

ROBOT PENDETEKSI WAJAH DAN PENGHINDARAN HALANGAN BERBASIS FPGA

Aditya Sarjono^{#1}, Fernando Ardilla^{#2}, A.R. Anom Besari^{#3}

[#]Jurusan Teknik Komputer, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
Kampus PENS ITS Sukolilo, Surabaya

¹yhot@student.eepis-its.edu

²nando@eepis-its.edu

³anom@eepis-its.edu

Abstraks

Robot Pendeteksi Wajah Dan Penghindaran Halangan Berbasis Fpga adalah robot yang mampu mendeteksi serta melakukan penajakan wajah seseorang dan dapat menghindari halangan secara waktu nyata. Mobile robot ini dilengkapi sebuah kamera CMUcam3 sebagai sensor untuk mendeteksi serta melakukan penajakan wajah, sensor ultrasonik digunakan sebagai masukan sistem kontrol yang akan mengatur gerak robot dalam menghindari halangan dan dua buah motor dc vexta sebagai aktuator. Desain kontrol dari mobile robot ini diimplementasikan dalam FPGA Xilinx Spartan 3. Peneliti menggunakan FPGA Xilinx Spartan 3 karena merupakan sistem yang embedded, sehingga semua proses komputasi mulai dari pemrosesan data kamera, ultrasonik, serta kontrol motor akan diproses pada FPGA Xilinx Spartan 3.

Robot mampu menghindari halangan jebakan yang ada dengan tetap mendeteksi dan melakukan penajakan wajah dengan error sebesar 26.66 % sedangkan proses pendeteksian dan penajakan wajah pada robot tanpa adanya halangan jebakan dapat dikatakan bekerja sesuai yang diharapkan dengan nilai error sebesar 16.67 %.

Kata kunci : Face Tracking, Mobile Robot, FPGA Xilinx Spartan 3, CMUcam3.

I. PENDAHULUAN

Menurut Robotics Industry Association (1985), robot didefinisikan sebagai “A re-programmable, multi-functional manipulator designed to move material, parts, tools, or specialized devices for the performance of various tasks” yakni suatu manipulator banyak-fungsi yang dapat diprogram ulang yang dirancang untuk memindahkan material, komponen, perkakas, atau piranti khusus untuk meningkatkan kinerja berbagai tugas. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa robot adalah suatu mekanisme yang dapat diperintah secara otomatis untuk memproses suatu benda kerja dalam memenuhi suatu permintaan tertentu dan berlaku untuk satu sistem.

Saat ini dunia robotika sangatlah berkembang, bahkan tidak menjadi hal yang asing lagi bagi kehidupan manusia. Berbagai penelitian dilakukan untuk menciptakan suatu robot

yang diharapkan mempunyai kemampuan seperti manusia. Dengan teknologi komputer yang semakin canggih seperti saat ini, bukan tidak mungkin lagi hal tersebut diciptakan. Dalam perkembangan dunia elektronika begitu pesat dan banyak komponen baru yang dibuat salah satunya adalah FPGA (*Field Programmable Gate Array*).

Prinsip dasar dari FPGA adalah penyusunan rangkaian-rangkaian logika dasar. Penyusunan dilakukan sedemikian rupa agar diperoleh rangkaian yang efektif. FPGA memiliki keunggulan kecepatan proses yang tinggi karena merupakan hardware programmable device, oleh karena itu FPGA banyak diaplikasikan pada proses-proses yang memerlukan kecepatan tinggi salah satunya adalah sebagai kontroler pada sistem *mobile robot*. Disamping karena kecepatannya yang tinggi dimensinya juga cukup ringkas untuk diaplikasikan pada *mobile robot*. Pada penelitian ini dibuat sebuah *mobile robot* penjejakan wajah yang dapat mendeteksi dan bergerak mengikuti wajah. *Mobile robot* ini menggunakan kamera CMUcam3 untuk memperkirakan lokasi suatu wajah secara real time dan sensor ultrasonik digunakan sebagai masukan sistem kontrol yang akan mengatur gerak robot dalam menghindari halangan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

FPGA (*Field-Programmable Gate Array*) adalah komponen elektronika dan semikonduktor yang mempunyai komponen gerbang terprogram (*programmable logic*) dan sambungan terprogram. Implementasi operasi-operasi digital dalam bentuk perangkat keras dapat dilakukan dengan FPGA. FPGA memuat ribuan gerbang logika yang dapat diprogram untuk membentuk suatu logika. Blok-blok komponen di dalam FPGA bisa juga mengandung elemen memori (*register*) mulai dari flip-flop sampai pada RAM (*Random Access Memory*).

FPGA dapat digunakan untuk mengimplementasikan sistem kombinasional dan sekuensial berkecepatan tinggi dengan lebar bit data tidak terbatas. Hal ini membuat FPGA mampu melakukan operasi dengan tingkat keparalelan tinggi yang tak mungkin dilakukan oleh mikrokontroler.

Guilberto [10], merancang *mobile robot* pemadam api untuk keperluan kontes robot pemadam api internasional 2004. Pada rancangannya Guilberto dkk memilih FPGA untuk praproses data pengukuran yang diperoleh dari sensor jarak ultrasonik, pembangkitan sinyal PWM pengendali kecepatan

motor DC, menentukan posisi dan kecepatan motor lewat pengawasandian kuadratur dari penyandi motor, dan untuk mendigitalkan sinyal dari *microphone*.

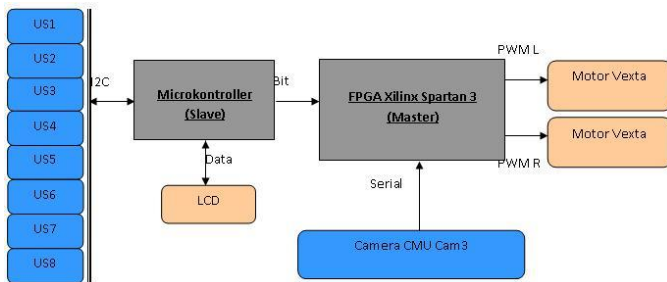
Angkul [11], merancang dan mengimplementasi chip control untuk mobilerobot sederhana menggunakan FPGA kustom platform komputasi. Perilaku homing diadopsi dari perilaku sebuah navigasi semut. Desain ini mungkin digambarkan sebagai pemetaan dari sensor masukan kepada Aktuator yang mengontrol gerakan robot. Kontrol sistem ini yang telah dirancang untuk kontrol real-time berdasarkan subsumption arsitektur. Ini menunjukkan bahwa FPGA dapat dikonfigurasi untuk menerapkan desain dengan sukses.

Pada sitem robot ini diggunakan FPGA Xilinx Spartan 3 *starter kit* sebagai kontroler utama (*master*) pada *mobile robot* untuk penerimaan data serial dari sensor kamera CMUcam3, praposes data yang diperoleh dari mikrokontroler (*slave*) dalam menangani sensor jarak ultrasonik, dan pembangkitan sinyal PWM pengendali kecepatan motor DC Vexta. Untuk pemrograman IC FPGA ini penulis menggunakan software Xilinx ISE Design Suite 10.1.

III. PERANCANGAN SISTEM

A. Blok Diagram Sistem

Secara keseluruhan, robot ini terbagi dalam beberapa blok bagian yaitu :



Gambar 3.1 Diagram mobile robot

B. Perancangan desain dan pembuatan mekanik

Pada bagian dasar robot digunakan bahan alumunium berbentuk lingkaran dengan diameter 50 cm, untuk bagian atas lingkaran berdiameter 30 cm dan tinggi robot 100 cm. Karena menggunakan kinematika *Differential Drive*, maka penempatan sumbu roda dari robot kita tempatkan tepat di tengah sumbu dari body robot. Dan roda bebas ditempatkan di depan dan di belakang dari body robot sebagai penstabil dari gerakan robot.



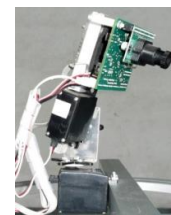
Gambar 3.2 Bentuk robot keseluruhan

C. Perancangan dan pembuatan perangkat keras

Sensor Kamera CMUcam3

Salah satu kegunaan yang paling utama dari CMUcam3 adalah untuk *face detection*. Metode yang digunakan adalah Viola-Jones, didasarkan pada *paper* terkenal "*Robust Real-Time Face Detection*" oleh P. Viola dan M. Jones dari tahun 2004 [1]. Pelaksanaan pada CMUcam3 untuk koordinat kotak apabila mendeteksi wajah pada gambar. Semua itu dapat dicapai pada warna yang mempunyai nilai kekontrasan dan intensitas yang tinggi. Sebagai contoh, CMUcam3 dapat dengan mudah mendeteksi wajah pada latar belakang yang relatif seragam (seperti dinding putih). Gambar dilatih dari database wajah CMUcam3 sehingga tergeneralisasi ke semua wajah. Apabila wajah dengan fitur tertentu tidak ditemukan di database maka dapat membingungkan detektor. Data dari kamera CMUcam3 dapat ditransfer menggunakan level RS232 sehingga kita dapat langsung memanfaatkan jalur komunikasi serial UART yang ada pada FPGA Spartan 3.

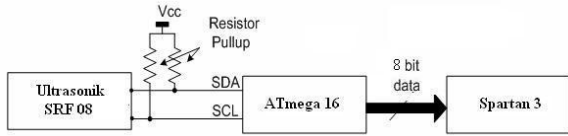
Kemudian dari *target pursuing* oleh kamera CMUcam3, maka dibutuhkan desain mekanik dari servo penggerak. Pergerakan dari servo tersebut merupakan cara untuk merubah posisi dari kamera CMUcam3 untuk mendapatkan target.



Gambar 3.3 Penggerak face tracking

Sensor ultrasonik

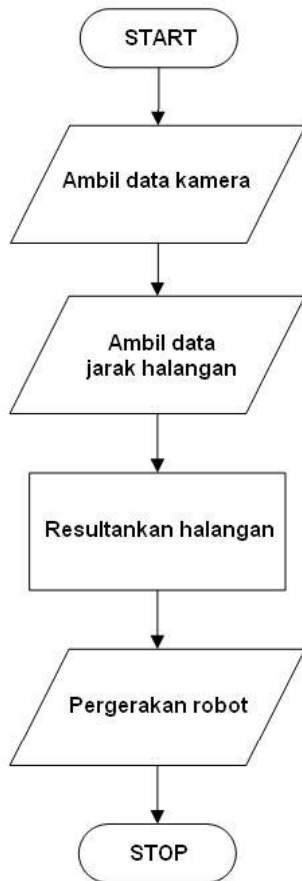
Jarak halangan dideteksi menggunakan sensor ultrasonik SRF08 sebanyak 8 buah. Sensor ini terpasang melingkar pada seluruh bagian robot dengan sudut 45°. Tugas pengambilan data jarak halangan dilakukan pada mikrokontroler slave ATmega16. Untuk pembacaan 8 buah sensor ultrasonik digunakan jalur komunikasi I2C untuk mendapatkan data dari masing-masing alamat sensor ultrasonik. Kemudian data dari mikrokontroler slave tersebut dikirim menuju master FPGA Xilinx Spartan 3.



Gambar 3.4 Blok diagram rangkaian sensor ultrasonic

D. Perancangan dan pembuatan perangkat lunak

Algoritma pendeteksian wajah dan penghindaran halangan pada sistem ini adalah sebagai berikut



Gambar 3.5 Algoritma sistem

IV. PENGUJIAN SISTEM

A. Pengujian Kamera CMUcam3

Pengujian mengenai metode viola jones yang diterapkan pada CMUcam3 bekerja dengan baik dalam lingkungan yang terkendali tanpa kekacauan latar belakang terlalu banyak dan dengan pencahayaan yang baik. Diperoleh data jarak kamera dengan obyek wajah dengan tingkat kesalahan yang kecil.

Tabel 4.1 Pengujian jarak wajah dengan kamera

Tinggi orang (cm)	Jarak wajah terhadap kamera CMUcam (cm)							
	90	100	110	120	130	140	150	160
160	√	√	√	√	√	√	√	x
167	x	√	√	√	√	√	√	x
175	x	x	√	√	√	√	√	√

B. Pengujian Sensor Ultrasonik

Pengujian sensor ultrasonik dengan obstacle balok dus berdimensi 22 cm x 16 cm x 8 diletakkan di depan sensor. Diperoleh data jarak sensor ultrasonik dengan obyek dengan tingkat kesalahan yang kecil.

Tabel 4.2 Data pengukuran sensor ultrasonik

Jarak sensor terhadap obyek (cm)	Data pengukuran (cm)							
	US 1	US 2	US 3	US 4	US 5	US 6	US 7	US 8
3	3	3	3	3	3	3	3	3
5	5	5	5	5	5	5	5	5
10	9	10	10	11	9	9	11	10
15	15	16	15	14	15	15	14	15
20	19	20	20	21	20	21	19	20
25	24	24	25	25	26	25	26	25
30	30	30	31	30	30	29	29	30
35	35	36	35	34	35	35	33	35
40	39	40	40	38	40	41	40	40
45	45	45	44	45	45	46	45	45
50	50	50	51	50	50	51	50	50
55	54	54	55	55	55	55	55	55
60	58	60	60	59	60	60	61	60
65	64	65	65	64	65	65	64	65
70	69	69	70	70	69	70	70	69
75	76	75	75	74	72	75	75	72
80	81	79	79	80	79	79	80	79
85	83	85	84	84	86	84	84	81
90	87	89	90	85	89	88	89	89
95	93	95	94	93	93	96	93	94
100	98	99	100	99	100	99	99	100

C. Pengujian Motor DC Brushless Vexta

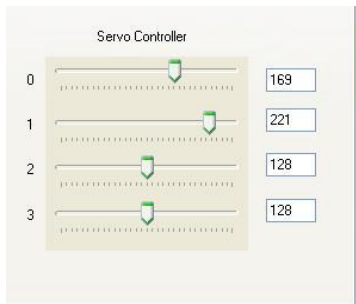
Frekuensi dari pwm mempengaruhi respon dari tegangan analog. Semakin besar frekuensi semakin tidak linier tegangan output yang dihasilkan tetapi semakin kecil frekuensi semakin lambat respon tegangan output. Jadi percobaan frekuensi yang cukup *memenuhi* keduanya sekitar 196kHz pada modul Spartan 3. Setelah melakukan beberapa percobaan, kecepatan yang cocok untuk *mobile robot* ini adalah 19 rpm – 38 rpm atau 3% - 4% *Duty Cycle PWM*.

Tabel 4.3 Pengujian Motor Vexta

Duty Cycle PWM (%)	Kecepatan Motor (rpm)	Waktu tempuh pada jarak 2 meter (detik)
1	0	0
2	11	29.3
3	19	14.5
4	38	7.6
5	53	5.3
6	79	3.6
7	98	3.1
8	127	2.4
9	148	2.2
10	171	1.9

D. Pengujian Penggerak Face Tracking

Perintah untuk menjalankan motor servo cukup dengan pemberian Pulse Modulation Width (PWM). Dengan nilai PWM tertentu motor servo akan berputar. Arah putaran dan kecepatannya berdasarkan duty cycle dari PWM yang diberikan. Berikut ini contoh pulsa PWM yang diberikan untuk motor servo melalui *software* CMUcam3 Frame Grabber.

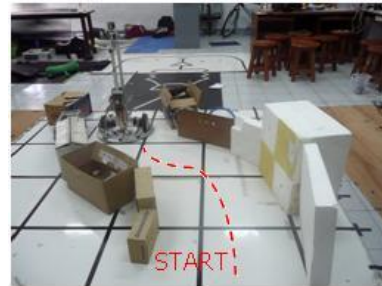


Gambar 4.1 Servo controller

E. Pengujian Obstacle Avoidance

Dari pengujian ini diperoleh pergerakan robot yang efektif dalam menghindari halangan dengan osilasi yang relatif kecil. Pada *mobile robot* ini hanya lima sensor ultrasonik yang digunakan untuk perhitungan jarak dan sudut vektor. Keunggulan metode ini dibandingkan dengan metode konvensional look up table adalah ketika dihadapkan dengan halangan yang berada di kiri dan kanan sedangkan lintasan

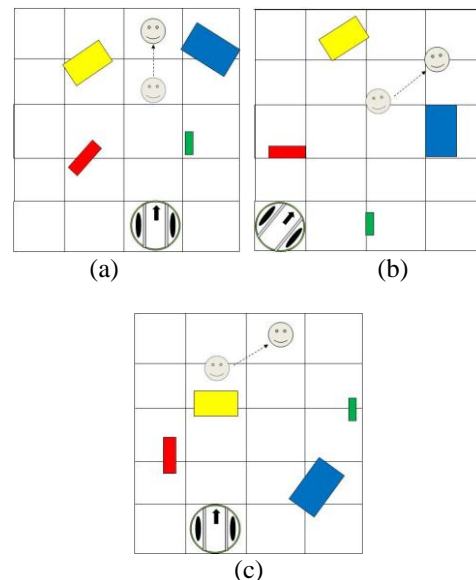
yang akan dilalui robot sempit, robot tetap mampu mencari jalan tengah untuk melaluinya.



Gambar 4.2 Kemampuan robot dalam menghindari halangan

F. Pengujian Pencapaian Target Wajah Dan Obstacle Avoidance

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui, berhasil atau tidaknya robot untuk mendeteksi dan melakukan penjejakan wajah pada beberapa kondisi lapangan dengan halangan secara acak. Berikut ini adalah lapangan pengujian dengan beberapa kondisi halangan



Gambar 4.2 Ilustrasi lapangan percobaan

Tabel 4.4 Pengujian sistem di lapangan

• Data pengujian dengan lapangan percobaan a

Percobaan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Hasil	√	√	√	⊖	√	⊖	√	√	√	⊖

Keterangan:

√ = berhasil mendeteksi dan mengikuti wajah sampai keluar dari obstacle ;
 ⊖ = mendeteksi dan mengikuti wajah tetapi tidak sampai keluar dari obstacle;

- **Data pengujian dengan lapangan percobaan b**

Percobaan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Hasil	√	√	√	√	⊖	√	√	⊖	⊖	√

- **Data pengujian dengan lapangan percobaan c**

Percobaan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Hasil	√	√	√	√	⊖	√	√	⊖	√	√

Pada pengujian di lapangan (a), (b) dan (c) selama percobaan, robot hampir selalu dapat mendeteksi wajah hanya delapan kali pengujian dimana kamera kehilangan deteksi wajah sehingga menyebabkan robot tidak dapat keluar dari *obstacle*. Hal ini disebabkan karena metode sistem kontrol yang digunakan masih sekuensial, jika telah terjadi satu kesalahan pada sistem ini maka untuk proses berikutnya bisa terjadi gangguan. Dari hasil pengujian pendeteksian wajah dengan *obstacle* pada ketiga lapangan tersebut memiliki nilai *error* sebesar 26.66 % dan tingkat keberhasilan sebesar 73.33 %. Jadi dengan sistem yang telah diterapkan dirasa sudah cukup memenuhi target yang diharapkan hanya saja perlu ditingkatkan untuk kecepatan dan kestabilannya.

V. KESIMPULAN

Setelah melakukan perencanaan dan pembuatan sistem kemudian dilakukan pengujian dan analisisnya, maka dapat diambil beberapa kesimpulan tentang sistem kerja alat, yaitu sebagai berikut:

1. Kamera CMUcam3 memiliki sensitifitas pada intensitas cahaya serta kontras warna obyek pada saat *tracking*. Oleh karena itu pemberian pencahayaan merupakan faktor pendukung yang dapat mempengaruhi performa sistem. Cahaya lampu yang penyebaran tidak merata menyebabkan pembacaan proyeksi lingkungan menjadi tidak konsisten.
2. Robot mampu menghindari halangan dengan baik pada halangan yang bervariasi dengan menggunakan metode *vector distance function*. Ketika dihadapkan dengan halangan di sisi kanan dan kiri, robot mampu menjaga jarak dengan tetap di tengah. Ketika halangan berada di sebelah kanan, kiri atau depan, robot mampu menjaga jarak terhadap halangan dengan aman.
3. Proses pendeteksian wajah pada robot dapat dikatakan bekerja sesuai yang diharapkan dengan nilai *error* sebesar 16.67 %.
4. Proses pendeteksian dan penjajakan wajah pada robot dengan *obstacle* didapatkan nilai *error* sebesar 26.66 %.
5. Dalam membuat software pengendali sensor algoritma programnya harus dibuat seefisien mungkin, karena sistem sensor harus dapat memberikan data dalam kecepatan yang relatif tinggi. Karena tugas dalam program tersebut lebih dari satu sehingga model program

adalah multi tasking sehingga program satu dengan yang lain tidak saling mengganggu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1.] Kwon Y.D, Lee Jin S, " An Obstacle Avoidance Algorithm for Mobile Robot ", Paper, Juni 1995.
- [2.] Borenstein J, Y. Koren, " Potential Field Methods and Their Inherent Limitations for Mobile Robot Navigation ", Proceedings of the IEEE Conference on Robotics and Automation, Sacramento, California, April 7-12, 1991, pp. 1398-1404.
- [3.] Isabel Maria Ribeiro, " Obstacle Avoidance ", Paper, Institute for Systems and Robotics Instituto Superior Técnico Av. Rovisco Pais, Lisboa, Portugal, 2005.
- [4.] Kurnianto, Iwan. "Implementasi Metode *Vector-Distance Function*, Sebagai Metode Penghindaran Halangan Untuk *Autonomous Mobile Robot*", Politeknik Elektronika Negeri Surabaya – ITS, Surabaya, 2010.
- [5.] Prasetyo, Bayu. "Implementasi Metode *Virtual Force Field* Untuk Kontrol Pergerakan *Autonomous Mobile Robot* Pada Aplikasi *Soccer Robot*", Politeknik Elektronika Negeri Surabaya – ITS, Surabaya, 2010.
- [6.] Prasetyono, Eka. "Strategi Pengenalan Posisi Start Pada Robot Master Robot Pemadam Api Krci 2007", Politeknik Elektronika Negeri Surabaya – ITS, Surabaya, 2007.
- [7.] Pitowarno, Endra. *Robotika, Desain, Kontrol dan Kecerdasan Buatan*. Yogyakarta : Andi; 2006.
- [8.] Bestari, Amri. "Dedicated Sistem Berbasis Fpga Untuk Kontroler Sinkronisasi Kecepatan Dua Penggerak Roda Depan Dan Belakang Secara Independen Pada Kendaraan", Politeknik Elektronika Negeri Surabaya – ITS, Surabaya, 2007.
- [9.] Ritter, G., Puiatti, J.M., and Sanchez, E. "Leonardo and Discipulus Simplex: An Autonomous, Evolvable Six-Legged Walking Robot", Logic System Laboratory, Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne, 2003
- [10.] Guilberto, J. "An Autonomous Robot with Reconfigurable Hardware and RT Linux. For Fire-Fighting", Intelligent Systems and Robotics Group, Electrical Engineering Department, New Mexico Institute of Mining and Technology, New Meksiko.
- [11.] K, Angkul, C, Prabhas. "A FPGA-based Behavioral Control System for a Mobile Robo", IEEE Asia-Pacific Conference on Circuits and Systems, Chiangmai, Thailand, 1998.
- [12.] P. Viola and M. Jones. "Robust real-time face detection", International Journal of Computer Vision, 2004
- [13.] Goel, Dhiraj. "CMUcam3 Face Detector", pada <http://www.cmucam.org/wiki/Documentation>
- [14.] Oak Micros "User Guide for the SumpLogic Analyzer and omla32 Interface", pada <http://www.oakmicros.com>