

ANALISIS DISTORSI HARMONIK TERHADAP ISYARAT PADA RANGKAIAN PENGUAT TRANSISTOR SATU TAHAP

Muhammad Eka Kevin Arfianto, Departemen Pendidikan Fisika, Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia

Sumarna*, Departemen Pendidikan Fisika, Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia

*sumarna@uny.ac.id

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari karakteristik distorsi harmonik pada penguat transistor satu tahap dan mengidentifikasi bagian komponen penguat yang menjadi sumber terjadinya distorsi harmonik. Penguat yang digunakan menggunakan konfigurasi *common-emitter* dengan transistor 2N3904. Membandingkan hasil spektrum frekuensi isyarat masukan dan keluaran penguat menggunakan algoritma *fast fourier transform* dengan *Matlab*. Mengganti nilai resistansi komponen sebagai pembanding dengan hasil spektrum frekuensi awal untuk mengetahui sumber terjadinya distorsi harmonik. Frekuensi isyarat masukan yang digunakan yaitu 1100 – 1900 Hz. Nilai total distorsi harmonik yang didapatkan dari spektrum frekuensi dengan algoritma *fast fourier transform* menunjukkan komponen yang menjadi sumber terjadinya distorsi harmonik. Frekuensi masukan 1100 Hz memiliki nilai total distorsi harmonik pada isyarat masukan yaitu -63.2337 dB dan isyarat keluaran yaitu -21.7159 dB. Nilai total distorsi harmonik pada penggantian nilai resistansi 8 k Ω yaitu -21.1217 dB dan RC 12 k Ω yaitu -15.6703 dB, hal ini menunjukkan bahwa harmonik muncul pada keluaran setelah melalui penguat. Amplitudo harmonik yang berkurang seiring dengan meningkatnya nomor harmonik atau meningkatnya frekuensi harmonik yang muncul. Nilai total distorsi harmonik yang mengalami perubahan signifikan yaitu dengan mengganti nilai resistansi pada *collector*.

Kata Kunci: *Isyarat, Matlab, Fast forier transform, Total distorsi harmonik.*

Abstract. This research aims to study the characteristics of harmonic distortion in a single-stage transistor amplifier and identify parts of the amplifier components that are the source of harmonic distortion. The amplifier used uses configuration *common-emitter* with 2N3904 transistor. Comparing the frequency spectrum results of the input signal and amplifier output using an algorithm *fast fourier transform* with *Matlab*. Replace the component resistance value as a comparison with the initial frequency spectrum results to determine the source of harmonic distortion. The input signal frequency used is 1100 – 1900 Hz. Total value of harmonic distortion obtained from the frequency spectrum with an algorithm *fast fourier transform* shows the components that are the source of harmonic distortion. An input frequency of 1100 Hz has a total harmonic distortion value for the input signal, namely -63.2337 dB and the output signal, namely -21.7159 dB. The total value of harmonic distortion when replacing a resistance value of 8 k Ω is -21.1217 dB and RC 12 k Ω is -15.6703 dB, this shows that harmonics appear at the output after passing through the amplifier. The harmonic amplitude decreases as the harmonic number increases or the frequency with which the harmonics appear increases. The total value of harmonic distortion that experiences significant changes is by changing the resistance value on *collector*.

Keywords: *Signal, Matlab, Fast forier transform, Total harmonic distortion.*

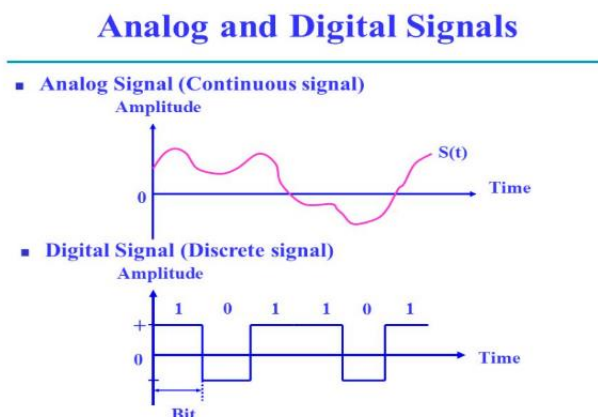
PENDAHULUAN

Penguat transistor satu tahap merupakan komponen penting dalam berbagai aplikasi elektronik, termasuk penguat audio, penguat daya, dan sistem komunikasi. Distorsi harmonik pada penguat transistor satu tahap dapat menghasilkan distorsi suara yang tidak diinginkan, memperburuk kualitas sinyal audio, atau mengganggu transmisi data pada sistem komunikasi. Sebuah penguat transistor satu tahap mengambil isyarat masukan dan menguatkan ke tingkat yang lebih tinggi pada keluarannya. Namun, selama proses penguatan dapat terjadi distorsi harmonik yang dapat mengubah bentuk gelombang asli dari isyarat.

Isyarat / Sinyal

Isyarat atau sinyal merujuk pada suatu perubahan yang membawa informasi. Informasi ini melibatkan perolehan, penyimpanan, transmisi dan transformasi sinyal. Isyarat dapat muncul dalam berbagai bentuk seperti gelombang suara, sinyal listrik, sinyal optik, atau urutan angka dalam sistem digital.

Perbedaan utama antara sinyal analog dan sinyal digital terletak pada cara representasi dan perubahan nilai-nilai sinyal tersebut. Sinyal analog memiliki rentang waktu nilai kontinu dan perubahan yang halus, sedangkan sinyal digital memiliki nilai-nilai yang terdiskritisasi dan perubahan yang tersegmentasi dalam bentuk angka diskrit. Sinyal analog dan digital memiliki kegunaan dan karakteristik yang berbeda dalam berbagai aplikasi. Sinyal analog umumnya digunakan dalam komunikasi audio dan video, sedangkan sinyal digital lebih umum dalam sistem komunikasi digital, pengolahan data dan komputasi.



Gambar 1. Contoh Sinyal Analog dan Digital (Manolakis & Ingle, 2011:6)

Distorsi Penguat

Salah satu teknik untuk mendeskripsikan bentuk gelombang terdistorsi tetapi periodik menggunakan analisis Fourier, sebuah metode yang menjelaskan setiap bentuk gelombang periodik dalam kaitannya dengan komponen frekuensi fundamental dan komponen frekuensi pada kelipatan bilangan bulat komponen ini disebut komponen harmonik atau harmonik. Misalnya, sinyal yang awalnya 1000 Hz dapat dihasilkan, setelah distorsi, dalam komponen frekuensi pada 1000 Hz (1 kHz) dan komponen harmonik pada 2 kHz ($2 * 1$ kHz), 3 kHz ($3 * 1$ kHz), 4 kHz ($4 * 1$ kHz), dan seterusnya. Frekuensi asli 1 kHz disebut frekuensi fundamental; orang-orang di kelipatan bilangan bulat adalah harmonik. Oleh karena itu, komponen 2-kHz disebut harmonik kedua, yang pada 3 kHz adalah harmonik ketiga, dan seterusnya. Frekuensi dasar tidak dianggap sebagai harmonik

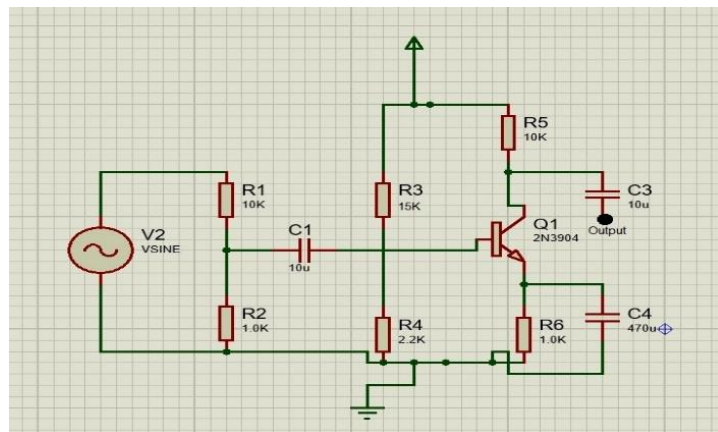
Nilai total distorsi harmonik adalah :

$$THD (dB) = 10 \log_{10} \left(\frac{(A_2)^2 + (A_3)^2 + (A_4)^2 + \dots + (A_n)^2}{(A_1)^2} \right)$$

Perlu diperhatikan bahwa dalam rumus ini, amplitudo dijadikan A^2 sebelum dijumlahkan, untuk memperoleh energi total harmonik. Selanjutnya hasil tersebut di-normalisasi dengan amplitudo gelombang utama $(A_1)^2$ (Boylestad & Nashelsky. 2013:706).

METODE

Penelitian ini dilakukan pada bulan Januari 2023 hingga April 2023 di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi, Departemen Pendidikan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta. Variabel bebas pada penelitian ini nilai resistansi hambatan dan frekuensi isyarat masukan. Variabel terikat pada penelitian ini yaitu total distorsi harmonik yang dihasilkan penguat transistor satu tahap dan variabel kontrol pada penelitian ini yaitu tegangan masukan, amplitudo isyarat masukan, waktu perekaman dan konfigurasi penguat *common-emitter*.



Gambar 2. Desain rangkaian penguat transistor satu tahap

Rangkaian penguat transistor satu tahap didesain menggunakan *software proteus 8*. Perekaman isyarat masukan dan keluaran menggunakan *software Audacity* kemudian dianalisis menggunakan *software Matlab R2017b*. Penelitian ini menggunakan Transistor NPN 2N3904, dengan konfigurasi penguat *common-emitter* (CE), dan dengan menggunakan frekuensi masukan yaitu 1100 Hz, 1200 Hz, 1300 Hz, 1400 Hz, 1600 Hz, 1700 Hz, 1800 Hz, 1900 Hz. Penggantian nilai resistansi pada RB1, RB2, RC, dan RE sebagai perbandingan.

Pada saat melakukan pengujian, isyarat masukan dari AFG dan isyarat keluaran dari penguat transistor dihubungkan ke *Audacity* untuk direkam. Perekaman data menggunakan *2 channel, 16 bit, 44.1 kHz* untuk menghindari terjadinya *aliasing* pada perekaman data. *Aliasing* menyebabkan frekuensi yang lebih tinggi dari setengah frekuensi sampling akan terlihat sebagai frekuensi yang lebih rendah setelah dilakukan proses rekonstruksi, menyebabkan distorsi dan kehilangan informasi yang signifikan pada sinyal.

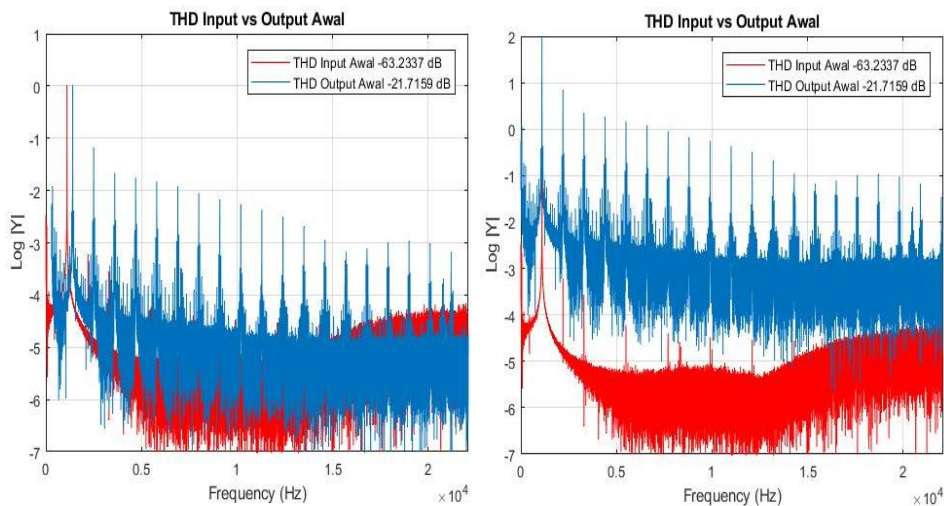
Hasil rekaman isyarat masukan dan keluaran ini diolah oleh *Matlab* menggunakan algoritma FFT untuk melihat hasil spektrum frekuensi dan nilai total distorsi harmonik (THD).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Distorsi harmonik ini dapat muncul dalam bentuk frekuensi harmonik yang merupakan kelipatan bilangan bulat dari frekuensi masukan. Hasil nilai total distorsi harmonik / THD

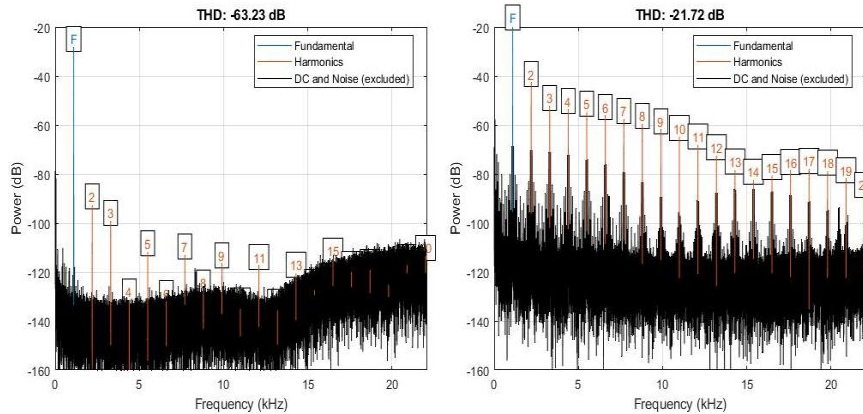
mengukur jumlah distorsi harmonik relatif terhadap amplitudo sinyal asli. Semakin tinggi nilai total distorsi harmonik / THD, semakin besar jumlah distorsi harmonik yang terdapat dalam sinyal. Pada Tabel 1 dalam lampiran menunjukkan bahwa terdapat perubahan nilai total distorsi harmonik / THD antara isyarat masukan dan isyarat keluaran. Hal ini membuktikan bahwa setelah isyarat masukan melewati penguat terjadi distorsi harmonik. Harmonik ditunjukkan dengan puncak-puncak dari kelipatan frekuensi masukan pada spektrum frekuensi hasil dari analisis menggunakan program *Fast Fourier Transform*.

Untuk menghindari terjadinya *aliasing* digunakan *sampling rate* 44.1 kHz, sesuai dengan Theorema Nyquist-Shanon tentang *Nyquist rate* atau dikenal sebagai frekuensi sampel Nyquist yaitu digunakan $\frac{1}{2}$ *sampling rate* atau frekuensi sampling sehingga *Nyquist rate* = $\frac{1}{2} \times 44100 \text{ Hz} = 22.05 \text{ kHz}$, dengan demikian isyarat masukan yang direkam harus memiliki frekuensi maksimum 22.05 kHz agar tidak mengalami *aliasing* saat direkam dengan *sampling rate* 44.1 kHz. Perlu diperhatikan dengan menggunakan format perekaman 2 channel, 16 bit, 44.1 kHz, maka jumlah data yang direkam selama 5 detik sebanyak 220.500 data. Ini dapat menyebabkan proses olah data menjadi lambat atau bahkan gagal. Hal ini tidak terjadi karena laptop yang digunakan mampu mengolah data sebanyak itu.



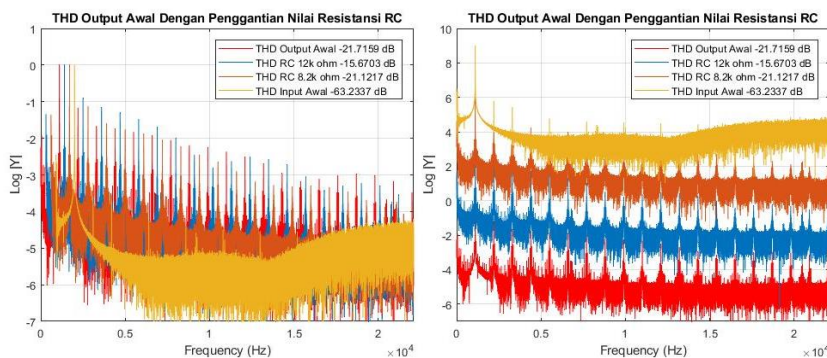
Gambar 3. Spektrum frekuensi isyarat masukan dan keluaran awal pada frekuensi masukan 1100 Hz

Gambar 3 dapat dilihat perbandingan spektrum frekuensi isyarat masukan dan keluaran awal pada frekuensi masukan 1100 Hz. Gambar 6 menunjukkan bahwa sinyal keluaran dari penguat memiliki kecenderungan untuk memunculkan distorsi harmonik. Hal ini ditunjukkan dengan distorsi harmonik yang muncul sebagai puncak-puncak dalam spektrum frekuensi sinyal.



Gambar 4. Total distorsi harmonik antara isyarat masukan dan keluaran pada frekuensi masukan 1100 Hz.

Gambar 4 menunjukkan perbedaan nilai THD pada isyarat masukan dan keluaran. Nilai THD pada masukan yaitu -62.2337 dB dan nilai THD pada keluaran awal yaitu -21.7159 dB. THD pada isyarat masukan muncul frekuensi harmonik ke 2, 3, 5, 7, 9, 11. Sedangkan pada THD isyarat keluaran muncul frekuensi harmonik kelipatan ke 2, 3, 4, 5, 6, 7 hingga 20. Harmonik yang dapat ditampilkan yaitu harmonik ke 20 yaitu $20 \times 1100 = 22000$ Hz, karena menggunakan *sampling rate* 44.1 kHz. Untuk amplitudo harmonik yang muncul memiliki kecenderungan menurun seiring dengan meningkatnya frekuensi harmonik.



Gambar 5. Spektrum frekuensi sinyal penggantian nilai resistansi RC pada frekuensi masukan 1100 Hz.

Pada gambar 5 menunjukkan perbedaan nilai THD pada isyarat masukan dan keluaran pada penggantian nilai resistansi RC. Nilai THD pada masukan yaitu -63.2337 dB, nilai THD pada keluaran awal yaitu -21.7159 dB, nilai THD pada keluaran dengan penggantian nilai resistansi RC 8 k Ω yaitu -21.1217 dB, dan nilai THD pada keluaran dengan penggantian nilai resistansi RC 12 k Ω yaitu -15.6703 dB. Hasil keluaran dari penggantian nilai resistansi RC menunjukkan perbedaan nilai yang signifikan pada penggantian RC 12 k Ω .

SIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa: (1) Karakteristik distorsi harmonik yang muncul pada penguat transistor satu tahap antara lain: harmonik yang muncul pada keluaran sinyal setelah melalui penguat, amplitudo harmonik yang berkurang seiring dengan meningkatnya nomor harmonik atau meningkatnya frekuensi harmonik, perbedaan nilai total distorsi harmonik / THD antara isyarat masukan dan keluaran mengalami peningkatan yang sangat signifikan. (2) Dalam penelitian ini yang menjadi sumber terjadinya distorsi harmonik

antara lain: Penggantian pada komponen resistansi yang dominan perubahan nilai THD pada bagian *collector*. Pengaruh perubahan nilai resistansi pada penguat terhadap distorsi harmonik yang terjadi yaitu dengan mengganti nilai resistansi pada RC menunjukkan perubahan nilai total distorsi harmonik / THD yang signifikan dibandingkan dengan mengganti nilai resistansi pada RB1, RB2, dan RE. Fenomena Gibbs seperti terjadi dalam proses perekaman atau pemotongan sinyal. Jika suatu sinyal tajam dipotong atau direkam dengan rentang frekuensi terbatas, fenomena Gibbs dapat menyebabkan gelombang bergetar di sekitar tepi pemotongan tersebut. Hal ini dapat menciptakan distorsi harmonik dan membentuk gelombang yang terdistorsi. (3) Metode analisis untuk menentukan dan mengidentifikasi distorsi harmonik pada isyarat keluaran transistor yaitu *Fast Fourier Transform* (FFT) untuk menentukan spektrum frekuensi isyarat dan menentukan *Total Harmonic Distortion* (THD) untuk mengkuantisasi nilai-nilai dari harmonik yang muncul.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan berupa saran, dukungan, dan semangat dalam pelaksanaan pengambilan data pada penelitian dan penulisan ini. Terima kasih kepada : Sumarna, M.Si., M.Eng. selaku dosen pembimbing skripsi, Dr. Restu Widiatmono, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing akademik. Serta berbagai pihak lain yang tidak bisa saya sebutkan satu-persatu.

DAFTAR PUSTAKA

- Boylestad, R. L., & Nashelsky, L. (2018). *Electronic Devices and Circuit Theory* 11th ed. Pearson Education, Inc.
- Brigham, E. O. (1988). *The fast Fourier transform and its applications*. Prentice-Hall, Inc.
- Ingle, V. K., & Proakis, J. G. (2012). *Digital signal processing using matlab 3rd ed*. Cengage Learning.
- Kusuma, D. T. (2020). *Fast Fourier Transform (FFT) Dalam Transformasi Sinyal Frekuensi Suara Sebagai Upaya Perolehan Average Energy (AE) Musik*.
- Lathi, B. P., & Green, R. A. (2014). *Essentials of digital signal processing*. Cambridge University Press.
- Manolakis, D. G., & Ingle, V. K. (2011). *Applied digital signal processing: theory and practice*. Cambridge university press.
- Pradipta, N., Hidayatno, A., & Andromeda, T. (2011). *Implementasi Algoritma FFT (Fast Fourier Transform) Pada Digital Signal processor (DSP) TMS320C542* (Doctoral dissertation, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Undip).
- Van Loan, C. (1992). *Computational frameworks for the fast Fourier transform*. Society for Industrial and Applied Mathematics.

Appendix

Tabel 1. Nilai *Total Harmonic Distortion* (THD) pada frekuensi 1100Hz – 1900Hz.

No	Kondisi Penguat	THD (dB)							
		1100 Hz	1200 Hz	1300 Hz	1400 Hz	1600 Hz	1700 Hz	1800 Hz	1900 Hz
1	Masukan	-63.234	-63.379	-63.603	-63.663	-63.76	-63.899	-63.911	-64.131
2	Keluaran	-21.716	-22.322	-22.928	-20.832	-15.953	-21.914	-21.527	-22.21
3	RB1 20 k Ω	-25.822	-25.73	-25.8321	-25.8324	-25.8389	-25.8427	-25.7729	-25.8499
4	RB1 22 k Ω	-25.749	-25.3889	-25.4664	-25.5154	-25.523	-25.5425	-25.2901	-25.532
5	RB1 27 k Ω	-25.47	-24.8806	-24.904	-24.904	-24.9082	-24.9084	-24.9261	-24.929
6	RB2 1.5 k Ω	-26.473	-26.3971	-26.077	-26.077	-26.3261	-26.448	-26.0865	-26.4206
7	RB2 2 k Ω	-24.885	-21.1662	-19.7891	-19.7891	-24.6705	-23.677	-22.5542	-22.8463
8	RC 8.2 k Ω	-21.122	-20.318	-19.1222	-19.1222	-23.5531	-17.0773	-20.3511	-18.8778
9	RC 12 k Ω	-15.67	-15.4143	-15.3435	-15.3435	-15.2288	-16.242	-14.511	-17.1665
10	RE 1.2 k Ω	-26.315	-26.0829	-25.9659	-25.9659	-26.0872	-26.0824	-25.8536	-26.1039
11	RE 1.5 k Ω	-25.796	-25.8238	-25.75	-25.75	-25.7641	-25.7719	-25.5381	-25.7978