

LAPTOP-BASED ROBOT SEBAGAI PRAMUSAJI RESTORAN DENGAN MENERAPKAN METODE PENGOLAHAN CITRA DAN KONTROL FUZZY

I Nyoman Kusuma Wardana^{*}, I Gusti Agung Made Sunaya^{**}, Kadek Amerta Yasa^{***}

Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Bali
Jalan Kampus Bukit Jimbaran, Badung, Bali, Indonesia

Email: ^{*} kusumawardana@pnb.ac.id ^{**} a_sunaya@pnb.ac.id ^{***} amerta.yasa@pnb.ac.id

Abstrak

Penelitian yang bertujuan untuk menghasilkan sebuah purwarupa robot pramusaji dengan metode pengolahan citra dan kontrol fuzzy telah diajukan melalui penelitian ini. Robot berbasis visual akan menggantikan penggunaan sensor infra merah melalui penggunaan sebuah kamera untuk mengikuti alur garis tertentu. Karena sifat pengolahan citra yang bersifat kompleks, pemrosesan citra akan menggunakan laptop (*laptop-based robot*). Dari laptop, sinyal akan dikirim ke mikrokontroler, dan selanjutnya menggerakkan robot. Penelitian ini merupakan kelanjutan dari penelitian sebelumnya, yaitu dengan menambahkan kontrol fuzzy untuk navigasi robot. Metode penelitian yang digunakan pada robot visi ini adalah penentuan nilai tengah (centroid) pada lintasan yang tertangkap kamera. Selanjutnya, dari nilai centroid ini, sistem kontrol fuzzy dapat dirancang. Metode fuzzy yang digunakan adalah Mamdani, yang memiliki dua input (error dan kecepatan error), dan dua buah output (nilai PWM untuk motor kanan dan motor kiri). Berdasarkan hasil percobaan, diperoleh hasil bahwa proses pengolahan citra sangat menentukan bagaimana kontroler dapat bekerja. Sesuai dengan kondisi percobaan (tingkat intensitas cahaya, tekstur lantai, spesifikasi robot, dan sebagainya), robot dapat mengikuti garis dengan baik, walaupun isu kecepatan masih perlu ditingkatkan

Kata Kunci—*laptop-based robot, robot pramusaji restoran, line follower, kontrol fuzzy*

1. Pendahuluan

Teknologi robotika telah mendominasi sektor-sektor industri otomasi. Keberadaan robot menjadi sangat penting, terutama untuk meningkatkan efektivitas dalam proses produksi. Selain meningkatkan efektivitas dunia industri, robot juga dapat digunakan untuk melakukan interaksi yang atraktif dengan manusia, terutama untuk keperluan promosi atau tujuan khusus lainnya [1],[2]. Khusus untuk penerapan di restoran, robot yang didesain khusus dapat membantu sebagian kegiatan di restoran dan dapat menarik perhatian pelanggan untuk mengunjungi restoran [3]. Robot yang digunakan sebagai pramusaji adalah robot bergerak (*mobile robot*). Pada robot bergerak, terdapat berbagai metode yang dapat digunakan untuk mengontrol mobilitas robot, diantaranya menggunakan sistem penuntun laser [4], menggunakan metode pengolahan citra [5], menggunakan deteksi sumber suara atau bekerja secara otonom [3], [6].

Penelitian yang bertujuan untuk menghasilkan sebuah purwarupa robot pramusaji restoran dengan metode pengolahan citra akan diajukan melalui penelitian ini. Pengolahan citra yang dimaksud adalah prosedur untuk mengikuti suatu garis tertentu (*line follower*). Umumnya, robot yang mengikuti garis akan menyertakan beberapa sensor garis, seperti sensor yang berbasis inframerah yang sangat peka terhadap intensitas yang diterimanya.

Garis dan latar (lantai) akan memiliki perbedaan warna yang menyolok, misalnya garis hitam di atas latar putih [7]. Hasil pantulan sinar inframerah yang diterima oleh sensor akan berbeda antara hasil pantulan yang melalui garis dan latar.

Pada penelitian ini, robot berbasis visual akan menggantikan penggunaan sensor inframerah melalui penggunaan sebuah kamera untuk mengikuti alur garis tertentu. Karena sifat pengolahan citra yang bersifat kompleks, pemrosesan citra akan menggunakan laptop (*laptop-based robot*). Perangkat lunak MATLAB yang terinstal pada laptop akan digunakan untuk memproses citra dan desain kontrol fuzzy. MATLAB memiliki kemudahan dan ketangguhan dalam hal pemrosesan citra dan akuisisi data [8]. Selain itu, MATLAB telah menyediakan Fuzzy Logic Toolbox untuk mendesain logika fuzzy yang akan digunakan sebagai sistem kontrol. Robot akan didesain agar dapat mengenali meja pelanggan sesuai dengan input dari operator. Mekanika robot akan didesain menggunakan teknologi sistem tertanam (mikrokontroler).

2. Tinjauan Pustaka

Teknologi robotika telah ditempatkan pada berbagai sektor industri dan berperan penting dalam pengembangan sector tersebut [8]. Perkembangan

teknologi di bidang robotika sangat terkait dengan perkembangan dunia sistem tertanam (*embedded systems*), seperti semakin meningkatnya kemampuan kapasitas, serta ketersediaan mikrokontroler dan mikroprosesor di pasaran. Mikrokontroler dan mikroprosesor merupakan komponen pengontrol utama pada robot. Perkembangan di bidang teknologi sistem tertanam tidak hanya berlangsung di sektor industri produksi, namun juga di sektor lain, salah satunya adalah bidang pariwisata. Karena sektor pariwisata sangat terkait erat dengan kepuasan konsumen, maka teknologi sistem tertanam banyak diarahkan ke multimedia, misalnya penggunaan *digital signage* untuk sistem informasi perhotelan [9]. Walaupun menarik secara visual, keberadaan *digital signage* menjadi kurang atraktif bagi pengunjung suatu objek wisata tertentu, karena sifatnya tidak bergerak (*mobile*).

Agar lebih menarik, sistem tertanam dikembangkan lebih jauh menjadi robot. Robot secara alami memiliki daya tarik tersendiri. Bahkan, untuk beberapa seniman, teknologi robot telah diubah menjadi robot seni, yaitu robot yang memiliki nilai artistik, baik dari segi bentuk, teknologi, maupun kegunaannya [10]. Untuk bidang pariwisata, terutama untuk sektor jasa seperti restoran, beberapa robot telah diciptakan untuk menggantikan sebagian dari tugas-tugas staf restoran. Jyh-Hwa dan tim (2009) telah mengembangkan suatu robot pelayan restoran. Penelitian ini menekankan pada penggunaan laser sebagai sistem navigasi dari robot dan manajemen order pelanggan [4].

Laser dapat secara tepat memposisikan robot. Namun demikian, teknologi ini tergolong sulit dijangkau oleh peneliti dengan pendanaan yang rendah. Sebagai alternatif, navigasi robot dapat memanfaatkan sistem pengikut garis (*line follower*). Pakdaman dan tim (2010) telah menulis beberapa isu terkait desain dari suatu robot pengikut garis yang memanfaatkan sensor inframerah [7].

Salah satu kelemahan dari robot pengikut garis yang menggunakan sensor inframerah adalah keberadaan derau (*noise*) dan reliabilitas dari sensor tersebut. Sensor sepenuhnya tergantung dari kinerja rangkaian elektronika yang menyusun sistem deteksi tersebut. Selain rangkaian elektronika, sensitivitas sensor menjadi isu yang penting untuk dipertimbangkan. Untuk beberapa kasus, kerusakan komponen tertentu menjadi sulit untuk dideteksi. Namun demikian, robot dengan tipe ini terbilang cukup sederhana dari segi algoritma pemrogramannya.

Untuk meniadakan penggunaan berbagai sensor yang memiliki kemungkinan kegagalan secara elektronik, beberapa robot telah diarahkan menjadi robot visi. Robot visi adalah robot yang berbasis sensor visual. Tantangan utama dari robot berbasis visual adalah algoritma pemrogramannya. Bahkan untuk suatu masalah

yang serupa, algoritma tertentu mungkin cocok diterapkan untuk satu kasus, namun menjadi tidak tepat untuk kasus yang lainnya [8]. Pada kebanyakan kasus nyata, posisi meja dari suatu restoran akan bervariasi. Robot yang berbasis *line follower* seringkali dihadapkan pada kasus untuk memilih suatu persimpangan. Hal ini bisa diamati dari penerapan garis yang saling menyilang satu-sama lain. Robot harus dapat memutuskan akan berbelok ke kanan, ke kiri, atau bahkan tetap berjalan lurus. Penentuan arah ini tentunya terkait dengan nomor meja atau posisi meja tempat dimana konsumen yang bersangkutan berada. Untuk kasus-kasus persimpangan seperti ini, kecepatan gerak robot harus disesuaikan agar dapat menentukan keputusan yang tepat [7].

3. Metode Penelitian

Rancangan Umum Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan yang telah dilakukan oleh Penulis [11]. Pada penelitian sebelumnya, Penulis telah mengembangkan algoritma pengolahan citra untuk sistem navigasi robot. Namun demikian, penelitian sebelumnya tidak melibatkan penggunaan algoritma kontrol tertentu, melainkan hanya melalui pengaturan PWM (*Pulse Width Modulation*) pada roda-roda robot [11].

Alur penelitian secara umum diperlihatkan pada Gambar 1. Kamera (atau *webcam*) akan dimanfaatkan sebagai sensor visual untuk mendeteksi keberadaan garis. Hasil tangkapan kamera akan diolah oleh laptop menggunakan perangkat lunak MATLAB. Laptop yang telah terinstal program MATLAB akan sepenuhnya mengontrol aktivitas robot, baik untuk mengolah citra maupun mengatur sinyal kontrol untuk mikrokontroler. Pada penelitian ini, sebuah papan Arduino digunakan sebagai platform untuk mikrokontroler. Pada papan ini, sebuah mikrokontroler tipe ATmega328 telah terpasang, dan siap untuk diprogram. Arduino selanjutnya bertugas memberikan sinyal kontrol (sesuai dengan hasil penyimpulan fuzzy pada MATLAB) kepada *driver* agar roda dapat bergerak sesuai dengan arah dan kecepatan yang ditentukan.

Desain dari control fuzzy menggunakan Fuzzy Logic Toolbox pada MATLAB. Selain dapat digunakan untuk melakukan pengolahan citra, dan logika fuzzy, MATLAB dapat diprogram untuk menampilkan antarmuka (GUI, *Graphical User Interface*) yang mudah dipahami oleh pengguna. Dengan demikian, aksi yang diharapkan pada robot dapat mudah diamati oleh pengguna.

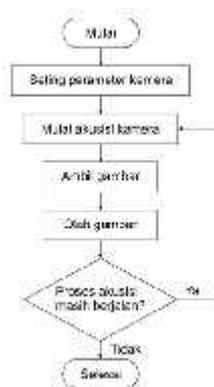


Gambar 1. Rancangan Umum Penelitian

Alat dan bahan penyusun robot pada penelitian ini menggunakan bahan-bahan yang mudah dijumpai di pasaran. Namun demikian, untuk beberapa komponen seperti poros motor, Penulis harus menyesuaikan dengan diameter bearing dan poros motor DC. Oleh karena itu, diperlukan proses tambahan dengan menggunakan mesin bubut untuk mendapatkan poros dengan ukuran yang sesuai. Perangkat lunak utama yang diperlukan pada penelitian ini adalah MATLAB dan IDE Arduino. MATLAB diperlukan sebagai perangkat lunak utama untuk melakukan pengolahan citra dan pembuatan antarmuka (GUI), sedangkan IDE Arduino merupakan perangkat lunak untuk memprogram Arduino. Namun demikian, dengan adanya fasilitas *add-ons* pada MATLAB, pemrograman Arduino akan sepenuhnya dilakukan pada MATLAB. Namun demikian, agar pemrograman dapat dilakukan melalui MATLAB, IDE Arduino juga mutlak tersedia.

Diagram Alir Pengolahan Citra dan Akuisisi Data

Pada penelitian ini, terdapat dua tujuan utama dari proses pengolahan citra, yaitu : 1) untuk memisahkan garis lintasan dari latar (lantai), dan (2) untuk mendapatkan titik pusat dari garis tersebut, relatif terhadap citra yang diperoleh oleh kamera. Data yang diperoleh dari kamera adalah berupa video, dan untuk manajemen pengambilan data berupa gambar (citra) dari sebuah video, maka dilakukan proses akuisisi data. Akuisisi data adalah sistem untuk manajemen bagaimana suatu data dapat diambil, dan selanjutnya dapat diolah. Pada penelitian ini, sistem akuisisi data meliputi proses pengaturan perangkat kamera dan perangkat mikrokontroler. Untuk kamera, diagram alir proses akuisisi dapat diperlihatkan seperti pada Gambar 2.

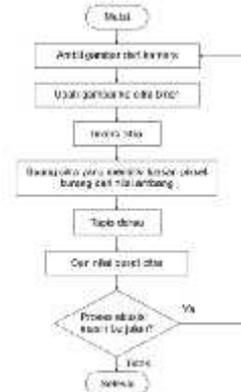


Gambar 2. Diagram Alir Proses Akuisisi Data pada Kamera

Proses akuisisi data untuk kamera dimulai dengan melakukan pengaturan untuk kamera yang akan digunakan. Pengaturan meliputi pengaturan nama kamera, ID kamera, format keluaran kamera, serta pengaturan *trigger* kamera. Ketika beberapa parameter ini sudah ditentukan, maka langkah selanjutnya adalah memulai

proses akuisisi data. Format keluaran dari proses streaming data ini adalah file video. Untuk dapat diolah, satu buah *frame* gambar dari format tersebut harus diambil setiap siklus tertentu, dan kemudian dilakukan pengolahan. Pengolahan baru akan selesai ketika durasi yang ditentukan oleh pemrogram terpenuhi.

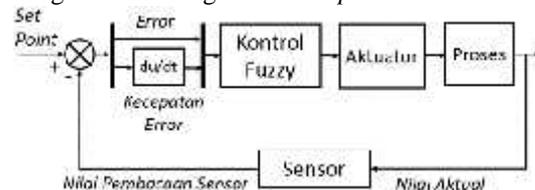
Proses pengolahan citra secara umum ditunjukkan pada Gambar 3. Proses pengolahan citra pada penelitian ini diperlukan oleh robot untuk mengikuti lintasan yang telah ditentukan. Kamera bertindak sebagai sensor visual dan hasil dari *frame* yang ditangkap oleh kamera akan diolah lebih lanjut. Hasil pengolahan citra akan menentukan aksi yang akan dilakukan oleh mikrokontroler. Citra yang diolah pada penelitian ini adalah citra berjenis biner (hitam dan putih). Gambar yang didapat dari kamera *webcam* memiliki tipe RGB. Gambar RGB inilah yang selanjutnya akan dilakukan proses pengolahan. Gambar yang diolah adalah tampilan posisi lintasan berupa garis hitam pada lantai berwarna cerah (bukan putih).



Gambar 3. Diagram Alir Proses Pengolahan Citra

Strategi Kontrol Fuzzy

Diagram blok sistem kontrol robot pada percobaan ini diperlihatkan seperti pada Gambar 4. Pada Gambar 4, *set point* adalah nilai yang dimasukkan oleh *user* sebagai nilai yang diinginkan. Kontroler harus dapat membawa sistem agar sesuai dengan nilai *set point*.



Gambar 4. Diagram Blok Sistem Kontrol Fuzzy

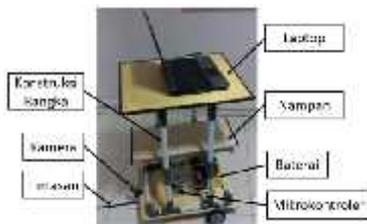
Terdapat dua parameter input pada kontrol fuzzy yang diterapkan pada penelitian ini, yaitu 1) **error**, dan 2) **kecepatan error**. Error yang dimaksud disini adalah besarnya simpangan titik pusat lintasan terhadap titik tengah dari citra hasil tangkapan kamera. Kecepatan error mengindikasikan berapa cepatnya suatu error tersebut dicapai. Gabungan antara error dan kecepatan error dapat digunakan sebagai strategi navigasi robot.

Blok aktuator mencakup penggunaan driver dan motor DC. Aktuator adalah bagian-bagian yang menggerakkan robot sesuai dengan perintah kontroler. Blok proses adalah proses dari navigasi robot itu sendiri. Posisi robot akan diketahui berdasarkan nilai yang ditangkap oleh sensor (berupa kamera). Posisi robot selanjutnya dibandingkan dengan nilai set point. Hasil pengurangan dari kedua nilai ini adalah *error*. Dengan menyimpan nilai *error* sebelumnya, *error* saat ini dan waktu yang diperlukan untuk memperoleh kedua *error* ini, maka kita akan mendapatkan kecepatan *error*.

4. Hasil dan Pembahasan

Implementasi Perangkat Keras

Robot yang dihasilkan pada penelitian ini adalah robot yang algoritma operasinya dikendalikan sepenuhnya oleh laptop. Detil bagian-bagian penyusun robot diperlihatkan seperti pada Gambar 5. Pada Gambar 5, terlihat bahwa purwarupa robot ini didesain dengan konstruksi yang cukup sederhana, yaitu menggunakan konstruksi pipa PVC berdiameter 3/4". Rangka robot menggunakan pipa PVC ini didesain dengan dimensi tinggi 75 cm dan lebar alas maupun atap sebesar 40 cm. Ketinggian robot dirasa sesuai dengan ketinggian meja restoran pada umumnya. Pada penelitian ini, penggunaan rangka robot menggunakan pipa memiliki beberapa keuntungan, diantaranya adalah kemudahan dalam menyusun rangka tersebut, memiliki daya topang yang cukup kuat, ringan, serta kemudahan dalam merekonstruksi apabila terjadi kesalahan pada desain awal.



Gambar 5. Diagram Alir Proses Akuisisi Data pada Kamera

Untuk memberikan daya pada mekanik robot, dua buah baterai berupa aki kering 12 Volt disusun secara seri untuk menghasilkan tegangan total sebesar 24 Volt. Suplai tegangan 24 Volt ini akan digunakan untuk operasi dua buah motor DC. Kedua buah motor DC ini terletak pada alas robot pada sisi bawah. Roda disambungkan ke motor menggunakan poros yang melalui sebuah *bearing*. Fungsi utama dari *bearing* adalah sebagai penopang poros robot. Peranan *bearing* disini sangat vital, sebab *bearing* digunakan sebagai titik tumpu dari bobot robot.

Implementasi dan Strategi Pengolahan Citra Robot

Proses pertama dalam pengolahan citra yaitu pengambilan sebuah *frame* dari *live video* yang dihasilkan oleh kamera.

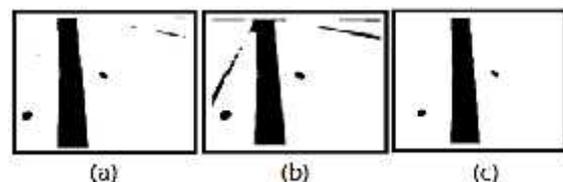
Asumsi bahwa *frame* yang ditangkap adalah sebuah citra, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.

Gambar 6 adalah gambar lintasan di atas lantai yang sengaja Penulis tambahkan dua buah titik hitam yang cukup besar di bagian sisi kanan dan kiri lintasan. Dua buah titik ini penulis asumsikan sebagai derau atau pengotor pada gambar. Hal ini penulis lakukan untuk menguji apakah algoritma berjalan dengan baik, yaitu dapat menghilangkan derau ini, atau sebaliknya tetap terdeteksi. Pada Gambar 6, area sangat terang di bagian kiri lintasan juga Penulis perlihatkan. Bagian ini adalah pantulan cahaya lampu di laboratorium tempat robot ini diuji. Pantulan cahaya ini dapat digunakan untuk memperlihatkan pengaruh efek ambang (*threshold*) ketika citra akan diubah menjadi citra biner. Selain derau dan pantulan cahaya, garis tepi pada keramik juga menjadi tantangan tersendiri. Jika sambungan keramik ini berwarna cukup gelap, maka kemungkinan besar akan dideteksi sebagai lintasan.



Gambar 6. Contoh Citra Awal Hasil Tangkapan Kamera

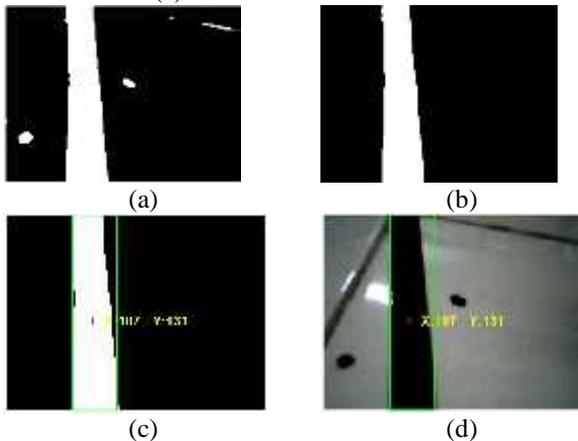
Setelah menangkap citra lintasan, langkah pengolahan selanjutnya adalah konversi dari citra RGB yang diperoleh dari kamera menjadi citra biner. Penentuan nilai ambang akan memengaruhi proses konversi citra RGB menjadi citra biner. Pada MATLAB, nilai ambang harus diset antara 0 sampai 1. Nilai ambang yang mendekati 1 akan cenderung lebih gelap, dan sebaliknya jika mendekati 0 akan semakin cerah. Pada penelitian ini nilai ambang dipertahankan tetap sebesar 0,1. Contoh variasi nilai ambang diperlihatkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Citra Biner dengan Nilai Ambang (a) 0,1; (b) 0,2 dan (c) 0,05

Ketika konversi menjadi citra biner telah dilakukan, proses selanjutnya adalah menghilangkan beberapa area yang memiliki luasan lebih kecil dari nilai tertentu. Hal ini berguna untuk menghilangkan bagian-bagian gambar yang tidak diinginkan, seperti derau dan beberapa batas keramik yang ikut terkonversi menjadi berwarna hitam. Pada penelitian ini, area yang memiliki luasan kurang dari 3000 piksel akan dihapus. Proses menghilangkan objek-objek kecil pada MATLAB dikenal sebagai *area opening*. Untuk merealisasikan proses ini, citra pada Gambar 7

harus dibalik (invers) terlebih dahulu menjadi citra seperti pada Gambar 8(a).



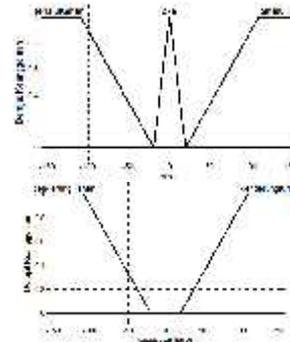
Gambar 8. (a) Citra Hasil Inversi, (b) Objek Kecil pada Citra Dihilangkan, (c) Deteksi Pusat Lintasan pada Citra Biner, dan (d) Deteksi Pusat Lintasan pada Citra Berwarna

Algoritma menghilangkan citra-citra dengan luasan kecil ini (*area opening*) dimulai dengan mendeteksi piksel-piksel mana yang saling terhubung. Langkah selanjutnya adalah menghitung luasan area dari gabungan piksel-piksel yang terkoneksi tersebut. Setelah ditentukan, maka dibandingkan dengan nilai ambang. Jika kurang dari nilai ambang, maka objek tersebut akan dihilangkan. Hasil dari proses *area opening* ini diperlihatkan seperti pada Gambar 8(b). Proses setelah *area opening* adalah menghitung nilai pusat (*centroid*) dari lintasan. Jika titik pusat terdeteksi lebih condong ke bagian kanan, maka dapat diketahui bahwa robot lebih mengarah ke arah kiri. Dengan demikian, robot harus dibelokkan ke kanan. Begitu juga sebaliknya. Proses ini terlihat seperti pada Gambar 8(c). Jika batas diperlihatkan pada gambar asli, maka diperoleh Gambar 8(d).

Implementasi Kontrol Fuzzy

Desain fuzzy sepenuhnya dilakukan menggunakan Fuzzy Logic Toolbox pada MATLAB. Output kontrol fuzzy adalah nilai *Pulse Width Modulation* (PWM). Pada MATLAB, Maksimum nilai PWM adalah 1. Kontrol fuzzy mencakup desain fungsi keanggotaan (*membership function*) input, fungsi keanggotaan output, serta menerapkan aturan-aturan (*rules*) fuzzy. Pada penelitian ini, tipe fuzzy yang digunakan adalah Mamdani. Pada penelitian ini, kamera dengan resolusi 240x320 piksel digunakan untuk menangkap citra lintasan. Dengan demikian, nilai 0 – 320 adalah lebarnya area yang dapat diamati oleh kamera. Dengan lebar piksel sebesar 320, dapat disimpulkan bahwa robot tepat dalam kondisi lurus ketika diperoleh centroid bernilai 160, yaitu setengah dari lebar piksel kamera. Yang perlu diperhatikan adalah kontroler memperoleh informasi berupa error dan kecepatan error. Jika centroid berada di 160, maka error bernilai nol.

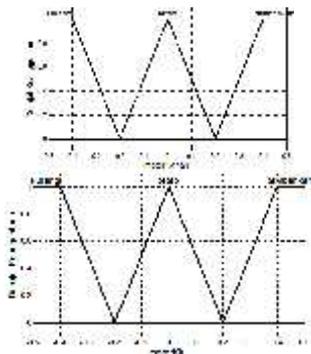
Pada Gambar 9, diperlihatkan dua jenis input fuzzy, yaitu error dan kecepatan error. Input error didesain bernilai dari -160 sampai 160, dengan sebuah fungsi keanggotaan segitiga, dan dua buah fungsi keanggotaan trapesium. Bentuk fungsi keanggotaan ini didasarkan pada hasil percobaan. Nilai minimum (-160) diperoleh ketika nilai centroid sebesar 320 atau lebih besar (centroid berada paling kanan), dan nilai maksimum (160) diperoleh ketika centroid bernilai 0 atau lebih kecil (centroid berada paling kiri).



Gambar 9. Fungsi keanggotaan input: error dan kecepatan error

Sesuai dengan blok diagram pada Gambar 4, error diperoleh dari mengurangi set point dengan nilai yang dibaca oleh sensor. Error yang bernilai positif menandakan bahwa nilai sensor lebih kecil dari nilai *set point*, dan sebaliknya error negatif menandakan bahwa nilai sensor lebih besar dari *set point*. Nilai *set point* yang ditetapkan disini adalah 160 (tepat di tengah-tengah kamera). Dengan demikian, error positif menandakan bahwa robot berada di kiri titik pusat, dan error negatif mengindikasikan bahwa robot ada di kanan titik pusat. Berdasarkan percobaan, bentuk fungsi keanggotaan terbaik diperoleh seperti pada Gambar 9.

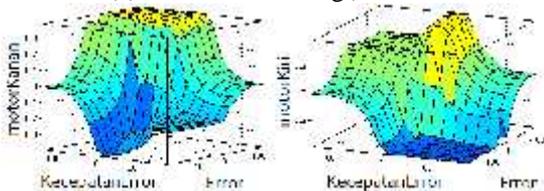
Berdasarkan hasil percobaan, diperoleh rata-rata eksekusi program adalah selama 1 detik. Dengan demikian, untuk menyederhanakan perhitungan, kecepatan error, yaitu waktu yang diperlukan untuk memperoleh error saat ini terhadap error sebelumnya diasumsikan berlangsung setiap satu detik. Kecepatan error diperoleh dengan membagi selisih error (error saat ini dikurangi error sebelumnya) dengan waktu. Pembagian dengan 1 akan mempermudah perhitungan. Dengan demikian, nilai minimum dan maksimum kecepatan error juga sama dengan nilai minimum dan maksimum error, yaitu bernilai -160 dan 160. Kecepatan error positif menandakan bahwa ada kecenderungan robot bergerak ke kiri, dan sebaliknya jika kecepatan error negatif menandakan bahwa akan ada kecenderungan robot bergerak ke kanan. Fungsi keanggotaan output fuzzy untuk motor kanan dan motor kiri diperlihatkan seperti pada Gambar 10.



Gambar 10. Fungsi keanggotaan output: motor kanan (atas), dan motor kiri (bawah)

Aturan fuzzy didesain sesederhana mungkin. Hanya terdapat tiga aturan yang diterapkan, yaitu sebagai berikut:

1. If (error is terlaluKanan) or (kecepatanError is cenderungKanan) then (motorKanan is kurangi)(motorKiri is tambahkan)
2. If (error is oke) or (kecepatanError is cenderungKanan) then (motorKanan is tetap)(motorKiri is tetap)
3. If (error is terlaluKiri) or (kecepatanError is cenderungKiri) then (motorKanan is tambahkan)(motorKiri is kurangi)



Gambar 11. Diagram Alir Proses Akuisisi Data pada Kamera

Jika dilakukan penarikan kesimpulan (inferensi) terhadap input, output, dan aturan-aturan yang ditetapkan, maka diperoleh hasil seperti pada Gambar 11. Gambar 11 merupakan grafik permukaan (*surface*), yang menunjukkan nilai output terhadap semua kemungkinan nilai input.

5. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Pengolahan citra yang cukup sederhana dapat diterapkan pada robot visi yang mengikuti suatu lintasan tertentu (*line follower*). Pada penelitian ini, algoritma untuk mencari titik pusat lintasan (*centroid*) dapat diterapkan pada robot untuk mengikuti arah lintasan. Terkait dengan sistem navigasi robot, desain kontrol fuzzy telah berhasil diterapkan untuk mengikuti garis (*line tracking*). Berdasarkan hasil percobaan, diperoleh hasil bahwa proses pengolahan citra sangat menentukan bagaimana kontroler dapat bekerja. Sesuai dengan kondisi percobaan (tingkat intensitas cahaya, tekstur lantai, spesifikasi robot,

dan sebagainya), robot dapat mengikuti garis dengan baik, walaupun isu kecepatan masih perlu ditingkatkan.

Saran

Sistem pengaturan tingkat kecerahan dan kontras pada kamera secara otomatis sangat membantu dalam pengenalan yang lebih baik. Pada penelitian ini, algoritma tersebut belum diterapkan. Terkait dengan desain fuzzy, penelitian selanjutnya juga dapat mengkombinasikan fungsi-fungsi keanggotaan yang lain untuk memperoleh navigasi robot yang lebih optimal. Sesuai dengan spesifikasi perangkat penyusun robot yang digunakan, mungkin saja desain fuzzy pada penelitian ini tidak optimal jika diterapkan pada robot lainnya.

Referensi

- [1] Kuroki, Y., Fujita, M., Ishida, T. Nagasaka, K., 2003. *A Small Biped Entertainment Robot Exploring Attractive Applications*, IEEE International Conference on Robotics and Automation, Vol.1 pp. 471, ISSN 1050-4729.
- [2] Imai, M., Ono, T., Etani, T., 1999. *Attractive Interface for Human Robot Interaction*, IEEE International Workshop on Robot and Human Interaction, ISBN 0-7803-5841-4.
- [3] Chunjie, C., Qiao, G., Zhangjun, S., Ouyang, L., 2010. *Catering Service Robot*. World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA). pp. 599. ISBN 978-1-4244-6712-9.
- [4] Jyh-Hwa, T., Su Kuo, L., 2009. *The Development of Restaurant Service Mobile Robot with a Laser Positioning System*, The Journal of the IEEE Control Conference, pp.662-666, ISBN 978-7-900719-70-6.
- [5] Chun-Chieh, W., Chih-Teng, S., 2008. *Implementation of Wireless Image Tracking for Wheeled Mobile Robots*, IEEE International Conference on Innovative Computing Information and Control, pp. 163, ISBN 978-0-7695-3161-8.
- [6] Tan, Y.C., Lew, B.F., Tan, K.L., ; Goh, K.V., 2010. *A New Automated Food Delivery System Using Autonomous Track Guided Centre-Wheel Drive Robot*, IEEE Conference on Sustainable Utilization and Development in Engineering and Technology, pp.32, ISBN 978-1-4244-7504-9.
- [7] Pakdaman, M., Sanaatiyan, M.M., Ghahroudi, M.R., 2010. *A Line Follower Robot From Design to Implementation: Technical Issues and Problems*, The 2nd International Conference on Computer and Automation Engineering (ICCAE), Vol.1, pp.5., ISBN 978-1-4244-5585-0.
- [8] Corke, P., 2011. *Robotics, Vision and Control: Fundamental Algorithms in MATLAB®*, Springer-Verlag, ISBN 978-3-642-20143-1, Chennai.
- [9] Wardana, N.K., Suranata, W., 2014. *Digital Signage sebagai Media Penyampaian Informasi Kegiatan Akademik Berbasis Mikrokomputer*, Jurnal Creative Information Technology (CITEC), Vol.1 No.4, STMIK AMIKOM Yogyakarta, ISSN: 2354-5771.
- [10] Kac, E., 1997. *Foundation and Development of Robotic Art*, Art Journal, Vol. 56, No.3, Digital Reflections: The Dialogue of Art and Technology, pp.60.
- [11] Wardana, N.K., 2015. *Penerapan Laptop-based Robot sebagai Pramusaji Restoran*, Konferensi Nasional Sistem dan Informasi (KNS&I), STMIK STIKOM Bali, pp 908-914.