ABSTRAK

HARI KURNIAWAN, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya *Sistem Enkoder Dua Frekuensi Berbasis Mikrokontroler Pada Bagian Pemancar Sistem Sensor Pelacak Garis Robot*

Dosen Pembimbing: Ir. Nanang Sulistianto dan Ir. Bambang Siswojo

Sebagian besar dari robot dalam Kontes Robot Indonesia merupakan robot pelacak garis. Umumnya, robot tersebut menggunakan cahaya pantul dari lantai untuk mendeteksi garis pemandu. Untuk meningkatkan ketahanan sistem terhadap pengaruh cahaya luar, prinsip kerja *Dual Tone Multi Frequency* (DTMF) diterapkan dalam skripsi ini.

Sistem dalam skripsi ini merupakan bagian pemancar dari pasangan pemancar dan penerima sistem sensor robot pelacak garis. Sistem ini terdiri atas pembangkit sinyal data digital (mikrokontroler R8C/13), *Digital to Analog Converter* (DAC), *Low Pass Filter* (LPF), dan driver LED. Mikrokontroler membangkitkan sinyal dua frekuensi berdasarkan tabel data tertentu. DAC mengubah sinyal tersebut menjadi sinyal analog, yang kemudian diperhalus oleh LPF. Terakhir, driver LED mengatur intensitas cahaya LED sesuai amplitudo sinyal analog tersebut.

Kesalahan frekuensi rata-rata pada keluaran filter LPF sebesar 0,8343%. Dengan jarak antara bidang pantul dan sensor *tracer* sebesar 1 cm dan 2 cm, warna putih dengan latar belakang warna hijau mampu dideteksi dengan sempurna.

Kata Kunci : Sistem enkoder, mikrokontroler, frekuensi, DAC, sensor garis

DAFTAR ISI

Pengantar	i
Abstrak	ii
Daftar Isi	iii
Daftar Gambar	vi
Daftar Tabel	viii
Daftar Simbol	ix
Daftar Lampiran	x
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan	2
1.4. Ruang Lingkup	3
1.5. Sistematika Penulisan	3
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	 4
2.1. Klasifikasi Sinyal	4
2.1.1 Sinyal Kontinyu	4
2.1.2 Sinyal Diskrit	5
2.2 Pencuplikan dan Rekonstruksi Sinyal	6
2.2.1 Teorema <i>Sampling</i>	6
2.2.2 Proses Rekonstruksi Sinyal	8
2.3 Pembangkit Sinyal Sinusoida	10
2.4 Analisis Teori Penentuan Komponen Frekuensi Robot Pelacak Garis ...	12
2.5 Arsitektur Mikrokontroler R8C/13	13
2.6 Timer	14
2.6.1 Timer X	15
2.7 Interrupt	16
2.8 <i>Digital to Analog Converter</i> (DAC)	17
2.8.1 Konversi D/A Dasar	17
2.8.2 Konversi D/A Metode Tangga	18

2.8.3	Ketelitian dan Resolusi Digital to Analog Converter.....	17
2.8.3.1.	Ketelitian DAC	19
2.8.3.2.	Resolusi DAC.....	19
2.9	<i>Digital to Analog Converter</i> 0808.....	20
2.10	Rangkaian Pengubah Arus ke Tegangan.....	21
2.11	LCD (<i>Liquid Crystal Display</i>).....	21
2.12	Filter	24
2.13	<i>Light Emitting Diode</i>	25
2.14	Driver LED (<i>Light Emitting Diode</i>).....	26
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1.	Studi Literatur	27
3.2.	Perancangan dan Pembuatan Alat	27
3.3.	Pengujian Alat	27
3.4.	Pengambilan Kesimpulan dan Saran.....	28
BAB IV	PERANCANGAN.....	29
4.1.	Spesifikasi Alat	29
4.2.	Perancangan Sistem.....	29
4.3.	Perancangan Perangkat Keras	31
4.3.1	Sistem Mikrokontroler Renesas R8C/13	31
4.3.2	Timer X	32
4.3.3	Interupsi.....	33
4.3.4	Rangkaian DAC 0808	33
4.3.5	Rangkaian Pengkonversi Arus ke Tegangan.....	35
4.3.6	Perencanaan Rangkaian Filter Pasif.....	36
4.3.7	Karakterisasi Sensor	37
4.3.8	Rangkaian Driver LED.....	39
4.3.9	Perancangan Rangkaian Reset	42
4.3.10	Rangkaian Antarmuka Serial	44
4.3.11	Perancangan Hardware Deteksi Warna	45
4.4	Perancangan Perangkat Lunak	45
4.4.1	Perangkat Lunak Program Utama	45
4.4.2	Pembangkit Sinyal Sinusoida.....	47

4.4.3	Pembangkit Sinyal Dua Frekuensi	49
4.4.4	Tabel Pembangkit Sinyal	50
BAB V	Pengujian Dan Analisis	54
5.1.	Pengujian Rangkaian DAC 0808	54
5.2.	Pengujian Rangkaian Filter Pasif <i>low Pass</i>	56
5.3.	Pengujian Rangkaian Pembangkit Sinyal	57
5.3.1	Sinyal Dari Keluaran DAC	57
5.3.2	Sinyal Dari Keluaran Filter	59
5.4	Pengujian Keseluruhan Sistem.....	60
5.4.1	Pengujian Blok Tanggapan Sensor Cahaya Pada Sistem Pemancar	60
5.4.2	Pengujian Sistem Pemancar dan Penerima	62
BAB VI	PENUTUP	65
6.1.	Kesimpulan.....	65
6.2.	Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA		66
LAMPIRAN		67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Sinyal Sinusoida Analog	5
Gambar 2.2	Contoh Sinyal Diskrit.....	6
Gambar 2.3	Contoh Proses Pencuplikan.....	7
Gambar 2.4	Proses Analisa <i>Digital to Analog Conversion</i>	9
Gambar 2.5	Metode Pembangkitan Sinyal Sinusoida Secara Analog	10
Gambar 2.6	Metode Pembangkitan Sinyal Sinusoida dengan Metode PWM.....	12
Gambar 2.7	Tanggapan Frekuensi Filter BPF 1 dan BPF 2.....	13
Gambar 2.8	Renesas Mikrokomputer Unit Blok Diagram.....	14
Gambar 2.9	Blok Pemakaian Timer X.....	16
Gambar 2.10	Rangkaian Konversi D/A Dasar.....	17
Gambar 2.11	Pembagian arus pada konversi D/A metode tangga R-2R	18
Gambar 2.12	Konfigurasi pin dari DAC 0808	20
Gambar 2.13	Penggunaan DAC dengan Mikrokontroller.....	20
Gambar 2.14	Rangkaian Pengubah Arus ke Tegangan.....	21
Gambar 2.15	Diagram blok LCD M1632	22
Gambar 2.16	Konfigurasi pin LCD M1632	23
Gambar 2.17	Rangkaian <i>Filter Low Pass</i>	24
Gambar 2.18	Tanggapan frekuensi Low Pass Filter	25
Gambar 2.19	Simbol LED.....	25
Gambar 2.20	Grafik Hubungan Tegangan Maju Terhadap Arus Maju	26
Gambar 2.21	Contoh Macam-macam Driver LED	26
Gambar 4.1	Diagram Blok Sistem Sensor dua frekuensi secara keseluruhan	29
Gambar 4.2	Diagram Blok Sistem Pemancar	30
Gambar 4.3	Minimum Sistem R8C/13.....	32
Gambar 4.4	Pengatur TXMR pada pemakaian Timer X.....	33
Gambar 4.5	Rangkaian DAC 0808 dilengkapi Pengubah Arus ke Tegangan	34
Gambar 4.6	Rangkaian Pengubah Arus ke Tegangan.....	35
Gambar 4.7	Rangkaian <i>filter low pass</i>	36
Gambar 4.8	Uji Karakteristik Linieritas sensor	37
Gambar 4.9	Grafik fungsi Tegangan Keluaran terhadap Fungsi Arus masukan .	39
Gambar 4.10	Rangkaian Driver LED dengan Transistor.....	39
Gambar 4.11	Rangkaian Driver LED menggunakan R dan C sederhana	40

Gambar 4.12	Rangkaian Reset.....	42
Gambar 4.13	Rangkaian Antarmuka Serial RS232.....	45
Gambar 4.14	Peletakan Lokasi LED dan Foto dioda.....	45
Gambar 4.15	Diagram alir program utama	46
Gambar 4.16	Diagram Alir Pemakaian Sinyal Tunggal Sinusoida.....	47
Gambar 4.17	Proses Pembentukan Sinyal Sinusoida.....	48
Gambar 4.18	Proses pembentukan Sinyal Dua Frekuensi	49
Gambar 4.19	Diagram Alir Pemakaian Superposisi Sinyal Sinusoida	50
Gambar 4.20	Diagram Alir Pemakaian Metode <i>look up Table</i>	52
Gambar 5.1	Diagram Alir Program Pengujian DAC 0808	54
Gambar 5.2	Blok Pengujian Rangkaian DAC 0808.....	55
Gambar 5.3	Tegangan Keluaran DAC Hasil Pengukuran	55
Gambar 5.4	Blok pengujian Filter Pasif <i>low pass</i>	56
Gambar 5.5	Sinyal Output Filter pasif <i>Low Pass</i> Pada Frekuensi 4 kHz dan superposisi 4 dan 10,8 kHz	57
Gambar 5.6	Tanggapan Frekuensi Filter Pasif <i>Low Pass</i>	57
Gambar 5.7	Blok Pengujian Rangkaian Keluaran Sinyal Dari DAC 0808.....	58
Gambar 5.8	Sinyal Output keluaran DAC pada Frekuensi 4 kHz, 10.8 kHz Dan Superposisi 4 dan 10,8 kHz.....	58
Gambar 5.9	Blok Pengujian Rangkaian Filter Pasif <i>low pass</i>	59
Gambar 5.10	Keluaran Filter Pasifd <i>Low pass</i> Frekuensi 4 kHz, 10.8 kHz Dan Superposisi 4 dan 10,8 kHz.....	60
Gambar 5.11	Blok Pengujian Rangkaian Sistem Pemancar	61
Gambar 5.12	Pengujian Rangkaian Sistem Pemancar dari Blok Filter dan Blok Sensor Cahaya	62
Gambar 5.13	Blok Pengujian Rangkaian Sistem Pemancar dan Sistem Penerima.	62
Gambar 5.14	Gambar Hasil Pendeteksi Sinyal dengan 2 komponen Frekuensi.....	63

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Teknik Pembangkitan Gelombang Sinus	11
Tabel 2.2.	Perbandingan Fungsi Timer X, Timer Y, Timer Z dan Timer C	14
Tabel 2.3.	Urutan prioritas Pemakaian Interruptsi	16
Tabel 2.4.	Fungsi pin-pin pada LCD M 1632	23
Tabel 4.1.	Spesifikasi Pemakaian Mode Timer pada Timer X.....	32
Tabel 4.2.	Penentuan nilai cut-off Filter <i>low pass</i>	36
Tabel 4.3.	Data hubungan antara arus pada pemancar dan tegangan keluaran pada penerima	38
Tabel 4.4.	Perolehan frekuensi dengan penggunaan frekuensi sampling yang berbeda	48
Tabel 4.5.	Data pengubahan tegangan output DAC menjadi data heksadesimal untuk frekuensi 10,8 kHz.....	52
Tabel 5.1.	Hasil Pengujian Filter Pasif <i>Low Pass</i>	56
Tabel 5.2.	Hasil Keluaran DAC dengan menggunakan tiga frekuensi sampling....	60
Tabel 5.3.	Hasil Keluaran Filter dengan menggunakan tiga frekuensi sampling....	61
Tabel 5.4.	Hasil Pengujian Sensor Secara Keseluruhan Untuk Permukaan Garis Terang.....	63
Tabel 5.5.	Hasil Pengujian Sensor Secara Keseluruhan Untuk Permukaan Garis Gelap.....	64

DAFTAR SIMBOL

f_s	Frekuensi Sampling
T_s	Perioda Sampling
f_p	Frekuensi Pembawa
N_λ	Jumlah Panjang Gelombang
v_{maks}	Kecepatan Robot Maksimum
$\Delta x_{\min}$	Lebar Minimum yang terdeteksi sensor
α	Faktor Pengali Tak Bulat
fc	Frekuensi <i>cut-off</i> Filter
h	Konstanta Planck
c	Kecepatan Cahaya
K_F, T_F	Konstanta penguatan dan konstanta waktu filter

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

Look up Tabel Pembentukan Sinus

Tabel Keluaran Hasil Pengujian DAC

LAMPIRAN 2

Gambar Rangkaian Lengkap

LAMPIRAN 3

Foto Alat

LAMPIRAN 4

Petunjuk Pemakaian Alat

LAMPIRAN 5

Listing program

LAMPIRAN 6

Datasheet Komponen

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Robot bergerak berdasarkan posisi dan arah. Tujuan pergerakan robot adalah untuk mencapai posisi dengan arah tertentu. Salah satu jenis robot yang biasa kita kenal adalah Line Tracer Robot. Merupakan salah satu jenis robot yang perpindahannya dari satu tempat ketempat lain mengikuti suatu lintasan garis lurus. Umumnya robot melacak lintasan dengan menggunakan cahaya pantul dari bidang yang dilalui. Cahaya pantul ditanggapi oleh sensor cahaya. Pergerakan robot selanjutnya berdasar informasi yang diterima dari sistem pelacak garis.

Secara umum pelacak garis melakukan proses deteksi level tegangan pada sensor. Jika level tegangan tersebut lebih tinggi dari referensi pelacak dianggap berada diatas lintasan sehingga robot bergerak lurus. Sedangkan dalam kondisi sebaliknya, robot akan berbelok untuk menyesuaikan posisi dan level tegangan.

Kelemahan sistem sensor sederhana tersebut ialah sensitivitas sistem yang tinggi terhadap pengaruh cahaya eksternal. Cahaya eksternal dengan intensitas yang tinggi, seperti cahaya dari lampu sorot kamera televisi, dapat menyebabkan kesalahan identifikasi garis akibat penyimpangan level tegangan sensor yang terlalu tinggi. Hal ini dapat diatasi dengan menutup rapat sistem sensor sedemikian hingga tidak ada cahaya eksternal yang masuk. Akan tetapi, upaya ini sulit dilakukan oleh mayoritas tim peserta KRI karena kemampuan yang terbatas dalam pembuatan konstruksi mekanik robot.

Terdapat beberapa penawaran solusi dalam mengatasi permasalahan tersebut antara lain sebagai berikut, tingkat noise cahaya luar dapat di minimalkan dengan cara menutup rapat-rapat tempat sistem sensor berada. Yang kedua dengan cara pemakaian intensitas yang tinggi pada sumber cahaya sistem sensor, sehingga dalam aplikasinya frekuensi cahaya yang dihasilkan memiliki dominansi frekuensi yang lebih besar daripada cahaya eksternal. Dan yang terakhir dengan sistem DTMF atau sistem penjumlahan pada beberapa komponen frekuensi.

Tapi apakah semua itu menjamin akan kearah yang lebih baik atau bahkan akan menambah masalah pada suatu sistem. Seperti pada robot, penambahan komponen guna menutup rapat sistem sensor, padahal sistem sensor harus memiliki tingkat berat

yang terbatas dengan tujuan menjaga tingkat keseimbangan dan akurasi dari hasil terbaik sensor pada robot itu. Peningkatan intensitas cahaya hanya akan berakibat bertambahnya tingkat distorsi dan mengurangi akurasi dalam sistem sensor tracer.

Dari beberapa penawaran solusi diatas dapat diambil satu solusi terbaik yaitu dengan sistem DTMF tersebut. Dengan sistem tersebut kita bisa memberikan keunggulan lebih tanpa harus ada perubahan pada hardware sistem. Dalam aplikasinya kita hanya akan memberikan perubahan pada sistem perangkat lunaknya.

Sistem DTMF atau penjumlahan tersebut memiliki prinsip kerja yaitu secara sederhana terdapat dua buah sensor, sensor *transmitter* dan *receiver* (pemancar dan penerima). Dapat dijelaskan sebagai berikut, hasil frekuensi yang dipancarkan oleh pemancar dengan range frekuensi tertentu nantinya dapat diterima dengan sempurna oleh penerima dengan beberapa pengolahan sinyal sebelumnya oleh transmitter. Sehingga nantinya oleh penerima dapat menangkap sinyal frekuensi yang tepat sesuai dengan sinyal yang dipancarkan.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam skripsi ini dibahas rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana Karakteristik suatu sumber cahaya.
2. Bagaimana membentuk suatu sinyal enkoder dua frekuensi yang bisa dibentuk oleh mikrokontroler.
3. Bagaimana menentukan nilai frekuensi sampling terbaik pada mikrokontroler agar diperoleh data hasil sebagus mungkin.
4. Bagaimana merencanakan rangkaian *low pass filter* dan rangkaian pengubah sinyal digital ke sinyal analog yang sesuai untuk sistem sensor
5. Bagaimana menggunakan mikrokontroler yang mendukung kinerja sensor

1.3 Tujuan

Tujuan penyusunan skripsi ini adalah Merancang Sistem Pemancar Sensor dengan Membangkitkan Sinyal Dua Komponen Frekuensi untuk meningkatkan tingkat kehandalan Sistem Sensor Robot Pelacak Garis.

1.4 Ruang Lingkup

Dengan mengacu pada permasalahan yang telah dirumuskan, maka hal-hal yang berkaitan dengan alat yang akan dibuat, diberi batasan sebagai berikut:

1. Pembahasan berada hanya pada ruang lingkup sistem pemancar (*transmitter*)
2. Penentuan frekuensi yang dipakai mengacu pada frekuensi yang telah diteliti sebelumnya.
3. Tingkat akurasi hasil sensor yang diberikan pada alat tergantung pada proses pembangkitan sinyal dari mikrokotroller.
4. Menitikberatkan pada proses pembangkitan sinyal sinusoida dan proses modulasinya pada mikrokontroler.
5. Sistem penggunaan alat diaplikasikan pada daerah dengan warna bidang pantul sesuai dengan warna dalam penerapan *line tracer robot* yaitu putih dan hijau.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Memuat latar belakang, rumusan masalah, tujuan, ruang lingkup dan sistematika penulisan.

BAB II Teori Penunjang

Membahas teori-teori yang mendukung dalam perencanaan dan pembuatan Sistem Enkoder Dua Frekuensi Berbasis Mikrokontroler pada Sistem Sensor Pelacak Garis Robot.

BAB III Metodologi Penelitian

Berisi tentang metode penelitian dan perencanaan alat serta pengujian.

BAB IV Perencanaan dan Pembuatan Alat

Perancangan dan pembuatan Sistem Enkoder Penjumlah Dua Frekuensi Berbasis Mikrokontroler

BAB V Pengujian Alat

Memuat hasil pengujian terhadap alat yang telah direalisasikan.

BAB VI Kesimpulan dan Saran

Memuat kesimpulan dan saran-saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pemahaman tentang berbagai hal yang mendukung dibutuhkan dalam perencanaan dan realisasi Sistem Enkoder Dua Frekuensi Berbasis Mikrokontroler Untuk Sistem Sensor Pelacak Garis Robot. Pemahaman ini akan bermanfaat dalam perancangan perangkat keras dan perangkat lunak sistem.

2.1 Klasifikasi Sinyal

Sinyal adalah besaran fisis yang berubah menurut waktu, ruang, atau variabel bebas lainnya dan merupakan fungsi yang membawa informasi. Secara matematis, sinyal adalah fungsi dari satu atau lebih variabel independen. Proses ini dilakukan melalui pemodelan sinyal. Sinyal dalam kawasan waktu dibagi menjadi dua yakni, sinyal waktu kontinyu dan sinyal waktu diskrit. Sinyal waktu kontinyu adalah sinyal dengan variabel independen bernilai nyata (real). Sinyal waktu diskrit adalah sinyal dengan variabel independen bernilai integer. (Lee : 2000).

2.1.1 Sinyal Kontinyu

Sinyal waktu kontinyu merupakan suatu fungsi yang didefinisikan oleh interval waktu yang kontinyu (secara teknik, nilai real bersifat kontinyu). Contoh Sinyal waktu kontinyu ditunjukkan dalam Persamaan 2.1.

$$x_a(t) = A \cos(\omega t + \theta), \quad -\infty < t < \infty \quad (2.1)$$

dengan

A = Amplitudo sinusoida

ω = Frekuensi dalam radian per detik (rad/s)

θ = Fasa dalam radian.

Hubungan antara ω dengan frekuensi (f) dalam Hertz adalah

$$\omega = 2\pi f \quad (2.2)$$

Atau Persamaan 2.1 menjadi

$$x_a(t) = A \cos(2\pi ft + \theta), \quad -\infty < t < \infty \quad (2.3)$$

Bila frekuensi (f) diketahui, maka bisa didefinisikan perioda fundamental T_p :

$$T_p = 1 / f \quad (2.4)$$

Sebagai contoh sinyal waktu kontinyu adalah sinyal sinusoida analog yang diperlihatkan dalam Gambar 2.1.

Gambar 2.1 Sinyal Sinusoida Analog

2.1.2 Sinyal Diskrit

Sinyal waktu diskrit merupakan suatu fungsi yang didefinisikan oleh tiap pencuplikan. Contoh sinyal waktu diskrit ditunjukkan dalam Persamaan 2.5.

$$x_a(n) = A \cos(\omega n + \theta), \quad -\infty < n < \infty \quad (2.5)$$

dengan

A = Amplitudo sinusoida

ω = Frekuensi dalam radian per detik (rad/s)

θ = Fasa dalam radian.

Hubungan antara ω dengan frekuensi (f) dalam hertz adalah

$$\omega = 2\pi f \quad (2.6)$$

Atau Persamaan 2.1 menjadi

$$x_a(t) = A \cos(2\pi f n + \theta), \quad -\infty < n < \infty \quad (2.7)$$

Bila frekuensi (f) diketahui, maka bisa didefinisikan perioda fundamental T_p :

$$T_p = 1 / f \quad (2.8)$$

Gambar 2.2 Contoh Sinyal Diskrit

Sumber : Lee, 2000: 4

2.2 Pencuplikan dan Rekonstruksi Sinyal

Pada hardware digital, telah dilakukan proses pencuplikan dari sistem diskrit. Sinyal waktu diskrit dibuat oleh sinyal waktu kontinyu, dan sinyal waktu kontinyu di rekonstruksi oleh interpolasi sinyal waktu diskrit.

2.2.1 Teorema *Sampling*

Teorema Sampling merupakan proses indikasi dimana suatu sinyal kontinyu bisa di sampling (cuplik), hanya jika sinyal tersebut memiliki komponen frekuensi diatas satu setengah dari sampling rata-rata. Sebagai contoh, sampling rata-rata 2000 sample/detik akan membutuhkan sinyal analog yang tersusun atas frekuensi dibawah 1000 siklus/detik. Jika frekuensi tersebut dibentuk oleh suatu sinyal, maka sinyal tersebut akan mengalami aliasing pada frekuensi antara 0-1000 siklus/detik, digabung dengan informasi apapun yang dibawahnya

Proses dari pencuplikan tergantung dari sampel sinyal kontinyu yang akan diolah. Pada Gambar 2.3 ditunjukkan beberapa contoh proses sampling dari sinyal waktu kontinyu dengan pemakaian beberapa nilai jumlah beberapa kali frekuensi sampling rata-rata.

Gambar 2.3 Contoh proses pencuplikan Sinyal

Sumber : Smith, 1999: 41

Gambar 2.3(a), (b), dan (c) merupakan contoh proses pencuplikan yang sesuai dari gelombang sinusoida, Gambar 2.3(d) memberikan data frekuensi dari gelombang sinus analog yang lebih besar dari *Nyquist* frekuensi (setengah dari sampling rata-rata). Dan ini akan menghasilkan proses *aliasing*, dengan frekuensi dari pencuplikan data yang berbeda dengan bentuk frekuensi sinyal kontinyu

Teorema yang dipakai dalam proses pencuplikan adalah teorema frekuensi *Nyquist* yang menyatakan bahwa suatu sinyal kontinyu akan bisa disampling dengan baik, bila sinyal tersebut mengandung komponen frekuensi diatas setengah kali frekuensi sampling rata-rata.

2.2.2 Proses Rekonstruksi Sinyal

Proses rekonstruksi dalam membentuk suatu sinyal sinusoida dari beberapa sinyal diskrit adalah dengan penggunaan piranti *Digital to Analog Conversion*. Proses penggunaan DAC (*Digital to Analog Converter*) adalah dengan cara menyimpan hasil pencuplikan data sementara yang kemudian diubah dalam bentuk deret impulse (*Impulse Train*).

Dalam Gambar 2.4 ditunjukkan hasil respon spektrum frekuensi dari deret impulse yang terjadi, sinyal analog diperoleh dengan meloloskan deret impulse (*Impulse Train*) melalui rangkaian *Low Pass Filter*, dengan nilai frekuensi *cut-off* filter yang dipakai sama dengan setengah dari frekuensi sampling rata-rata. Dengan kata lain, sinyal asli dan deret impulse (*Impulse Train*) memiliki spektrum frekuensi yang identik di bawah *Nyquist Frequency* (setengah dari sampling rata-rata).

Pendekatan operasi DAC dipakai dengan cara menahan nilai data terakhir hingga proses pencuplikan data berikutnya yang akan diterima. Proses seperti ini dinamakan *Zeroth-Order-Hold*, dengan proses penggunaan DAC yang ekuivalen pada proses pencuplikan data dan penahanan data sementara dalam ADC (penahan orde pertama adalah garis lurus antar tiap point, penahan orde kedua menggunakan parabola, dll). (Smith, 1999: 60).

Proses analisa *Digital to Analog Conversion* ditunjukkan dalam Gambar 2.4

Gambar 2.4 Proses Analisa *Digital to Analog Conversion*

Sumber: Smith, 1999: 47

Pada analisa DAC, data digital dikonversi pertama kali kedalam bentuk *Impulse Train*, dengan spektrum yang ditampilkan dalam Gambar 2.4 (a) dan (b). Kemudian terdapat pengubahan dalam rekonstruksi sinyal (f), dengan menggunakan rangkaian *Low Pass Filter* untuk menghilangkan frekuensi di atas setengah frekuensi sampling rata-rata. Akan tetapi, kebanyakan DAC elektronik membentuk gelombang *Zeroth-Order-Hold* (c) disamping *Impulse train*. Spektrum *Zeroth-Order-Hold* sama dengan kelipatan spektrum *Impulse Train* oleh fungsi sinkronisasi yang ditunjukkan dalam Gambar 2.4 (d). Untuk mengubah *Zeroth-Order-Hold* ke dalam rekonstruksi sinyal, filter analog *low pass* harus mampu menghilangkan semua frekuensi diatas *Nyquist rate* dengan pengaturan nilai *cut-off* filter ditunjukkan dalam Gambar 2.4 (e).

2.3 Pembangkit Sinyal Sinusoida

Proses pembangkitan sinyal sinusoida pada aplikasi elektronika dibagi oleh dua bagian besar yaitu dengan cara analog dan dengan proses digital, dan untuk masing-masing proses memiliki pembagian metode yang berbeda-beda pula. Secara garis besar proses pembangkitan sinyal sinusoida ditunjukkan dalam Tabel 2.1. Pemakaian metode analog dimulai pada pemakaian osilator pergeseran fasa, yang menggunakan proses pengubahan fasa dan penguatan sinyal hingga dicapai bentuk sinyal sinus yang terbaik.

Penggunaan metode analog secara analog umumnya mempergunakan rangkaian osilator yang proses pembentukan sinyal sinus diperoleh dengan cara pengkuadratan sinyal yang ada sebelumnya dan kemudian diumpanbalikan. Dalam Gambar 2.5 ditunjukkan rangkaian sederhana osilator dengan penggunaan komponen penyusun op-amp, resistor dan kapasitor.

Gambar 2.5 Metode Pembangkitan Sinyal Sinusoida Secara Analog

Tabel 2.1. Teknik Pembangkitan Gelombang Sinus

Tipe	Range frekuensi	Persentase Distorsi (%)	Keterangan
Pergeseran Fasa	10 Hz-1 MHz	1-3	Mudah, murah, proses <i>starting</i> dan <i>settling</i> cepat.
Jembatan Wien	1 Hz-1 MHz	0,01	Distorsi Rendah, cocok untuk rangkaian audio, proses <i>tuning</i> relatif sulit
Resistansi Negatif LC	1 kHz-10 MHz	1-3	Pada range ebar proses <i>tuning</i> sulit, mudah dioperasikan di frekuensi tinggi
Tuning Fork	60 Hz -3 kHz	0,25	Frekuensi stabil pada range lebar. Pada dasarnya tidak <i>tertuning</i>
Crystal	30kHz-200MHz	0,1	Stabil pada frekuensi tinggi, sulit di – <i>tuning</i>
Pengendali Breakpoint Segitiga	<1 Hz - 500 kHz	1-2	Proses <i>tuning</i> pada range lebar dimungkinkan dengan penyesetan frekuensi, amplitudo baru
Pengendali Logaritma Segitiga	<1 Hz - 500 kHz	0,3	Proses <i>tuning</i> pada range lebar dimungkinkan dengan pemakaian frekuensi dan amplitudo baru. Juga tersedia gelombang kotak dan segitiga
DAC Pengendali logaritma Ketajaman	<1 Hz - 500 kHz	0,3	Mirip dengan metode sebelumnya hanya DAC yang membuat sinyal Segitiga. Dan alamat DAC bisa diatur dalam <i>counter</i> .
ROM-Pengendali DAC	1Hz-20MHz	0,1	Teknik pembangkitan dengan kesalahan dinamis yang kecil.

(National Semiconductor, 1999)

Pada metode digital, perolehan sinyal memiliki error dinamik yang kecil. Pada proses secara umum penggunaan *DAC* dan *counter* dapat diaplikasikan untuk memperoleh gelombang sinyal sinus, tapi penggunaan mikrokontroler pada saat ini mungkin lebih dipertimbangkan lagi. Metode pembangkitan dengan penggunaan mikrokontroler secara umum memiliki dua buah cara yaitu pemakaian PWM dan

penggunaan timer secara sederhana. Dalam Gambar 2.6 ditunjukkan metode pembangkitan sinyal dengan penggunaan PWM. Perubahan *Duty-cycle* akan menyebabkan perubahan pada tegangan rata-rata yang akan diperoleh.

Gambar 2.6 Metode Pembangkitan Sinusoida dengan metode PWM

2.4 Analisis Teori Penentuan Komponen Frekuensi Pada Robot Pelacak Garis

Perencanaan sinyal didasarkan pada beberapa frekuensi yang telah ditentukan sebelumnya. Dimana spesifikasi penentuan frekuensi sampling harus lebih dari dua kali frekuensi tertinggi dari dua frekuensi yang direncanakan (*N'Quist Theory*). Sehingga dirancang beberapa jenis frekuensi dengan frekuensi sampling yang berbeda-beda pula.

Frekuensi pembawa (f_c) dapat ditentukan berdasarkan Persamaan 2.9. Makin besar nilai N_λ makin besar tingkat kepercayaan terhadap hasil pengukuran sensor karena hasil pengukuran dalam selang Δx_{min} , secara teoritis, dapat dikonfirmasi sebanyak $2N_\lambda$ kali (sebanyak amplitudo negatif dan positif yang muncul). Tetapi, hal ini akan memerlukan frekuensi pembawa yang semakin tinggi.

$$f_p = N_\lambda \frac{v_{maks}}{\Delta x_{min}} \quad (2.9)$$

dengan f_p : frekuensi pembawa
 N_λ : jumlah panjang gelombang
 v_{maks} : kecepatan robot maksimum
 Δx_{min} : lebar minimum yang terdeteksi sensor

Berdasarkan teori tentang respon transien filter, nilai f_p ketika $N_\lambda = 1$ merupakan lebar pita minimum filter BPF (*Band Pass Filter*) dalam Gambar 2.5 agar filter mampu mengikuti perubahan (mendadak) amplitudo sinyal dalam selang Δx_{min} . Dengan demikian, jarak kedua frekuensi pembawa f_1 dan f_2 harus memenuhi Persamaan 2.10.