

# RANCANG BANGUN *FUNCTION GENERATOR* BERBASIS *DIGITAL TO ANALOG CONVERTER*

<sup>1</sup>Muchlis Abdi, <sup>2</sup>Untung Suryadhiato, <sup>3</sup>Ratna Mustika Yasi

<sup>1</sup>Prodi Teknik Elektro, Universitas PGRI, Banyuwangi

<sup>2</sup>Prodi Teknik Elektro, Universitas PGRI, Banyuwangi

<sup>3</sup>Prodi Teknik Elektro, Universitas PGRI, Banyuwangi

<sup>1</sup>[muchlisabdi8@gmail.com](mailto:muchlisabdi8@gmail.com), <sup>2</sup>[u.suryadhiyanto@gmail.com](mailto:u.suryadhiyanto@gmail.com), <sup>3</sup>[nanacan12@gmail.com](mailto:nanacan12@gmail.com)

**Abstract** - Facts in the field show that many function generator instruments are composed of analog components. Based on the size of its dimensions, this type of function generator has a large size so that it cannot be implemented on small-scale devices. To optimize electronic devices, it is necessary to implement a digital system. Based on this, this research intends to produce a digital to analog converter-based digital function generator using AT-Mega16, LCD2x16 and DAC0808 to determine the frequency and waveform that can be measured directly using an oscilloscope. The use of the C programming language by utilizing the VSM Studio and ProgISP software as commands for AT-Mega16. This research produces a function generator with a frequency range of 30.53 Hz - 20 KHz. The resulting waveforms include sine, checkerboard and ramp/sawtooth. The function generator is 100% accurate at a frequency of 33 Hz - 200 Hz and the measurement difference appears at a frequency of more than 200 Hz and tends to increase up to a frequency of 20 KHz. In addition to the difference in frequency, there are also waveform defects at frequencies above 2 KHz. Placement of DAC-based function generator oscillation programming commands in sub programs can cause waveform defects. The waveform defect is assumed to be the lag time of the microcontroller when it will perform looping of approximately 12.9  $\mu$ s. This can add to the difference in the resulting period. The use of commands and variable readings in microcontroller programming requires a time lag so that the difference between the input period and the resulting period is 140  $\mu$ s, this can be seen in the experimental measurement period from 50  $\mu$ s to 500  $\mu$ s.

**Keywords** — *Function Generator, Digital to Analog Converter, Microcontroller*

**Abstrak**— Fakta di lapangan menunjukkan bahwa instrumen function generator banyak yang tersusun atas komponen analog. Berdasarkan ukuran dimensinya function generator tipe tersebut memiliki ukuran besar sehingga tidak dapat diimplementasikan pada perangkat skala kecil. Untuk mengoptimalkan device elektronik dibutuhkan implementasi sistem digital. Berdasarkan hal tersebut penelitian ini bermaksud menghasilkan function generator digital berbasis digital to analog converter dengan memanfaatkan AT-Mega16, LCD2x16 dan DAC0808 untuk mengetahui frekuensi dan bentuk gelombang yang dapat diukur secara langsung dengan menggunakan oscilloscope. Penggunaan bahasa pemrograman C dengan memanfaatkan software VSM Studio dan ProgISP sebagai perintah untuk AT-Mega16. Penelitian ini menghasilkan function generator dengan range frekuensi 30,53 Hz - 20 KHz. Bentuk gelombang yang dihasilkan

antara lain sinus, kotak-kotak dan ramp/ gigi gergaji. Function generator akurat 100% pada frekuensi 33 Hz - 200 Hz dan muncul selisih pengukuran pada frekuensi lebih dari 200Hz dan cenderung naik sampai pada frekuensi 20 KHz. Selain selisih frekuensi juga terdapat cacat bentuk gelombang pada frekuensi diatas 2 KHz. Penempatan perintah pemrograman osilasi function generator berbasis DAC pada sub program dapat menyebabkan cacat bentuk gelombang. Cacat bentuk gelombang tersebut diasumsikan sebagai jeda waktu microcontroller ketika akan melakukan looping sebesar kurang lebih 12,9  $\mu$ s. Hal tersebut dapat menambah selisih periode yang dihasilkan. Penggunaan perintah-perintah dan pembacaan variabel pada pemrograman microcontroller membutuhkan jeda waktu sehingga didapatkan selisih antara periode yang diinput dengan periode yang dihasilkan sebesar 140  $\mu$ s hal tersebut terlihat pada percobaan pengukuran periode 50  $\mu$ s sampai dengan periode 500  $\mu$ s.

**Kata Kunci**— *Function Generator, Digital to Analog Converter, Mikrokontroler*

## I. Pendahuluan

Praktikum merupakan kegiatan pembelajaran yang dapat menunjang kemampuan mahasiswa untuk memvisualisasi dan mengimplementasikan teori dan konsep yang sudah dipelajari. Salah satu instrumen yang sering digunakan dalam kegiatan praktikum teknik elektro adalah *function generator* [1]. Fakta di lapangan menunjukkan bahwa instrumen *function generator* banyak yang tersusun atas komponen *analog*. Berdasarkan ukuran dimensinya *function generator* tipe tersebut memiliki ukuran besar sehingga tidak dapat diimplementasikan pada perangkat skala kecil [2]. Implementasi sistem *digital* berkembang dengan fungsi yang semakin kompleks. Digitalisasi merupakan era dimana sistem *analog* digantikan oleh sistem *digital* sebagai media optimasi dalam dunia elektronik. Selain itu dihasilkan efisiensi perangkat, baik dalam komponen pembentuk dan *output* yang dihasilkan [3]. Berdasarkan hasil observasi di Laboratorium program studi Teknik elektro Universitas PGRI Banyuwangi didapatkan *function generator* yang ada jenis *analog*. Pada penelitian Wahyu & Sunardi, 2016 yang berjudul “Perancangan dan Simulasi *Generator Fungsi Berbasis Proteus*”, telah berhasil mengembangkan *function generator* dengan memanfaatkan *software design* elektronika *proteus*. *Function generator* ini mampu menghasilkan gelombang sinus dan kotak 65KHz.

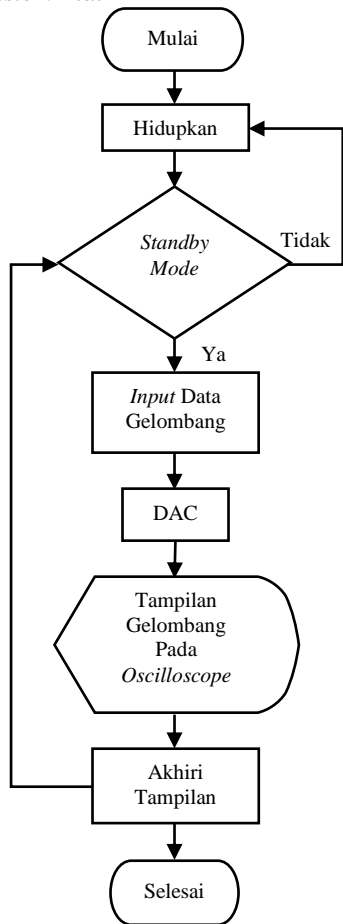
Kelemahan pada penelitian ini hanya sebatas simulasi tidak sampai pengambilan data langsung di lapangan. Berdasarkan hal tersebut muncul sebuah gagasan untuk merancang dan membangun *function generator digital* Berbasis DAC (*Digital to Analog Converter*).

## II. Metode Penelitian

### 2.1. Metodologi

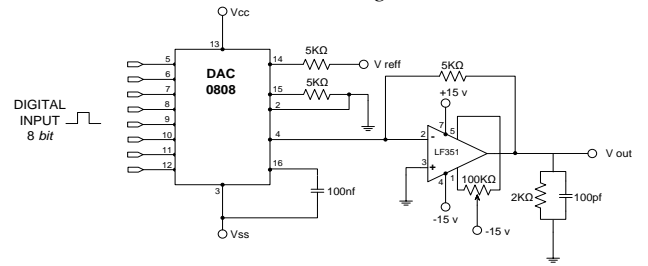
Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen menggunakan metode penelitian kuantitatif yang digunakan untuk mengetahui pengaruh variabel independen (treatment/perlakuan) terhadap variabel dependen (hasil) dalam kondisi yang terkendalikan. Sehingga tahap-tahap dalam pelaksanaan pada penelitian ini diantaranya: desain alat, pembuatan alat, pengujian alat, analisis dan pembahasan. Penelitian dilakukan di Laboratorium prodi Teknik Elektro sejak bulan Mei hingga Agustus 2021.

### 2.2. Desain Sistem Alat



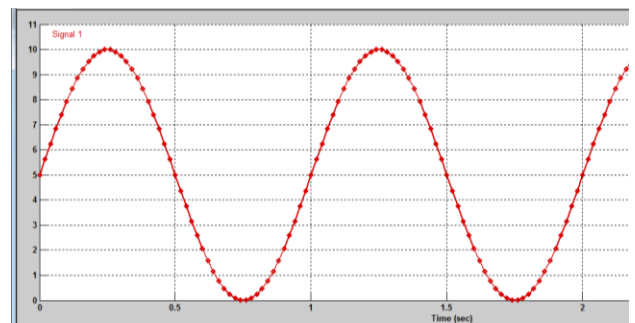
Gambar 2.1. Desain Sistem Alat

### 2.3. Metode Pembentukan Gelombang

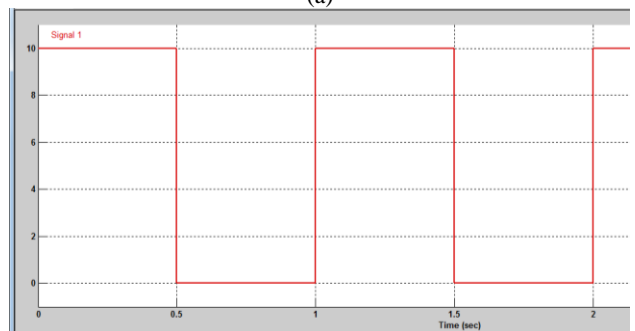


Gambar 2.2 Skema Rangkaian DAC0808

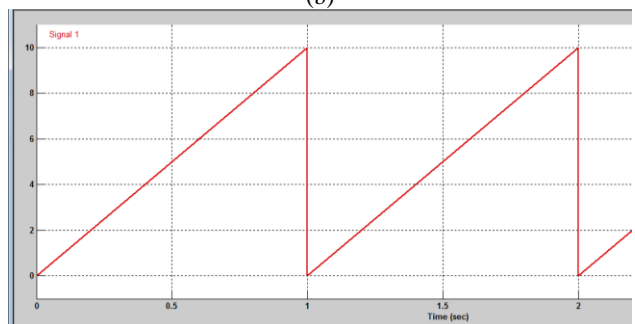
*Digital to analog converter* adalah merubah besaran digital menjadi analog. Mikrokontroler difungsikan sebagai masukan 8-bit sinyal digital dengan memanfaatkan *port-D* pada AT-Mega16. Sehingga keluaran pada rangkaian DAC diharapkan membentuk gelombang sinus, kotak-kotak dan *ramp/* gigi gergaji. Pembentukan gelombang menggunakan metode sampling dengan memanfaatkan *software* MATLAB. Seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini.



(a)



(b)



(c)

Gambar 2.3. (a) Sampling Gelombang Sinus. (b) Sampling Gelombang Kotak-kotak. (c) Sampling Gelombang Ramp.

Gambar di atas menunjukkan besar amplitudo sebesar 10v dengan titik *offset* 5v. Dari hasil sampling tersebut dapat diketahui nilai tegangan keluaran ( $V_o$ ) pada sinyal terdiskrit sehingga data-data 8-bit input digital bilangan biner dapat diketahui dengan rumus yang sesuai data sheet DAC0808 sebagai berikut

$$V_o = 10v \left( \frac{A_1}{2} + \frac{A_2}{4} + \dots + \frac{A_8}{256} \right) \quad [4].$$

Data-data tersebut kemudian dikonversi dalam bilangan hexa desimal seperti yang tertera pada tabel-tabel dibawah ini.

Tabel 2.1. Data Pembentuk Gelombang Sinus

No	Data	No	Data	No	Data	No	Data	No	Data
1	80	11	FA	21	CB	31	35	41	6
2	90	12	FE	22	BE	32	28	42	C
3	A0	13	FF	23	AF	33	1D	43	14
4	AF	14	FF	24	A0	34	14	44	1D
5	BE	15	FE	25	90	35	C	45	28
6	CB	16	FA	26	80	36	6	46	35
7	D8	17	F4	27	70	37	2	47	42
8	E3	18	EC	28	60	38	0	48	51
9	EC	19	E3	29	51	39	0	49	60
10	F4	20	D8	30	42	40	2	50	70

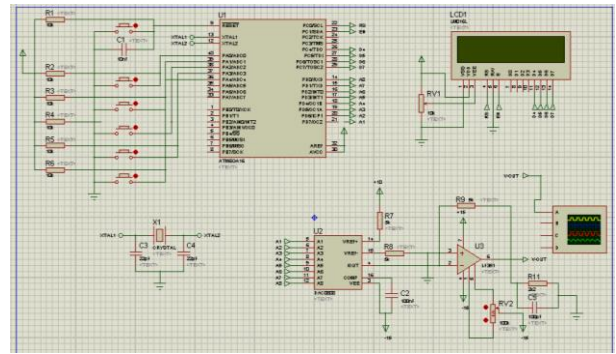
Tabel 2.2. Data Pembentuk Gelombang Kotak-kotak

No	Data	No	Data	No	Data	No	Data	No	Data
1	FF	11	FF	21	FF	31	0	41	0
2	FF	12	FF	22	FF	32	0	42	0
3	FF	13	FF	23	FF	33	0	43	0
4	FF	14	FF	24	FF	34	0	44	0
5	FF	15	FF	25	FF	35	0	45	0
6	FF	16	FF	26	0	36	0	46	0
7	FF	17	FF	27	0	37	0	47	0
8	FF	18	FF	28	0	38	0	48	0
9	FF	19	FF	29	0	39	0	49	0
10	FF	20	FF	30	0	40	0	50	0

Tabel 2.3. Data Pembentuk Gelombang Ramp

No	Data	No	Data	No	Data	No	Data	No	Data
1	0	11	34	21	68	31	9C	41	D0
2	5	12	39	22	6D	32	A1	42	D5
3	A	13	3E	23	72	33	A7	43	DB
4	10	14	44	24	78	34	AC	44	E0
5	15	15	49	25	7D	35	B1	45	E5
6	1A	16	4E	26	83	36	B6	46	EA
7	1F	17	53	27	87	37	BB	47	EF
8	24	18	58	28	8C	38	C0	48	F5
9	2A	19	5E	29	92	39	C6	49	FA
10	2F	20	63	30	97	40	CB	50	FF

2.4. Perancangan Hardware



Gambar 2.4. Desain Hardware

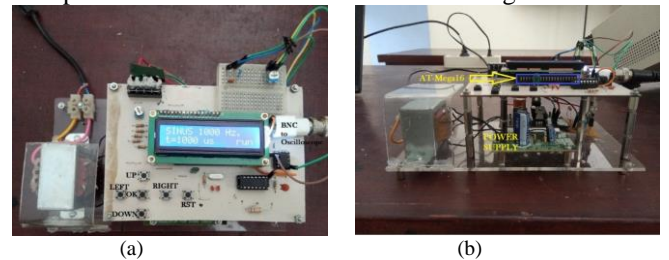
Alat didesain dengan *software* simulator proteus yang memiliki 6 tombol dan LCD 2x16. Port-D pada AT-Mega16 dirancang untuk menghasilkan sinyal-sinyal digital yang kemudian dikonversi menjadi sinyal analog pada rangkaian *digital to analog converter*.

2.5. Perancangan Pemrograman

Pemrograman dibuat dengan *software* VSM-Studio untuk mendapatkan file hex yang kemudian dapat diupload pada AT-Mega 16 menggunakan *software* Prog ISP.

III. Hasil dan Pembahasan

Hasil pembuatan alat sesuai desain adalah sebagai berikut:



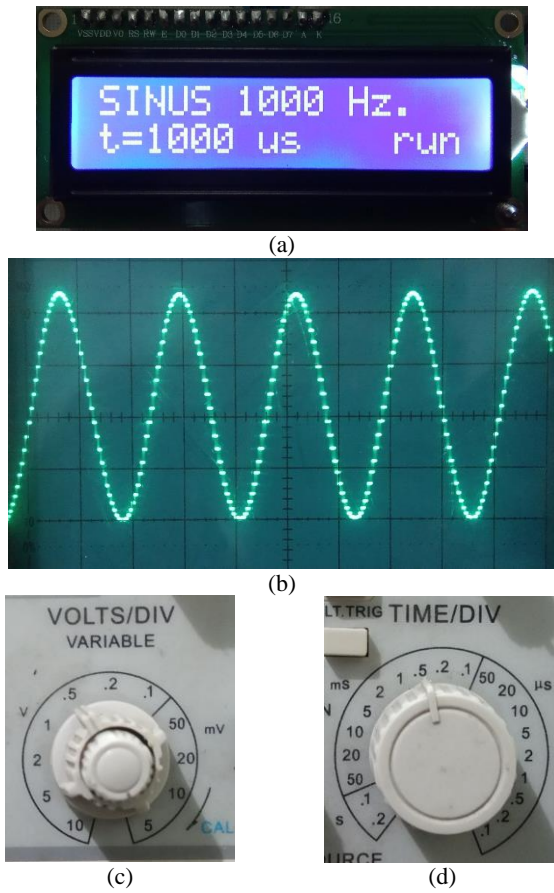
Gambar 3.1. (a) Alat Tampak Atas. (b) Alat Tampak Depan

Frekuensi yang dihasilkan pada alat penelitian diatas 30,53 Hz - 20 Khz, dengan bentuk gelombang antara lain: sinus, kotak-kotak dan *ramp/* gigi gergaji. Tombol UP dan DOWN berfungsi sebagai pengatur nilai T (periode), perubahan nilai T sebesar 50 μs, tombol LEFT dan RIGHT untuk memilih bentuk gelombang, tombol OK untuk menjalankan proses dan tombol RST untuk kembali ke kondisi awal/ baru dihidupkan.

3.1. Hasil Pengujian

Uji coba bentuk gelombang dilakukan di beberapa besaran frekuensi secara acak disemua bentuk gelombang untuk membuktikan apakah data-data pada metode pembentukan gelombang dapat menghasilkan bentuk gelombang yang direncanakan. Gambar dibawah ini menunjukkan bentuk gelombang pada frekuensi 1 KHz.

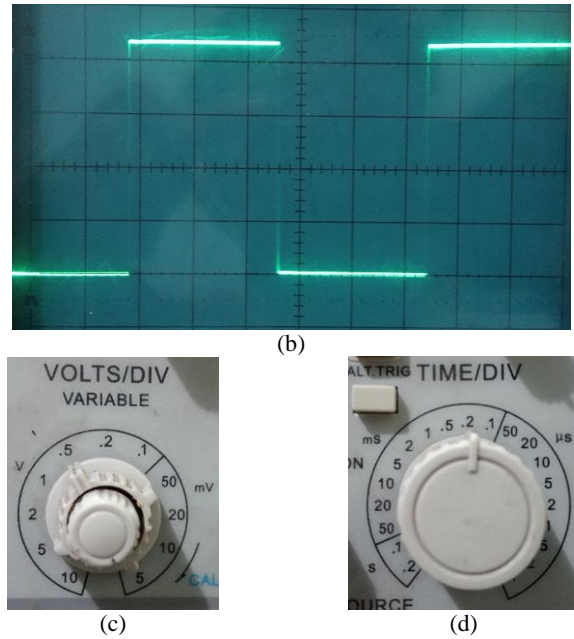
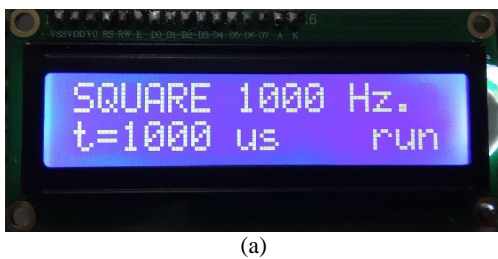
1 Gelombang Sinus



Gambar 3.2. (a) Tampilan LCD (b) Tampilan Gelombang Sinus Pada Oscilloscope (c) Volt/ Div (d) Time/ Div

Berdasarkan gambar di atas dapat dibaca  $T = 2,24 \times 500 \mu\text{s} / \text{div} = 1120 \mu\text{s}$  ( $f = 869,57 \text{ Hz}$ ),  $A = 44 \times 500 \text{ mV} / \text{div} = 22 \text{ Vp-p}$ .

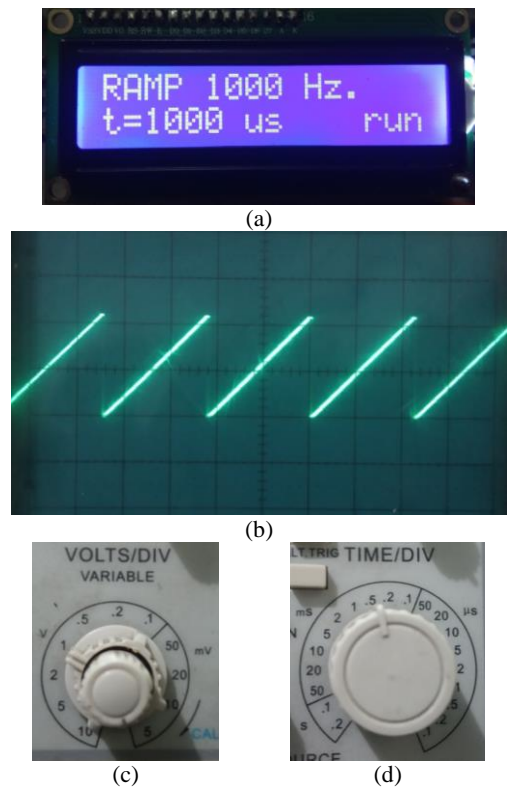
2 Gelombang Kotak-kotak



Gambar 3.3. (a) Tampilan LCD (b) Tampilan Gelombang Kotak-kotak Pada Oscilloscope (c) Volt/Div (d) Time/Div

Berdasarkan gambar di atas dapat dibaca  $T = 5,6 \times 200 \mu\text{s} / \text{div} = 1120 \mu\text{s}$  ( $f = 869,57 \text{ Hz}$ ),  $A = 44 \times 500 \text{ mV} / \text{div} = 22 \text{ Vp-p}$ .

3 Gelombang Ramp



Gambar 3.4. (a) Tampilan LCD (b) Tampilan Gelombang Ramp Pada Oscilloscope (c) Volt/Div (d) Time/Div



Berdasarkan gambar di atas dapat dibaca  $T = 2,24 \times 500 \mu\text{s} / \text{div} = 1120 \mu\text{s}$  ( $f = 869,57 \text{ Hz}$ ),  $A = 22 \times 1\text{V}/\text{div} = 22 \text{ Vp-p}$ .

Tabel 3.1. Hasil Pengukuran

No.	Input		Output		Selisih	
	T (μs)	f (Hz)	T (μs)	f (Hz)	T (μs)	f (Hz)
1	50	20000,00	190	5263,16	140,00	14736,84
2	100	10000,00	240	4166,67	140,00	5833,33
3	150	6666,67	290	3448,28	140,00	3218,39
4	200	5000,00	340	2941,18	140,00	2058,82
5	250	4000,00	390	2564,10	140,00	1435,90
6	300	3333,33	440	2272,73	140,00	1060,61
7	350	2857,14	490	2040,82	140,00	816,33
8	400	2500,00	540	1851,85	140,00	648,15
9	450	2222,22	590	1694,92	140,00	527,31
10	500	2000,00	640	1562,50	140,00	437,50
11	1000	1000,00	1120	892,85	150,00	130,43
12	2000	500,00	2100	476,19	100,00	23,81
13	3000	333,33	3050	327,87	50,00	5,46
14	4000	250,00	4025	248,45	25,00	1,55
15	5000	200,00	5000	200,00	0,00	0,00
16	6000	166,67	6000	166,67	0,00	0,00
17	7000	142,86	7000	142,86	0,00	0,00
18	8000	125,00	8000	125,00	0,00	0,00
19	9000	111,11	9000	111,11	0,00	0,00
20	10000	100,00	10000	100,00	0,00	0,00
21	10000	100,00	10000	100,00	0,00	0,00
22	20000	50,00	20000	50,00	0,00	0,00
23	30000	33,33	30000	33,33	0,00	0,00

3.2. Pembahasan

Alat dibuat sesuai desain yang menghasilkan *function generator* dengan rentang frekuensi 33,33 Hz sampai dengan 20 KHz. Metode pembentukan sampling gelombang dengan memanfaatkan *software MATLAB* dapat menghasilkan bentuk gelombang antara lain: sinus, kotak-kotak dan *ramp*. Perubahan bentuk gelombang tidak mempengaruhi besar frekuensi dan amplitudo yang dihasilkan. Hal tersebut dapat terlihat pada percobaan pertama frekuensi 1 KHz yang terlihat pada gambar 4.5, gambar 4.6 dan gambar 4.7. Hal tersebut dikarenakan jumlah data pada setiap pembentukan gelombang sebanyak 50 data dan nominal *delay/* jeda waktu yang bernilai sama.

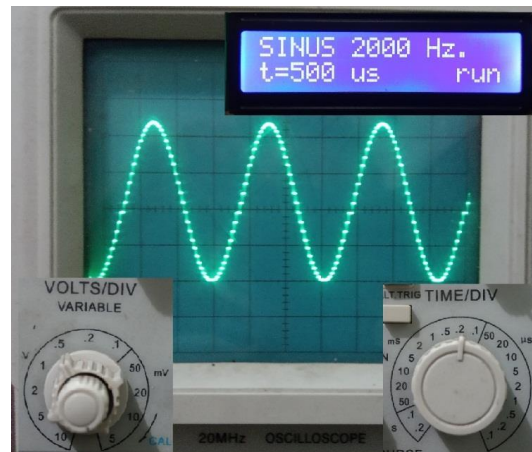
Pada percobaan frekuensi tinggi atau periode terendah terjadi cacat pada gelombang sinus dan *ramp/* gigi gergaji seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 3.5. (a) Cacat Gelombang Sinus (b)Cacat Gelombang Ramp

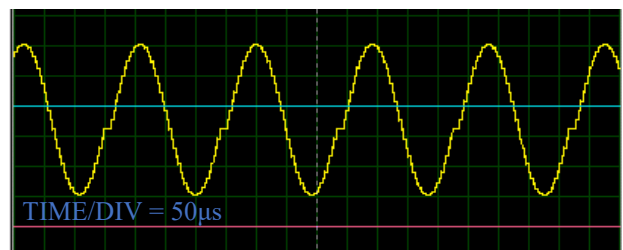
Gambar di atas menunjukkan cacat bentuk gelombang pada kondisi yang berbeda cacat bentuk gelombang sinus terdapat di lereng dan cacat gelombang ramp terdapat di

puncak. Kecacatan senilai kurang lebih 12,9 μs setiap rentang gelombang sinus sebesar 190 μs. Sedangkan pada bentuk gelombang ramp nilai kecacatan sebesar kurang lebih 12 μs pada rentang gelombang sebesar 190 μs. Bentuk kecacatan ini adalah kondisi jeda waktu saat program mengalami loading pembacaan data untuk looping. Siklus tersebut terjadi secara berulang tergantung kondisi setting periode yang diterapkan. Kondisi tersebut semakin tidak terlihat pada periode > 500 μs. Seperti ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



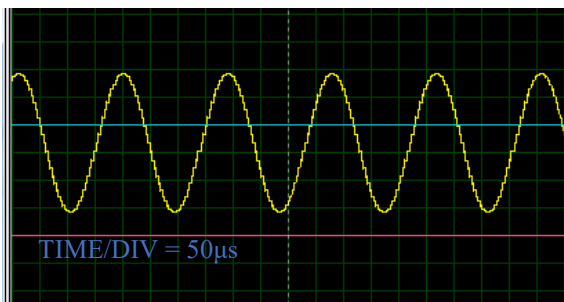
Gambar 3.6. Gelombang Sinus 2KHz

Berdasarkan cacat bentuk gelombang tersebut kemudian dilakukan percobaan pada simulator proteus pada gelombang sinus 20 KHz yang bermaksud untuk mengetahui penyebab kecacatan. Seperti terlihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.7. Tampilan Gelombang Sinus Pada Simulator

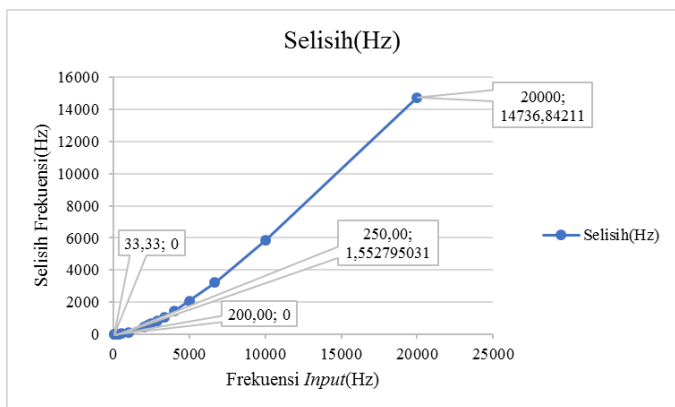
Dari gambar di atas cacat bentuk gelombang juga terlihat pada simulator sehingga muncul dugaan penyebab kecacatan tersebut tertuju pada pemrograman. Selanjutnya dilakukan perbaikan pemrograman dengan merubah perintah untuk port-D sebagai osilasi *function generator* yang sebelumnya ada pada sub program dipindahkan pada program *looping* dan didapatkan seperti gambar dibawah ini.



Gambar 3.8. Tampilan Gelombang Pada Simulator

Berdasarkan gambar di atas dapat dijelaskan penempatan perintah untuk port-D tidak didapatkan cacat pada gelombang sinus pada frekuensi 20KHz. Dari fenomena tersebut dapat dibahas bahwa penempatan perintah osilasi pada sub program dapat menyebabkan cacat bentuk gelombang.

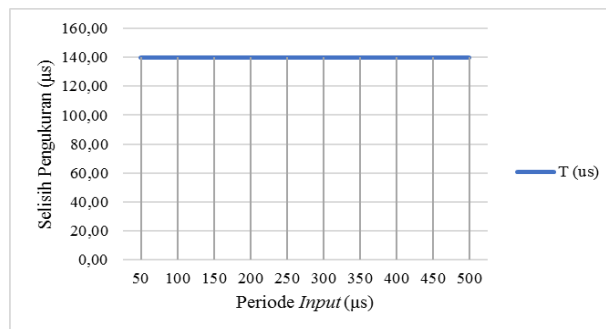
Berdasarkan hasil pengukuran dibuat grafik sebagai berikut.



Gambar 3.8. Grafik Selisih Frekuensi

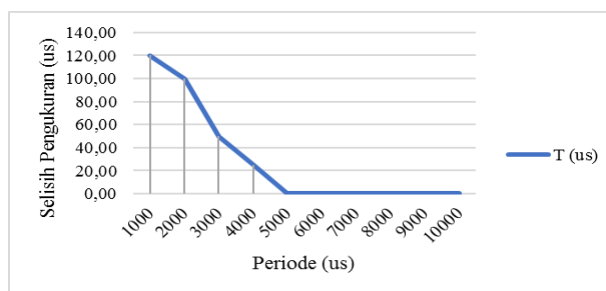
Dari grafik di atas dapat dijelaskan alat akurat 100% pada frekuensi 30 Hz sampai dengan 200 Hz. Selisih pengukuran muncul pada frekuensi diatas 200 Hz dan terus meningkat sampai pada frekuensi 20 KHz. Hal yang sama juga terjadi pada penelitian Firdaus, et al., 2020 yang berjudul “Rancang Bangun Generator PWM Berbasis Mikrokontroler AVR ATmega”, menyatakan bahwa Semakin tinggi frekuensi PWM maka semakin besar nilai perbedaan frekuensi yang diukur dengan yang diinginkan. Selisih terjadi akibat dari pembulatan nilai ICR dan OCR.

Berdasarkan hal tersebut dibuat analisis terkait selisih pengukuran. Persentase selisih pengukuran tertinggi ada pada tabel 4.1 pengambilan data selisih pengukuran pada periode 50 µs sampai dengan 500 µs, dengan interval 50 µs dan didapatkan grafik sebagai berikut.



Gambar 3.9. Grafik Selisih Periode

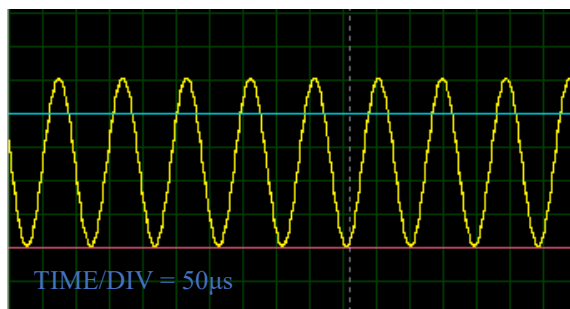
Pada grafik di atas terlihat selisih pengukuran periode rata-rata sebesar 140 µs di semua percobaan pada periode 50 µs – 500 µs. Sedangkan pada percobaan berikutnya pada tabel 4.2. data selisih pengukuran pada periode 1000 µs – 10000 µs dapat dilihat pada grafik sebagai berikut.



Gambar 3.10. Grafik Selisih Periode

Dari grafik di atas dapat terlihat selisih pengukuran terus menurun, hal tersebut disebabkan semakin besar perkalian time/div pada *oscilloscope* maka selisih pengukuran semakin tidak terlihat.

Dari fenomena tersebut muncul dugaan pada sebuah mikrokontroler yang mengalami perlambatan dalam mengeksekusi pemrograman yang sudah dibuat dan hanya terlihat pada pengukuran frekuensi tinggi. Kemudian sebagai penguat dugaan dilakukan percobaan dengan simulator dengan mengurangi perintah pemrograman. Pada percobaan ini hanya mengaktifkan *port-D* dengan nominal *delay* yang sama pada periode 50 µs didapatkan hasil sebagai berikut.



Gambar 3.11. Tampilan Gelombang Sinus Pada Simulator

Dari hasil percobaan tersebut didapatkan hasil periode terukur 95  $\mu$ s pada periode input 50  $\mu$ s. Sehingga didapatkan selisih pengukuran sebesar 45  $\mu$ s. Sedangkan pada penggunaan pemrograman yang sudah dirancang selisih pengukuran 140  $\mu$ s. Maka dapat dijelaskan bahwa penggunaan perintah-perintah pada pemrograman microcontroller membutuhkan jeda waktu dan hanya terlihat pada pengukuran frekuensi tinggi.

#### IV. Kesimpulan dan Saran

*Function generator* berbasis digital to analog converter dapat dirancang dan dibangun dengan *microcontroller* AT-Mega16, DAC0808, LCD2x16 dengan memanfaatkan software Proteus, VSM Studio, dan Prog ISP. Metode pembentukan gelombang dapat dibuat dengan metode sampling menggunakan *software* MATLAB. Bentuk gelombang yang dihasilkan antara lain: sinus, kotak-kotak, dan *ramp/* gigi gergaji. Perubahan bentuk gelombang tidak berpengaruh pada besar frekuensi dan amplitudo yang dihasilkan.

Terdapat kecacatan bentuk gelombang sinus dan *ramp* pada frekuensi lebih dari 2 KHz. Hal tersebut disebabkan adanya jeda waktu sekitar 12,9 mikro detik ketika *microcontroller* akan melakukan *looping*. Kecacatan tersebut semakin tidak terlihat seiring bertambahnya nilai periode yang *disetting*. Kecacatan bentuk gelombang juga dapat menyebabkan bertambahnya selisih antara frekuensi *disetting* dengan frekuensi yang dihasilkan. Pada percobaan pada simulator dengan memindahkan perintah untuk *port-D* dari sub program ke program *looping* dapat menghasilkan sinyal sinus tanpa cacat pada periode 50  $\mu$ s. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penempatan perintah osilasi pembentuk gelombang pada sub program dapat menyebabkan cacat bentuk pada saat *looping*. Maka penempatan perintah osilasi harus pada program *looping*.

*Function generator* yang dihasilkan pada penelitian ini akurat pada *range* frekuensi 33,33 Hz sampai dengan 200 Hz. Error terjadi pada frekuensi diatas 200 Hz. Hal tersebut disebabkan banyaknya perintah pada pemrograman *microcontroller* yang membutuhkan jeda waktu. Jeda waktu

tersebut terlihat pada percobaan *function generator* berbasis digital to analog converter pada frekuensi tinggi. Hal tersebut dikuatkan dengan percobaan simulator pada periode 50  $\mu$ s dengan program hanya perintah *port-D* yang menghasilkan selisih pengukuran 45  $\mu$ s. Sedangkan pada penggunaan bahasa pemrograman yang sudah dirancang didapatkan selisih sebesar 140  $\mu$ s

.Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan muncul saran yang diharapkan dapat menjadi penyempurna alat antara lain:

- 1 Penempatan perintah osilasi harus pada program *looping*.
- 2 Dibutuhkan algoritma pemrograman *microcontroller* yang lebih baik untuk dapat memperkecil selisih antara frekuensi yang diinput dan yang dihasilkan.

#### V. Daftar Pustaka

- [1] Arsyad, R. D., Poernomo, T. & Lucia, J., "Perancangan dan Realisasi Sistem Pentransmisi Short Message dan Sinyal Digital pada Modem BPSK berbasis MATLAB", Jurnal Itenas Rekayasa, Vol. XVII No.1, pp. 1-12, 2013.
- [2] Fariz, A., Nia, G. A. & Drs. Abdul, R. M., "Implementasi Waveform Generator Gelombang Sinus, Kotak, Segitiga Dan Gergaji Pada Fpga Berbasis Vhdl", Skripsi Elektronika Dan Instrumentasi, 2014.
- [3] Suryo, A. W., Sholeh, H. P., M., J. & Wijono, "Desain 8 Bit R3R Ladder Digital To Analog Converter", Jurnal EECCIS, Volume Vol. 6 No.2, pp. 131-138, Desember 2012.
- [4] Texas Instrument, DAC 0808 8-bit D/A Converter, Data Sheet DAC 0808, Literature Number: SNAS539A, Mei 1999.
- [5] Joseph, T., Charles, M. R. & Bernard, G., "A Digital Frequency Synthesizer", IEEE Trans. on Audio Electroacoustics, Volume AU-19, pp. 48-57, Maret 1971.