

Inovasi Desain dan Simulasi Function Generator Dengan Integrasi *Microcontroller*

Adi Mulyadi*, Muhammad Zainal Roisul Amin, Muchlis Abdi
Universitas PGRI Banyuwangi

Jl. Ikan Tongkol No.22, Kertosari Banyuwangi, Kec. Banyuwangi, Kab. Banyuwangi, Jawa Timur 41482
adimulyadi@unibabwi.ac.id

Abstrak

Paper ini membahas inovasi desain dan simulasi *function generator*. Desain menggunakan integrasi mikrokontroler Atmega16, Integrated Circuit (IC) DAC0808 dan LF351. Desain dan simulasi diimplementasikan pada Laboratorium Elektro Universitas PGRI Banyuwangi sebagai acuan praktikum. Pengujian *function generator* menggunakan rentang frekuensi 30 Hz sampai 200 KHz dengan tiga bentuk gelombang sinus, kotak dan gergaji. Hasil simulasi menunjukkan bahwa gelombang sinus diperoleh pada frekuensi 1 KHz dan periode 1120 μ s. Gelombang kotak didapatkan pada frekuensi 1 KHz dan periode 1150 μ s. Sedangkan gelombang gergaji dengan frekuensi 1 KHz dan periode 1150 μ s. Hal ini membuktikan *function generator* dapat membangkitkan gelombang sinyal pada frekuensi 1 KHz dengan periode waktu yang bervariasi.

Kata Kunci — Function Generator, Mikrokontroler Atmega16, IC DAC0808, LF351.

Abstract

This paper discusses the innovation design and simulation of the function generator. The design uses the Atmega16 microcontroller, Integrated Circuit (IC) DAC0808 and LF351. The design and simulation were implemented at the Electrical Laboratory of the PGRI Banyuwangi University as a practical reference. The function generator test uses a frequency range of 30 Hz to 200 KHz with three waveforms of sine, pulse and ramp. The simulation results show that a sine wave is obtained at a frequency of 1 KHz and a period of 1120 μ s. Pulse waves are obtained at a frequency of 1 KHz and a period of 1150 μ s, while a ramp wave with a frequency of 1 KHz and a period of 1150 μ s. This proves that the function generator can generate signal waves at a frequency of 1 KHz with varying time periods.

Keywords — Function Generator, Microcontroller Atmega16, IC DAC0808, LF351

I. PENDAHULUAN

Function Generator (FG) membangkitkan tiga jenis sinyal gelombang *sinus*, *kotak* dan *gergaji* dengan pengaturan frekuensi serta *amplitude* [1]. FG memiliki *single input and single output* (SISO) dengan *amplitude* acak pada pengulangan setiap periodenya atau sinyal digital, namun FG

tidak dapat membangkitkan sinyal gergaji dengan *bit biner* acak. FG hanya dapat menghasilkan sinyal gergaji yang berulang antara bit 0 dan 1 secara periodik [2]. Sinyal sinus dihasilkan oleh *input* frekuensi 20 Hz sampai 10 KHz dan dapat diatur setiap kenaikan frekuensi *step* 1 Hz [3]. Sinyal digital dapat dibangkitkan dari arus *direct current* (DC) menjadi frekuensi tertentu dengan rangkaian elektronik. Penelitian dilakukan untuk menghasilkan sinyal dengan IC XR-2206. Rangkaian diterapkan untuk menghasilkan sinyal gelombang sinus, kotak dan gergaji pada frekuensi 1 MHz dengan tegangan *input* 10-26 volt [4]. Selain itu, pembangkit sinyal digunakan dalam dunia medis, telekomunikasi, dan industri. Tetapi sinyal mempunyai resiko pada derau. Teknik *direct digital synthesis* (DSS) diterapkan untuk menentukan bilangan *biner* dan *output* frekuensi [5]. Aplikasi FG pada dunia medis untuk melihat fenomena fisik seperti tulang, gigi, sendi, otot, kulit [6] dan alat *electrical capacitance tomography* (ECT). ECT digunakan untuk mendapatkan aliran material [7]. Penerapan di dunia telekomunikasi sebagai pengembangan *hardware*, *transmitter* dan *receiver* berdasarkan sinyal I dan Q. I dan Q menghasilkan gelombang 1 gigabit per detik [8]. Aplikasi pada industri diterapkan pada *smartphone* untuk menghasilkan tegangan AC yang berbeda [9].

Rekayasa FG diusulkan untuk menghasilkan sinyal dengan mikrokontroler arduino R3. Sinyal *output* dikendalikan oleh arduino untuk mendapatkan *output* analog ke digital [10]. FG dirancang menggunakan IC DAC0809 untuk menghasilkan gelombang sinus dan kotak. Hasil perancangan menunjukkan bahwa gelombang sinus dan kotak dipicu oleh frekuensi 65 KHz [11]. Implementasi *fuzzy logic* digunakan sebagai kontrol *output* FG dengan penguatan eksitasi konverter AC to DC Converter Pulse Width Modulation (AC-DC PWM). *Fuzzy logic* mengendalikan besar sinyal dari PWM untuk mendapatkan lebar *pulse switching*. Hasil simulasi membuktikan *output* tegangan FG 383 Volt dengan eksitasi 84.5 vdc. Sedangkan *duty cycle* 37.2% dan frekuensi 15 KHz [12]. Desain dan kontrol generator PWM menggunakan OMAP-L138 untuk menghasilkan gelombang sinus murni. Rangkaian perancangan diuji menggunakan CPU Consumption Rate. Hasil pengujian menunjukkan bahwa

generator PWM mendapatkan struktur mudah dan presisi pada kontrol tinggi [13].

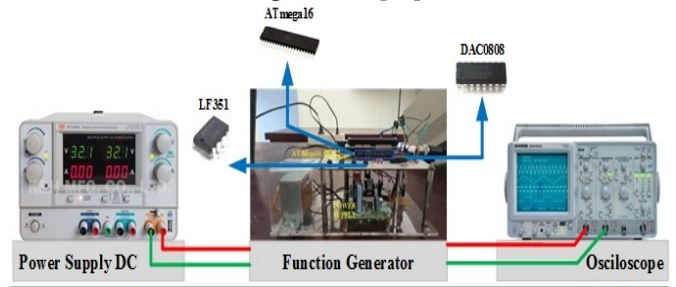
Selanjutnya desain dikembangkan dengan menggunakan mikrokontroler AVR ATmega. Mikrokontroler AVR ATmega 8535 digunakan sebagai kontrol frekuensi dan *output duty cycle*. Kontrol frekuensi menggunakan *register ICR* untuk menyimpan nilai TOP dan kontrol *duty cycle* menggunakan *register OCR* untuk menyimpan bilangan MAX. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kontrol frekuensi 20 KHz dan *duty cycle* 25% dengan nilai ICR 599 dan OCR 116 [14]. Perancangan *digital to analog converter* (DAC) menggunakan metode R2R. Kemudian metode R2R dianalisis dengan teknologi CMOS 1.2 μm . Hasil simulasi menunjukkan bahwa teknologi 1.2 μm mendapatkan penguatan frekuensi 65.876 dB, *Gain Bandwidth* (GBW) sebesar 2.0012 MHz, SR 31.862 $\text{V}/\mu\text{s}$, CMRR 70 dB, PSSR 81,681 dB, disipasi daya 3,32 mW, tegangan output -4,985 Volt sampai 4,549 Volt. R3R pada DAC tidak dapat menghasilkan kelinieran lebih baik, namun kelinieran tidak beraturan dalam proses konversi [15].

Penelitian yang dilakukan oleh [4] dengan menghasilkan sinyal gelombang sinus, kotak dan gergaji pada frekuensi 1 MHz. Pada frekuensi tinggi, penerapan FG akan menghasilkan derau [5]. Sehingga penerapannya tidak sesuai pada peralatan medis [6], [7], [8] dan [9]. Selain itu, perancangan IC DAC0809 untuk menghasilkan gelombang sinus dan kotak [10]. FG digunakan untuk menghasilkan sinyal gelombang sinus dan kotak pada frekuensi 65 KHz serta pengujian berbasis simulasi proteus [11]. Oleh sebab itu, inovasi desain *function generator* diusulkan untuk menghasilkan gelombang *sinus*, *kotak* dan *gergaji* pada frekuensi rendah dengan ATmega16, DAC0808 dan LF351. Desain dan simulasi diimplementasikan pada Laboratorium Elektro Universitas PGRI Banyuwangi sebagai acuan praktikum. Pengujian *function generator* menggunakan rentang frekuensi 30 Hz sampai 200 KHz. Hasil simulasi menunjukkan bahwa gelombang sinus diperoleh pada frekuensi 1 KHz dan periode 1120 μs . Gelombang *pulse* didapatkan pada frekuensi 1 KHz dan periode 1150 μs . Sedangkan gelombang *ramp* dengan frekuensi 1 KHz dan periode 1150 μs . Hal ini membuktikan *function generator* dapat membangkitkan gelombang sinyal pada frekuensi 1 KHz dengan periode waktu yang bervariasi.

II. METODELOGI PENELITIAN

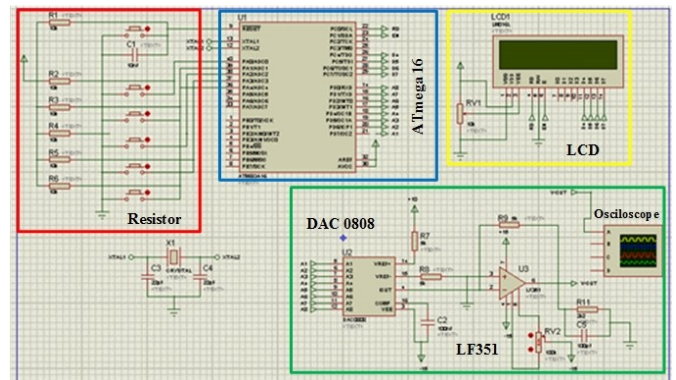
Metode penelitian yang diusulkan dengan inovasi desain *function generator* terintegrasi ATmega16, LF351 dan IC DAC0808 [16]. DAC0808 digunakan untuk menghasilkan *output* tegangan dan frekuensi maksimum [17]-[18]. Teknik *sampling*, *quantization*, dan *coding* DAC digunakan untuk menyuplik dan menghasilkan frekuensi yang diinginkan [19]. Selanjutnya sinyal digital yang dihasilkan oleh DAC akan dirubah ke dalam bentuk analog [20]. Selama proses perubahan dalam bentuk analog ke digital, sinyal dimodifikasi satu atau lebih. FG memiliki frekuensi gelombang rendah 1 KHz sampai 5 KHz dari rangkaian sumber *oscillator* [21].

Gelombang sinus dijelaskan dengan *amplitude*, frekuensi dan fasa. Modulasi digital membutuhkan gelombang sinus berdasarkan *amplitude*, fasa, dan frekuensi [22]. Pembangkit sinyal gelombang pada FG dengan integrasi DAC0808 membutuhkan data bilangan *biner* [23].



Gbr. 1 Desain Inovasi *Function Generator*

Gambar 1 merupakan desain inovasi FG dengan ATmega16, DAC0808 dan LF351. Data disebut *look-up tabel* (LUT) yang digunakan sebagai skenario pembangkit sinyal [24]-[25]. Selain DAC0808, mikrokontroler ATmega16 dan LF351 digunakan sebagai pengaturan lebar pulsa pada *output function generator* [26]-[27].

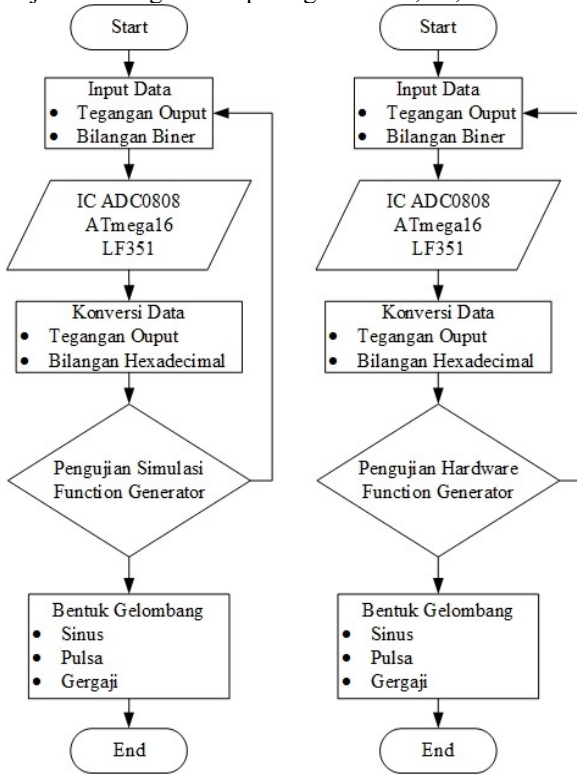


Gbr. 2 Skema *Function Generator*

Gambar 2 menjelaskan skema inovasi *function generator* pada *proteus* dengan resistor, IC DAC0808, ATmega16, dan LF351. Jumlah resistor disusun paralel dengan masing-masing resistansi 5K Ω , 10K Ω , dan 2K2 Ω . Resistor digunakan sebagai penguatan sinyal *input*, sehingga sinyal *output* yang dihasilkan akan memiliki perberbedaan fasa dan tegangan *output*. Perbedaan fasa dan tegangan *output* diproses oleh mikrokontroler ATmega16 berdasarkan sinyal diskrit. Sinyal diskrit berupa data 8-bit digital bilangan *biner* dan dikonversi kedalam bilangan *hexadecimal*. Proses konversi melalui IC DAC0808 setiap tegangan *output* yang dihasilkan oleh ATmega16. *Output* FG berupa sinyal *analog*, sehingga sinyal gelombang yang dihasilkan harus dikonversi menjadi sinyal digital. Konversi sinyal analog ke digital menggunakan IC DAC0808 dari *output sinus*, *kotak* dan *gergaji* berupa bilangan *biner*. Proses konversi sinyal *analog to digital* dijelaskan pada gambar 3.

A. Diagram Alir

Gambar 3 menjelaskan diagram alir pengujian simulasi dan pengujian *hardware* FG menggunakan ATmega16, DAC0808 dan LF35. Pengambilan data dilakukan berdasarkan simulasi dan pengujian alat. Pada pengujian simulasi, tahap pertama yaitu *input* data berupa *output* tegangan dan perbedaan fasa dari mikrokontroler ATmega16. Data yang dimasukkan adalah bilangan *biner* dan dikonversi melalui IC DAC0808 menjadi bilangan *hexadecimal*. Data ini digunakan sebagai pembangkit sinyal gelombang sinus, kotak, dan gergaji. Sedangkan pengujian alat, tahapan yang dilakukan sama. Hal ini digunakan sebagai validasi dari percobaan simulasi yang dilakukan. Pembangkit sinyal sinus, kotak, dan gergaji ditunjukkan dengan data pada gambar 4a, 4b, dan 4c berikut.



Gbr. 3 Diagram Alir Inovasi Desain dan Simulasi *Function Generator*

Data Gelombang Sinus

No.	Tegangan Keluaran (Volt)	Data		No.	Tegangan Keluaran (Volt)	Data	
		DEC	HEX			DEC	HEX
1	5,00	128	80	26	5,00	128	80
2	5,63	144	90	27	4,37	112	70
3	6,24	160	A0	28	3,76	96	60
4	6,84	175	AF	29	3,16	81	51
5	7,41	190	BE	30	2,59	66	42
6	7,94	203	CB	31	2,06	53	35
7	8,42	216	D8	32	1,58	40	28
8	8,85	227	E3	33	1,15	29	1D
9	9,22	236	EC	34	0,78	20	14
10	9,52	244	F4	35	0,48	12	C

Gbr. 4a Data Gelombang Sinus

Data Gelombang Kotak

No.	Tegangan Keluaran (Volt)	Data		No.	Tegangan Keluaran (Volt)	Data	
		DEC	HEX			DEC	HEX
1	9,96	255	FF	26	0,00	0	0
2	9,96	255	FF	27	0,00	0	0
3	9,96	255	FF	28	0,00	0	0
4	9,96	255	FF	29	0,00	0	0
5	9,96	255	FF	30	0,00	0	0
6	9,96	255	FF	31	0,00	0	0
7	9,96	255	FF	32	0,00	0	0
8	9,96	255	FF	33	0,00	0	0
9	9,96	255	FF	34	0,00	0	0
10	9,96	255	FF	35	0,00	0	0

Gbr. 4b Data Gelombang Kotak

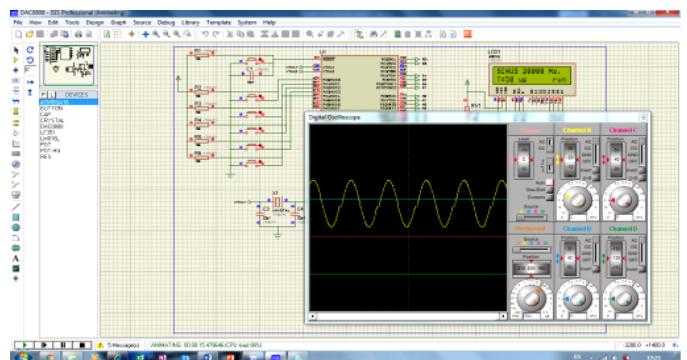
Data Gelombang *Ramp/ Gergi* Gergaji

No.	Tegangan Keluaran (Volt)	Data		No.	Tegangan Keluaran (Volt)	Data	
		DEC	HEX			DEC	HEX
1	0,00	0	0	26	5,08	131	83
2	0,20	5	5	27	5,28	135	87
3	0,41	10	A	28	5,49	140	8C
4	0,61	16	10	29	5,69	146	92
5	0,81	21	15	30	5,89	151	97
6	1,02	26	1A	31	6,10	156	9C
7	1,22	31	1F	32	6,30	161	A1
8	1,42	36	24	33	6,50	167	A7
9	1,63	42	2A	34	6,71	172	AC
10	1,83	47	2F	35	6,91	177	B1

Gbr. 4c Data Gelombang Gergaji

B. Simulasi *Proteus*

Sebelum perancangan *hardware* dilakukan, desain perancangan simulasi dilakukan dengan *proteus*. Hal ini untuk menghindari kesalahan pada perancangan dan pengujian. Percobaan simulasi *function generator* pada *proteus* dijelaskan pada gambar 4.



Gbr. 5 Simulasi *Function Generator* Menggunakan *Proteus*

Berdasarkan hasil simulasi pada gambar 5 menunjukkan bahwa gelombang sinus diperoleh dengan frekuensi 20 KHz. Gelombang sinus memiliki cacat gelombang (riak) yang disebabkan oleh *delay* sebesar 50 μ s. Selanjutnya variasi *delay* dilakukan dengan 95 dan 140 μ s untuk mendapatkan selisih nilai kesalahan pada frekuensi gelombang yang diinginkan.

Semakin besar *delay*, maka frekuensi yang dihasilkan semakin besar dan cacat pada gelombang sinus.

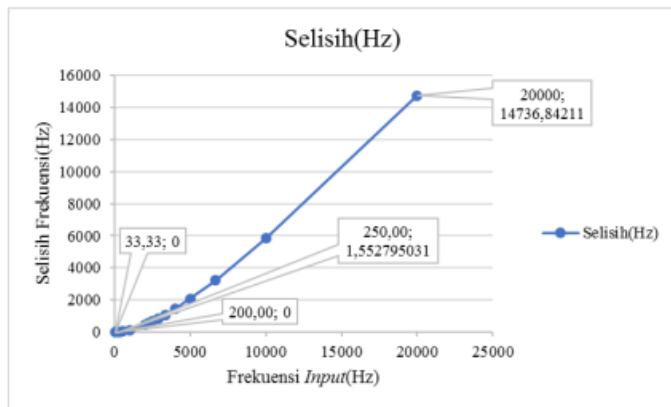
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran *function generator* dari frekuensi *input* dan *output* menggunakan periode waktu yang variasi pada setiap bentuk gelombang. *Input* nilai periode 50 μs sampai 500 μs , 1.000 μs sampai 10.000 μs , dan 10.000 μs sampai 30.000 μs dijelaskan pada tabel berikut.

TABEL I
 HASIL PENGUKURAN PADA PERIODE 1,000 μs –10,000 μs

No	Input		Output		Selisih	
	T (μs)	f (μs)	T (μs)	f (μs)	T (μs)	f (μs)
1	100	1000,00	1120	892,85	150,0	130,43
2	2000	500,00	2100	476,19	100,0	23,81
3	3000	333,33	3050	324,87	50,00	5,39
4	4000	250,00	4025	248,45	25,00	1,55
5	5000	200,00	5000	200,00	0,00	0,00
6	6000	166,67	6000	166,67	0,00	0,00
7	7000	142,86	7000	142,86	0,00	0,00
8	8000	125,00	8000	125,00	0,00	0,00
9	9000	111,11	9000	111,11	0,00	0,00
10	10000	100,00	10000	100,00	0,00	0,00

Tabel 1 hasil pengukuran pada periode 1,000 μs sampai 10,000 μs . *Input periode* (T) divariasi mulai 100 sampai 10,000 μs dan frekuensi yang dihasilkan 1000,00 sampai 100,00. Hal ini menunjukkan bahwa *output* yang diperoleh dari periode T (μs) 1120 sampai 1000 dan f (μs) 892,85 sampai 100,00.



Gbr. 6 Gelombang Sinus, Kotak, Gergaji Pada Frekuensi 1000Hz

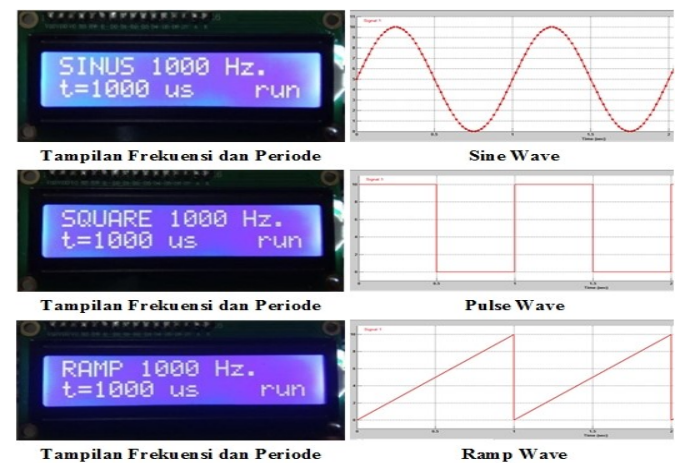
Gambar 6 menjelaskan pengukuran frekuensi 1000 Hz. Hasil pengujian pada frekuensi 200 Hz sampai 20 KHz menunjukkan bahwa semakin besar frekuensi teknik *pulse width modulation* (PWM), maka pengukuran akan mengalami perbedaan dan nilai selisih yang dipengaruhi resolusi mode cepat pada nilai bulat *Output Compare Register* dan *Input Compare Register* [28]-[29].



Gbr. 7 Gelombang Sinus, Kotak, Gergaji menggunakan Frekuensi 1000Hz

Gambar 7 hasil pengujian *hardware function generator* dengan frekuensi 1000 Hz menghasilkan tiga gelombang sinus, kotak dan gergaji dengan periode T = 1000 μs . Metode pembangkit tiga gelombang sinus, kotak dan gergaji berdasarkan data tegangan *output* dan perbedaan fasa yang dijelaskan pada gambar 4 (a, b, c). Semakin besar frekuensi dan *amplitude* yang dihasilkan, maka akan mempengaruhi bentuk gelombang sinus, kotak dan gergaji yang berbeda. Hal ini dipengaruhi oleh teknik pencuplikan (*sampling*) gelombang yang semakin rapat.

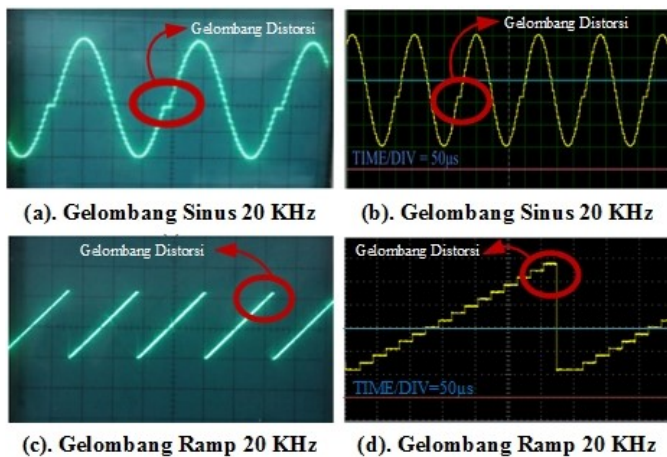
Gambar 8 menjelaskan hasil pengujian simulasi *function generator* menggunakan proteus. Pengaturan frekuensi untuk menghasilkan gelombang sinus, kotak, gergaji adalah 1000 Hz dengan periode bervariasi T= 50 μs , 500 μs , dan 100 μs . Metode pembangkit tiga gelombang berdasarkan data gambar 4 (a, b, c). Hasil pengujian simulasi dengan frekuensi 1000 Hz ini digunakan sebagai perbandingan antara *hardware* dan simulasi. Gambar 7 dan 8 menunjukkan bahwa hasil gelombang *sinus, kotak dan gergaji* memiliki bentuk gelombang dengan frekuensi yang sama.



Gbr. 8 Gelombang Sinus, Kotak, Gergaji Pada Frekuensi 1000Hz

Hasil perbandingan dari simulasi dan *hardware* pada gambar 7 dan 8 pada pengujian *function generator*

menunjukkan bahwa gelombang sinus, kotak dan gergaji dengan frekuensi rentang 1000 KHz. Jika frekuensi di bawah 1 KHz, maka gelombang sinus, kotak dan gergaji mengalami distorsi. Hal ini disebabkan oleh teknik *sampling* yang dibutuhkan oleh mikrokontroler ATmega16, DAC0808, dan LF351 mengalami *delay*. Sehingga berdampak pada proses pengolahan sinyal digital untuk mengkonversi nilai bilangan biner 0 dan 1 [30]. Selain itu, data pada pembentukan setiap gelombang membutuhkan 50 dan jumlah *delay* dengan periode yang sama.



Gbr. 9 Cacat Gelombang Sinus pada Frekuensi 20 KHz

Gambar 9 menunjukkan hasil pengujian *hardware* dan pengujian simulasi pada gelombang (sinus dan gergaji) yang mengalami cacat (distorsi) pada frekuensi tinggi 20 KHz. Cacat atau distorsi disebabkan oleh suplai arus pada *gate* nol dalam waktu *micro seconds*, sehingga resistansi *input* JFET mencapai orde tinggi yaitu M Ω dan *switching transistor* JFET mengalami jeda waktu yang lama hingga 50 μ s. Cacat pada gelombang sinus dan gergaji sebesar 12,9 μ s dengan rentang 190 μ s. Siklus cacat terjadi perulangan setiap kenaikan nilai periode $T=50$ sampai 30000 μ s.

Selain itu, distorsi gelombang dipengaruhi oleh kondisi saturasi dan sinyal *output* transistor yang menyebabkan terpotong (*clipping*). Hal ini dipicu oleh tegangan serta arus *grid* yang meningkat. Naik dan turun tegangan *grid* tidak proporsional terhadap *input*, sehingga kondisi ini disebut *soft limiting effect* [31].

IV. KESIMPULAN

Inovasi desain dan simulasi *function generator* menggunakan integrasi mikrokontroler Atmega16 dan *Integrated Circuit* (IC) DAC0808, ATmega16, dan LF351. Desain dan simulasi diimplementasikan pada Laboratorium Elektro Universitas PGRI Banyuwangi sebagai acuan praktikum. Pengujian *function generator* menggunakan rentang frekuensi 30 Hz sampai 200 KHz dengan tiga bentuk gelombang sinus, kotak dan gergaji. Hasil simulasi menunjukkan bahwa gelombang sinus diperoleh pada

frekuensi 1 KHz dan periode 1120 μ s. Gelombang kotak didapatkan pada frekuensi 1 KHz dan periode 1150 μ s, Sedangkan gelombang gergaji dengan frekuensi 1 KHz dan periode 1150 μ s. Walaupun gelombang pada frekuensi 20 KHz mengalami cacat (riak) yang disebabkan oleh *delay switching transistor* JFET pada DAC0808. *Function generator* dapat membangkitkan gelombang sinyal pada frekuensi 1 KHz dengan periode waktu yang bervariasi.

REFERENSI

- [1] A. Rizal, D. Suryadi, A. Aula, J. Marpaung, and Syaifurrahman, "Rancang Bangun Pembangkit Sinyal Tiga Keluaran Dengan Modul S15351 Berbasis Arduino," *J. Tek. Elektro Univ. Tanjungpura*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013.
- [2] A. R. Darlis, P. Trisapto, and L. Jambola, "Perancangan Dan Realisasi Sistem Pentransmision Short Message Dan Sinyal Digital Pada Modulator Demodulator (Modem) Binary Phase Shift Keying (BPSK) Berbasis Matlab 7.4.," *J. Itenas Rekayasa*, vol. 17, no. 1, pp. 1–12, 2013.
- [3] B. Fatkhurrozi, I. Nawawi, and Sudaryanto, "Rancang Bangun Audio Generator Untuk Frekuensi 20 Hz-10 KHz Berbasis Mikrokontroler AT89S52," *J. Penelit. Inov.*, vol. 32, no. 2, pp. 47–65, 2009.
- [4] E. Nurraharjo, "Rangkaian Pembangkit Gelombang dengan menggunakan IC XR-2206," *Teknol. Inf. Din. J.*, vol. 18, no. 1, pp. 24–29, 2013.
- [5] N. Wibarasta, "Pembangkit Gelombang Sinus , Segitiga Dan Kotak Menggunakan CPLD/FPGA," Universitas Sanata Dharma Yogyakarta, 2010.
- [6] N. S. Aminah and Jamzuri, "Desain Signal Generator Untuk Uji Kelistrikan Tubuh," *Pros. Semin. Nas. Fis. dan Pendidik. Fis.*, vol. 2, no. 1, pp. 246–256, 2013.
- [7] R. A. Rahim, T. C. Heng, S. Sulaiman, and M. S. A. Manaf, "Pc Controlled Function Generator Using Direct Digital Synthesis (Dds) Technology for Electrical Capacitance Tomography," *J. Teknol.*, vol. 45, no. D, pp. 19–39, 2006.
- [8] Tektronix, *Signal Generator Fundamentals*, vol. 1, no. 1. 2009.
- [9] E. Mathew, S. Karamchandani, and T. D. Biradar, "Mobile function generator using Android," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 49, no. 1, pp. 229–234, 2015.
- [10] Z. Budiarmo and W. Hadikurniawati, "Rekayasa Sistem Kendali Generator Sinyal XR-2206 Berbasis Arduino UNO R3," *Teknol. Inf. Din.*, vol. 19, no. 2, pp. 101–111, 2014.
- [11] W. . . Aji and Sunardi, "Perancangan dan Simulasi Generator Fungsi Berbasis Proteus," *Simp. Nas. Teknol. Terap.*, vol. 4, no. 1, pp. 78–85, 2016.
- [12] R. i Sudjoko and M. Margono, "Rancang Bangun Sistem Kendali Berbasis Logika Fuzzy pada Pengendalian Eksitasi Generator Sinkron," *J. Penelit.*, vol. 2, no. 4, pp. 242–248, 2017.
- [13] X. Zhang, T. Qu, D. Yin, and Y. Liu, "Design and Implementation of PWM Generator Based on OMAP-L138," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 381, no. 1, 2018.
- [14] F. Firdaus, R. Chadri, and N. Nasrullah, "Rancang Bangun Generator PWM Berbasis Mikrokontroler AVR ATmega," *Elektron J. Ilm.*, vol. 12, no. 2, pp. 61–66, 2020.
- [15] S. A. Wibowo, S. H. Pramono, and M. Julius, "Desain 8 bit R3R Ladder Digital to Analog Converter," *J. EECCIS*, vol. 6, no. 2, pp. 131–138, 2012.
- [16] Semiconductor, "DAC0808 8-Bit D / A Converter 8-Bit D / A Converter," 2001.
- [17] T. Sutikno, N. R. N. Idris, I. M. Alsofyani, A. Jidin, and L. L. Raj, "FPGA based five-phase sinusoidal PWM generator," *PECon 2012 - 2012 IEEE Int. Conf. Power Energy*, vol. 1, no. December, pp. 314–318, 2012.
- [18] B.-G. Goldberg, *Digital frequency synthesis demystified : DDS and fractional-N PLLs*. 1999.
- [19] Khairunnisa and Y. Indrasary, "Simulasi Akuisisi Data Sinyal Audio,"

- J. Simantec*, vol. 5, no. 2, pp. 76–84, 2016.
- [20] W. A. Kharisma and H. N. Isnianto, “Pembangkit Gelombang Terprogram Menggunakan DDS AD9851 Berbasis Mikrokontroler 18F4550,” *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 11, no. 1, pp. 8–14, 2014.
- [21] I. Wayan Suwika Adnyana, T. Zubaidah, and C. M. Mustiko Okta, “Perancangan Dan Analisis Sistem Transfer Daya Listrik Tanpa Kabel Dengan Kumparan Multilayer Yang Bekerja Pada Frekuensi Rendah Design And Analysis Of Wireless Power Transfer By Multilayer Coils In Low Frequencies,” vol. 3, no. 2, pp. 161–172, 2016.
- [22] M. Kollam, “Design And Implementation Of An Enhanced Dds Based Digital Modulator For Multiple Modulation Schemes,” *Int. J. Smart Sens. Adhoc Network.*, no. December, pp. 102–107, 2011.
- [23] J. Tierney, C. M. Rader, and B. Gold, “A Digital Frequency synthesizer,” *Ieee Trans. Audio ...*, vol. 1, no. 1, pp. 48–57, 1971.
- [24] A. J. Salazar, G. Bahubalindruno, G. R. Locharla, H. S. Mendonça, J. C. Alves, and J. M. Da Silva, “A Study on Look-up Table Based Sine Wave Generation,” *Rec 2011*, no. February 2011, p. 4, 2011.
- [25] T. Guo, K. Tang, and Y. Zheng, “A 1GHz configurable chirp modulation direct digital frequency synthesizer in 65nm CMOS,” *Proc. - IEEE Int. Symp. Circuits Syst.*, vol. 2021-May, no. Cm, pp. 13–16, 2021.
- [26] Atmel, “Datasheet ATmega16,” 1984.
- [27] Atmel, “Datasheet LF351 Operational Amplifier,” 1997.
- [28] Atmel, “ATMega 8535,” *Datasheet*, pp. 1–112, 2006.
- [29] H. Su and S. Chen, “Multi-Channel PWM Signal Generation Method and Its Application on Robot Toy Control,” *Proc. 8th WSEAS Int. Conf. SIGNAL Process. Robot. Autom. Multi-Channel*, vol. 2, no. 1, pp. 25–30, 2015.
- [30] T. T. M. B. Simulink, M. Aswan, and A. Hidayatno, “Pewujudan tapis digital bandpass iir menggunakan dsk tms320c6713tm,” pp. 320–325.
- [31] R. Rama Putra and W. Djurianto, “Perancangan Dan Implementasi Wave Shaper Pada Transistor Dengan Metode Soft Clipping,” vol. 13, no. 1, pp. 51–56, 2019.