan buatan saat ini, terkhusus di bidang robotika humanoid. Sistem ini bekerja dengan berpatokan pada objek-objek tertentu di sekitarnya, dan mengolah data dari sensor-sensor yang ada, selama jangka waktu tertentu sehingga didapatkan nilai koordinat posisi robot terhadap lingkungan. Dalam pengembangannya telah ditemukan berbagai metode untuk sistem lokalisasi ini, diantaranya metode Filter Kalman, metode SL (Simple Localization), metode MCL (Monte Carlo Localization), dan metode SRL (Sensor Resetting Localization). Makalah ini menggunakan graf dalam mendeskripsikan salah satu metode sistem lokalisasi robot humanoid, yaitu Vision Based Monte Carlo Localization, dengan K Means Clustering sebagai metode ekstraksi solusi dari sistem lokalisasi ini.

Kata Kunci—Lokalisasi, Monte Carlo, Metode.

I. PENDAHULUAN

Masalah utama pada sistem lokalisasi adalah penentuan posisi robot terhadap lingkungan dengan menggunakan kalkulasi gerakan dan data bacaan sensor. Pada robot humanoid soccer misalnya, dengan berbagai kondisi dan situasi lingkungan, kemungkinan bacaan sensor yang kurang presisi dan kesalahan kalkulasi data cukup besar. Meskipun berbagai macam solusi telah ditemukan dalam memecahkan masalah lokalisasi ini, tapi kondisi robot dengan berbagai macam lingkungan dan situasi yang dihadapi sangat mempengaruhi hasil yang diperoleh.

Solusi yang mendapatkan hasil yang presisi biasanya memakan waktu lama dan boros memori, dan solusi yang cepat biasanya menghasilkan hasil yang kurang optimum. Meskipun beberapa pendekatan seperti metode Filter Kalman mendapatkan hasil lokal yang cukup presisi, metode ini gagal untuk menemukan posisi global (Kose, H., et al, 2006).

Sistem lokalisasi memanfaatkan objek-objek di lingkungan robot sebagai landmark untuk menjadi patokan posisi terhadap lingkungan. Dengan kondisi real time dan keterbatasan komputasi pada robot, dibutuhkan metode yang cepat sekaligus hemat memori dalam menyelesaikan masalah lokalisasi ini. MCL (Monte Carlo

Localization) adalah salah satu metode lokalisasi yang cukup populer dan mudah untuk diimplementasikan, dan bekerja cukup baik untuk berbagai kondisi dan situasi lingkungan.

Dalam implementasinya pada robot, sistem lokalisasi ini sangatlah penting, karena agar bisa menyelesaikan tugasnya dengan baik, robot harus mengetahui posisinya relatif terhadap lingkungan, dan harus mengenali medan. Tanpa sistem lokalisasi, robot tidak akan memiliki wawasan tentang lokasinya dan memiliki kemungkinan yang sangat besar untuk gagal dalam melaksanakan misi yang diberikan.

II. METODE-METODE LOKALISASI

Triangulasi[3] adalah metode lokalisasi paling sederhana yang memanfaatkan data wilayah yang kemudian digunakan untuk menentukan sebuah titik yang memiliki jarak terdekat dengan posisi robot saat ini. Tapi pada aplikasinya, robot tidak pernah mengetahui dengan pasti dimana posisinya pada waktu tertentu dikarenakan berbagai kondisi lingkungan yang dihadapi dan ketidakakuratan sensor yang dimiliki. Oleh karena itu, berbagai metode pendekatan untuk menghitung nilai probabilitas posisi robot telah ditemukan sehingga masalah akurasi tersebut dapat terpecahkan.

Metode Filter Kalman[3] adalah salah satu bentuk pendekatan yang umum diketahui untuk masalah ini. Metode ini mengintegrasikan nilai ketidakpastian yang ada dengan membuat asumsi dari distribusi gauss untuk merepresentasikan semua solusi termasuk posisi, dan odometri. Metode ini beroperasi secara rekursif[2] pada data masukan untuk menghasilkan estimasi statistik yang optimal dari sistem yang ada. Metode ini dapat dikatakan efisien karena representasinya yang sangat singkat. Namun metode ini memiliki beberapa kekurangan, seperti tidak dapat menangani model gerakan dan pengukuran non Gaussian, tidak dapat kembali dari kegagalan pelacakan, dan tidak dapat menangani kasus kepadatan yang banyak seperti yang ditemukan dalam lokalisasi global.

Metode lain yang cukup populer adalah ML (Markov

Localization). Pendekatan ini[3] mirip dengan Filter Kalman, tapi tidak membuat asumsi dengan distribusi gauss melainkan menerima segala bentuk distribusi untuk digunakan. Meskipun kelebihan ini membuatnya fleksibel, ini menyebabkan ML menghasilkan beban komputasi yang besar.

Monte Carlo Localization (MCL) adalah salah satu variasi dari ML yang mengimplementasikan metode *particle filter*. Metode[5] ini bekerja dengan mendiskritkan lokasi di sekitar robot, merepresentasikannya menjadi sejumlah sampel dengan bobot tertentu. Setiap sampel adalah sebuah lokasi dan bobotnya adalah suatu nilai positif yang disebut *importance factors*, yang totalnya adalah 1. Faktor-faktor ini menunjukkan nilai kepentingan sampel, yang ditentukan dari nilai probabilitas sampel dari pengamatan terakhir. Dibandingkan[2] dengan Filter Kalman yang nilai error nya selalu bertambah besar dikarenakan sifatnya yang rekursif, MCL bersifat iteratif dan dapat disederhanakan sehingga komputasinya tidak terlalu berat dan tidak terlalu memakan waktu.

III. MONTE CARLO LOCALIZATION & K MEANS CLUSTERING

Seperti yang dijelaskan sebelumnya, MCL mengimplementasikan metode *particle filter* pada algoritma lokalisasinya. Selanjutnya pada makalah ini akan diberikan penjelasan lebih dalam tentang implementasi MCL, dan K Means Clustering sebagai metode ekstraksi solusi pada sistem lokalisasi ini.

Pada sistem lokalisasi ini, terdapat dua proses yaitu : prediksi posisi yang menggunakan metode MCL dan ekstraksi solusi dari hasil prediksi yang menggunakan K Means Clustering.

Secara umum MCL memiliki tahapan sebagai berikut[2] :

1. Mendefinisikan masukan
2. Membuat masukan acak sesuai distribusi tertentu
3. Melakukan perhitungan deterministik terhadap masukan
4. Menyimpulkan hasil dari perhitungan

Syarat-syarat penggunaan metode MCL ini adalah[2] :

- ✓ Sampel yang digunakan harus acak
- ✓ Harus ada petanya
- ✓ Model odometri yang bagus
- ✓ Sampel yang diambil cukup banyak

Jika ditinjau dari garis besarnya, MCL ini terdiri dari 2 fase[2] :

1. Fase prediksi
Untuk setiap $P S_{k-1}^i$
Buat 1 sampel S_k^i dari $P (X_k | S_{k-1}^i, U_{k-1})$
2. Fase update
Untuk $j : 1..N$
Buat 1 sampel S_k^j dalam S_k dari $\{S_k^i, M_k^i\}$

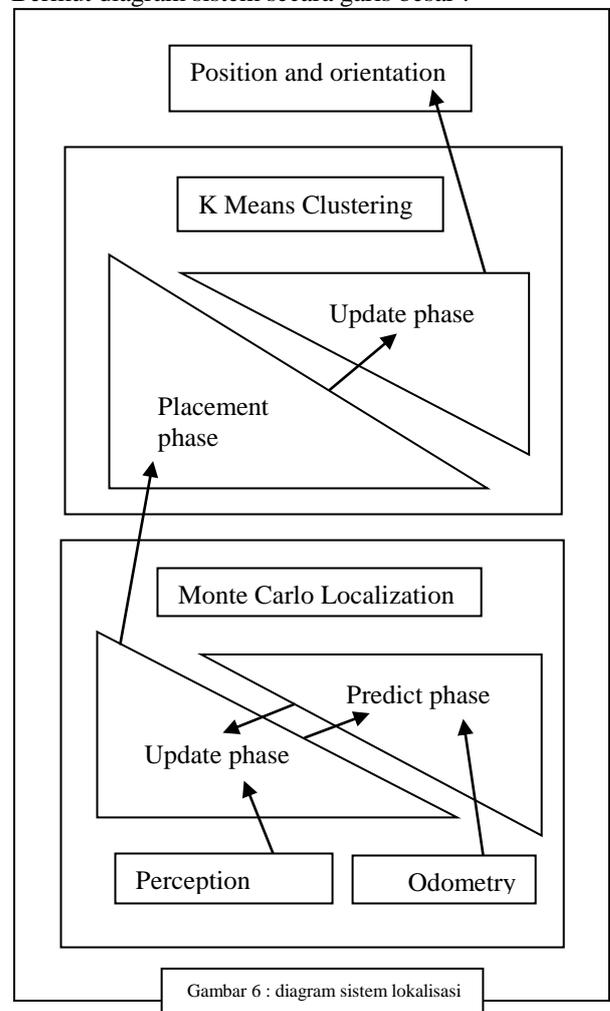
Filter diinisialisasi saat $k = 0$, yaitu dengan sampel acak $S_0 = \{S_0^i\}$ dari fungsi $P(X_0)$ awal

Selanjutnya, adalah proses ekstraksi solusi, proses ini merupakan[2] cara untuk mendapatkan posisi eksak yang digunakan sebagai perkiraan posisi robot. Proses prediksi posisi belum menghasilkan posisi yang eksak, artinya masih terdapat posisi-posisi yang belum unik saat perhitungannya. Pada proses ekstraksi solusi ini kita menggunakan metode K Means Clustering yang secara garis besar terdiri dari dua fase[1] :

1. Fase penempatan
Menempatkan setiap data X_p ke dalam kelompok S_i
 $S_i^{(t)} = \{x_p : \|x_p - m_i^{(t)}\| \leq \|x_p - m_j^{(t)}\| \forall 1 \leq j \leq k\}$
Setiap X_p pasti masuk, ada kemungkinan lebih > 1 pada S
2. Fase update
Menentukan rata-rata dari $S_i^{(t)}$ untuk membuat S yang baru

$$m_i^{(t+1)} = \frac{1}{|S_i^{(t)}|} \sum_{x_j \in S_i^{(t)}} x_j$$

Berikut diagram sistem secara garis besar :



Gambar 6 : diagram sistem lokalisasi

IV. TEORI GRAF [6]

Graf digunakan untuk merepresentasikan objek-objek diskrit dan hubungan antara objek-objek tersebut.

Definisi Graf yaitu $G = (V, E)$ yang dalam hal ini :

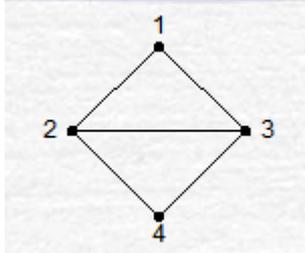
- V = himpunan tidak-kosong dari simpul-simpul
 $= \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$
- E = himpunan sisi yang menghubungkan sepasang simpul $= \{e_1, e_2, e_3, \dots, e_n\}$

Jenis - jenis graf :

1. Berdasarkan ada tidaknya gelang atau sisi ganda pada graf

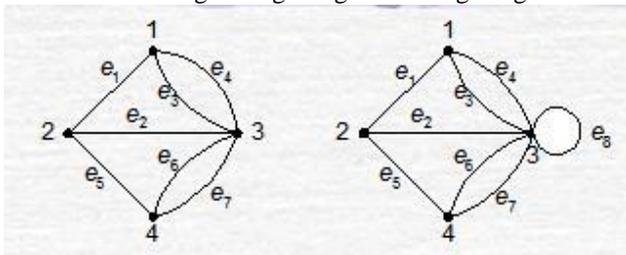
Untuk jenis ini, graf dibagi menjadi dua :

- Graf sederhana adalah graf yang tidak mengandung gelang maupun sisi-ganda.



Gambar 1 : Contoh graf sederhana

- Graf tak sederhana adalah graf yang mengandung sisi ganda atau gelang.

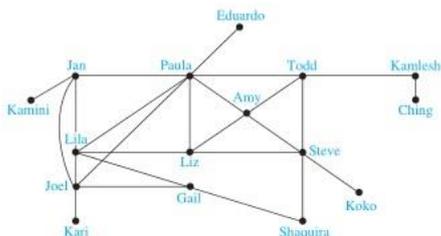


Gambar 2 : Contoh graf tak sederhana

2. Berdasarkan orientasi / arah pada sisi

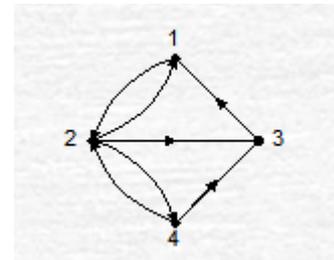
Untuk jenis ini, graf dibagi menjadi dua :

- Graf tak berarah, adalah graf yang sisinya tidak mempunyai arah



Gambar 3 : Contoh graf tak berarah

- Graf berarah, adalah graf yang sisinya mempunyai arah

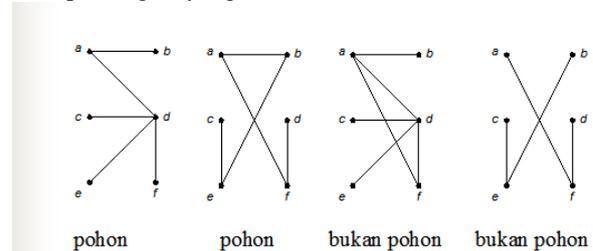


Gambar 4 : Contoh graf berarah

Beberapa istilah dalam graf antara lain :

1. Ketetanggaan : dua buah simpul yang dihubungkan dengan satu/lebih busur dikatakan bertetangga
2. Bersisian : simpul dan busur yang saling berhubungan dikatakan bersisian.
3. Derajat : jumlah sisi yang bersisian dengan suatu simpul
4. Lintasan : barisan selang-seling dari simpul dan sisi dari satu simpul ke simpul lain
5. Sirkuit : lintasan yang berawal dan berakhir di simpul yang sama

Salah satu bentuk dari graf adalah pohon. Pohon merupakan graf yang tidak memiliki sirkuit.



Gambar 5 : Pohon dan bukan pohon

V. APLIKASI GRAF PADA DESKRIPSI MCL

Pada graf sistem lokalisasi ini, simpul yang berbentuk persegi tumpul menunjukkan bahwa sistem sedang berada di suatu state yang berbeda dari sebelumnya, simpul yang berbentuk oval menunjukkan bahwa state itu adalah pembagi ke state selanjutnya, jika hasil dari state oval itu adalah Y maka sistem akan berlanjut ke state yang baru, yang berbeda dengan hasil T.

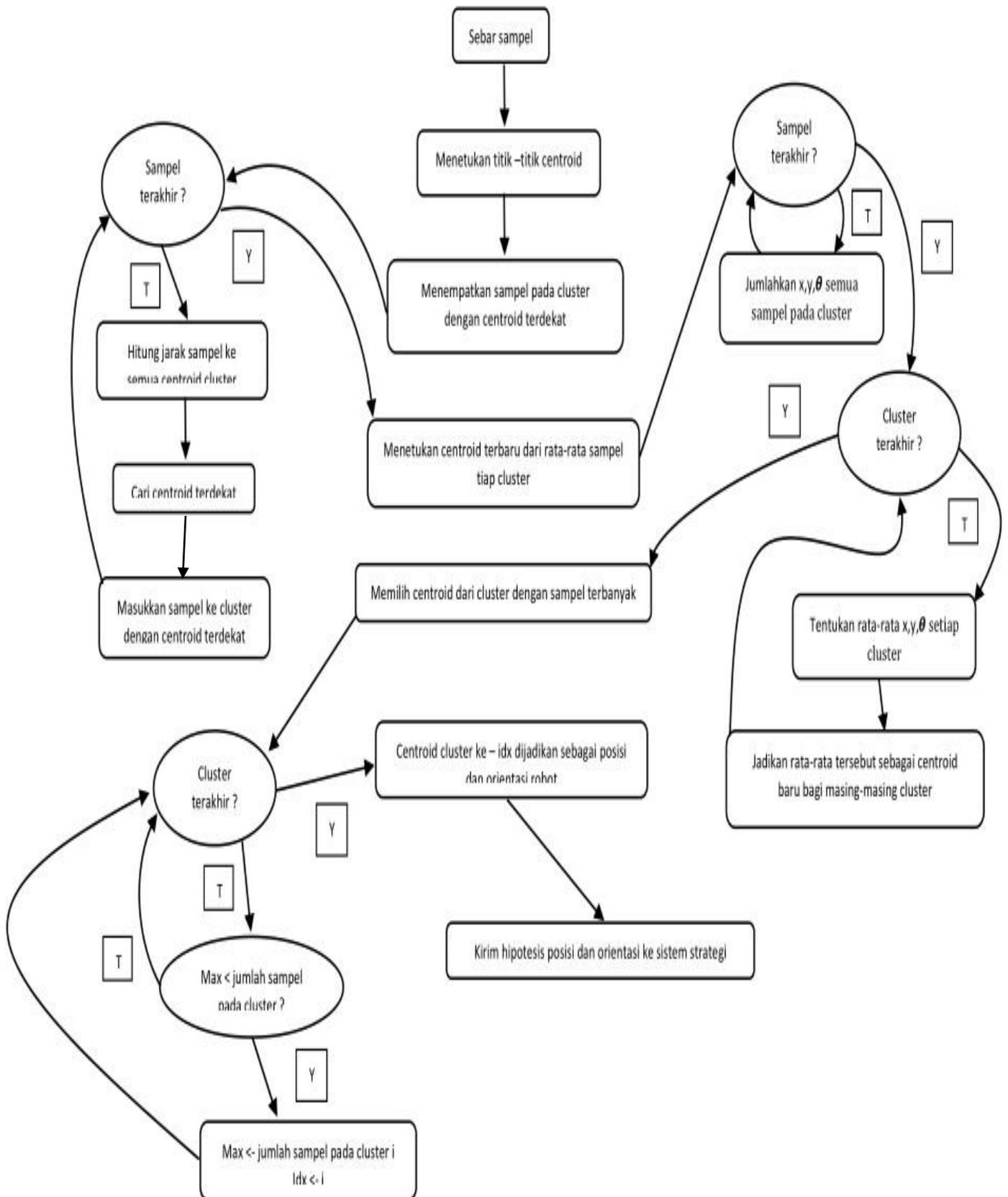
selanjutnya sesuai gambar, akan dijelaskan alur dari graf sistem lokalisasi ini.

Pada awalnya sistem akan menebar sampel secara acak dengan distribusi tertentu, lalu sistem akan menentukan titik-titik centroid sebagai pusat dari kumpulan sampel yang telah terbentuk, yang disebut cluster.

Lalu sistem akan mengelompokkan sampel pada cluster dengan algoritma pencarian nilai minimum jarak antara sampel tersebut dengan tiap centroid yang telah terbentuk.

Kemudian sistem akan menghitung rata-rata seluruh sampel pada tiap cluster untuk dijadikan centroid baru bagi cluster tersebut.

Lalu sistem akan menentukan posisi dan orientasi robot dengan algoritma pencarian nilai maksimum jumlah sampel pada setiap cluster.



Gambar 7 : Deskripsi sistem lokalisasi robot

VI. KESIMPULAN

Graf yang dapat digunakan untuk pendeskripsian metode MCL merupakan graf berarah. Graf berarah[6] ini mirip seperti pohon keputusan, tetapi karena ada busur yang kembali pada state tertentu dan membentuk sirkuit, representasi graf lebih tepat untuk digunakan.

Dalam berbagai situasi dan kondisi yang dihadapi, robot harus dapat mengetahui posisi dan orientasinya dengan tepat agar dapat menentukan tindakan terbaik yang akan dilakukan selanjutnya.

VII. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Imre Nagi atas bantuan sumber tugas akhir dan papernya tentang MCL yang sangat membantu dalam proses penyelesaian makalah ini.

REFERENCES

- [1] Kristanto, K. Mutijarsa, B.R. Trilaksono and H. Hindersah. *Localization System Design for Nao on RoboCup with Monte Carlo Localization*. Electrical Engineering final year project. Institut Teknologi Bandung, Indonesia, 2012.
- [2] Nagi, I., M. Sholihah and H.M. Putra. *Humanoid Robosoccer League*. Electrical Engineering final year project. Institut Teknologi Bandung, Indonesia, 2013.
- [3] Kose, H., B. Celik & H.L. Akin. *Comparison of Localization Methods for a Robot Soccer Team*. International Journal of Advanced Robotic Systems, Vol. 3, No. 4. Istanbul, 2006.
- [4] Laue, T., T.J. de Haas, A. Burchardt, C. Graf, T. Röfer, A. Härtl, A. Rieskamp. *Efficient and Reliable Sensor Models for Humanoid Soccer Robot Self-Localization*. Proceedings of the 4th Workshop on Humanoid Soccer Robots. Paris, 2009.
- [5] Negenborn, R., *Robot Localization and Kalman Filters*. Institute of Information and Computing Sciences, Utrecht University, 2003.
- [6] Afifah, K., *Aplikasi Graf untuk Penentuan Aksi Robot Sepak Bola*. Informatics Engineering paper project. Institut Teknologi Bandung, Indonesia, 2013.

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa makalah yang saya tulis ini adalah tulisan saya sendiri, bukan saduran, atau terjemahan dari makalah orang lain, dan bukan plagiasi.

Bandung, 27 November 2013



Miftahul Mahfuzh (13513017)