

RANCANG BANGUN *VOLTAGE MULTIPLIER* PADA PERANGKAT RF ENERGI *HARVESTING* UNTUK MENINGKATKAN TEGANGAN LUARAN

1st Raynaldi Wisnu Wibowo
Telecommunication Engineering
Telkom University Surabaya, Surabaya
Indonesia
raynaldiwisnu@telkomuniversity.ac.id

2nd Fannush Shofi Akbar
Telecommunication Engineering
Telkom University Surabaya,
Surabaya, Indonesia
fannushakbar@telkomuniversity.ac.id

3rd Mohammad Yanuar Hariyawan
Telecommunication Engineering
Telkom University Surabaya
Surabaya, Indonesia
myanuar@telkomuniversity.ac.id

ABSTRAK—Perkembangan teknologi energi terbarukan semakin berkembang pesat, termasuk dalam hal energi *harvesting* menggunakan gelombang radio frekuensi (RF). Salah satu tantangan utama dalam pemanfaatan energi RF adalah memastikan tegangan keluaran yang memadai untuk digunakan dalam aplikasi tertentu. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sebuah *voltage multiplier* pada perangkat RF energi *harvesting* guna meningkatkan tegangan keluaran. *Voltage multiplier* merupakan salah satu metode yang efektif untuk meningkatkan tegangan dari sumber energi yang rendah.

Pada penelitian ini, telah di rancang dan diuji *voltage multiplier* dengan spesifikasi komponen menggunakan dioda SR10200 dan kapasitor. sedangkan spesifikasi frekuensi 100uF frekuensi 25 MHz, 50 MHz, 80 MHz dan arus 100mV,500 mV,1V,2V. Implementasi dilakukan menggunakan *function Generator* dengan hasil pengujian alat menunjukkan kualitas yang baik pada frekuensi 100MHz input 100mV sedangkan untuk input yang lain hasilnya tidak menunjukkan kualitas yang baik.

Kata Kunci: *Voltage Multiplier*, Perangkat RF, *Energy Harvesting*, Tegangan Keluaran.

Teknologi ini mendukung perangkat berdaya rendah seperti sensor nirkabel dan *Internet of Things* (IoT) tanpa memerlukan sumber daya konvensional.

A. *Energy Harvesting*

Energy harvesting adalah proses dimana energy berasal dari sumber eksternal seperti surya atau matahari, panas, gelombang radio frekuensi (RF), dan gelombang elektromagnetik lain yang memancarkan sinyal. Salah satu perangkat yang dapat digunakan untuk memanen gelombang elektromagnetik ini adalah rectifier yang diintegrasikan dengan antena. RF (Radio Frequency) *energy harvesting* merupakan proses dimana energi frekuensi radio yang dipancarkan oleh sumber yang menghasilkan medan elektromagnetik tinggi seperti sinyal TV, jaringan radio nirkabel dan menara ponsel, tetapi melalui pembangkit Listrik sirkuit terkait dengan antenna penerima, ditangkap dan dikonversikan menjadi tegangan DC yang dapat digunakan untuk perangkat elektronik berdaya rendah.



GAMBAR 1
(SISTEM RF ENERGY HARVESTING)

I. PENDAHULUAN

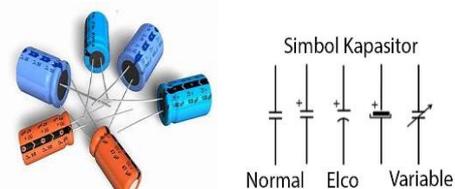
Penelitian ini berfokus pada perancangan dan evaluasi *voltage multiplier* dalam RF *Energy Harvesting* untuk meningkatkan efisiensi konversi energi RF menjadi listrik. *Voltage multiplier* berperan dalam meningkatkan tegangan keluaran agar dapat dimanfaatkan oleh perangkat berdaya rendah seperti sensor nirkabel dan IoT. Studi ini mencakup perancangan desain yang efisien, pengujian kinerja dalam berbagai kondisi, serta analisis faktor yang mempengaruhi efisiensi. Batasan penelitian hanya mencakup *voltage multiplier* tanpa merancang keseluruhan sistem RF *Energy Harvesting*. Hasil penelitian diharapkan dapat mengoptimalkan *voltage multiplier* dalam meningkatkan tegangan dan efisiensi energi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

RF *Energy Harvesting* adalah teknologi yang memanfaatkan gelombang radio frekuensi (RF) dari berbagai sumber seperti pemancar radio, televisi, Wi-Fi, dan komunikasi seluler untuk dikonversi menjadi energi listrik.

B. Kapasitor

Kapasitor adalah komponen elektronika yang mempunyai kemampuan menyimpan elektron-elektron selama waktu yang tidak tertentu. Kapasitor berbeda dengan accumulator dalam menyimpan muatan listrik, terutama tidak terjadi perubahan kimia pada bahan kapasitor. Besarnya kapasitansi dari sebuah kapasitor dinyatakan dalam satuan Farad.



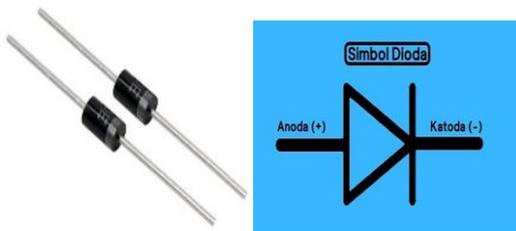
GAMBAR 2
(SIMBOL DAN GAMBAR KAPASITOR)

1. Kapasitor normal, atau disebut juga kapasitor tetap, memiliki nilai kapasitansi yang tetap dan tidak dapat diubah. Dan fungsi utama dari kapasitor normal yaitu :

- Menyimpan energi Listrik : Kapasitor dapat menyimpan dan melepaskan energi Listrik dengan cepat
- Menyaring frekuensi : Dalam rangkaian elektronik, kapasitor digunakan untuk menyaring sinyal frekuensi tinggi dari sinyal frekuensi rendah
- Penstabil tegangan : Dalam catu daya, kapasitor dapat membantu menstabilkan tegangan

C. Dioda

Dioda merupakan suatu semikonduktor yang hanya dapat menghantar arus listrik dan tegangan pada satu arah. Kata dioda berasal dari pendekatan kata yaitu dua elektroda yang mana mempunyai dua buah elektroda yaitu anoda dan katoda. Dioda adalah piranti elektronik yang hanya dapat melewatkan arus atau tegangan dalam satu arah saja. Dioda dapat dimanfaatkan sebagai penyearah arus listrik, yaitu piranti elektronik yang mengubah arus atau tegangan bolak-balik (AC) menjadi arus atau tegangan searah (DC) (Ma'rufi, 2019).



GAMBAR 3
(DIODA)

D. Dioda Schottky

Dioda Schottky, juga dikenal sebagai dioda penghalang Schottky, adalah jenis dioda semikonduktor yang memiliki tegangan maju rendah dan kecepatan switching yang sangat tinggi. Dioda ini dinamai dari fisikawan Jerman Walter H. Schottky. Dioda Schottky berbeda dari dioda PN tradisional karena mereka menggunakan logam-semikonduktor (Schottky barrier) bukannya persimpangan PN. Prinsip Kerja :

- Dioda Schottky terdiri dari kontak logam-semikonduktor. Ketika tegangan positif diterapkan pada anoda relatif terhadap katoda, elektron dari semikonduktor mengalir ke logam, menyebabkan arus mengalir melalui dioda. Tegangan maju yang rendah disebabkan oleh jenis junction yang digunakan (logam-semikonduktor) dibandingkan dengan junction PN pada dioda biasa.

E. Aplikasi *Electronic Workbench*

Electronic Workbench (EWB) adalah perangkat lunak simulasi rangkaian elektronik yang digunakan untuk merancang, menganalisis, dan menguji rangkaian listrik serta elektronik secara virtual. Aplikasi ini banyak digunakan dalam bidang pendidikan, penelitian, serta oleh teknisi dan

insinyur untuk mengembangkan dan menguji sirkuit sebelum diterapkan pada perangkat keras nyata.



GAMBAR 4
(APLIKASI *ELECTRONIC WORKBENCH*)

F. Resistor 660 ohm

Resistor 660 ohm adalah komponen elektronik pasif yang berfungsi sebagai hambatan listrik dalam suatu rangkaian. Nilai hambatan sebesar 660Ω berarti resistor ini akan membatasi arus yang mengalir sesuai dengan hukum Ohm. Resistor ini tersedia dalam berbagai jenis, seperti resistor karbon film, metal film, dan SMD (*Surface Mount Device*), dengan daya yang bervariasi mulai dari $1/4W$, $1/2W$, $1W$, hingga $2W$, tergantung pada kebutuhan aplikasi elektroniknya.



GAMBAR 5
(RESISTOR)

G. LED

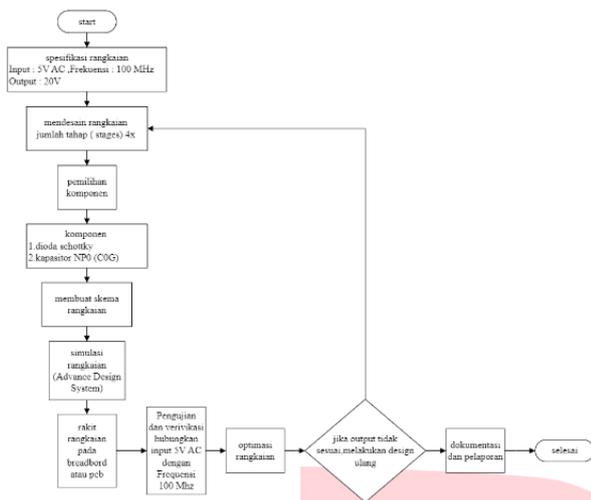
LED (*Light Emitting Diode*) adalah komponen semikonduktor yang dapat memancarkan cahaya ketika dialiri arus listrik. Prinsip kerja LED berdasarkan fenomena elektroluminasi, di mana elektron yang berpindah dari pita konduksi ke pita valensi dalam material semikonduktor akan melepaskan energi dalam bentuk cahaya. LED memiliki berbagai warna yang ditentukan oleh material semikonduktornya, dengan tegangan maju yang berbeda-beda, seperti $1.8V - 2.2V$ untuk LED merah dan $3.0V - 3.5V$ untuk LED biru atau putih.



Gambar 6
(LED)

III. METODE

Tahapan ini yaitu diagram alur penelitian yang disusun merupakan Langkah tahapan yang umum dalam



GAMBAR 7 (FLOWCHART Pengerjaan)

A. Implementasi Sistem

1. Pemilihan Komponen :

1. Pilih dioda dan kapasitor yang sesuai dengan spesifikasi yang akan rangkai
2. Pastikan selalu memperhatikan tegangan dan arus maksimum yang dapat di tangani oleh dioda dan kapasitor.

2. Rangkaian dan Perakitan

1. Menyusun komponen diode dan kapasitor sesuai dengan skema yang telah di rancang pada dan telah berhasil disimulasikan dengan *Elektronic Workbench*.
 2. Memastikan selalu mengasih jarak antar komponen untuk mencegah interferensi
3. Perakitan Fisik :
1. Mensolder atau menghubungkan komponen secara baik dengan skema rangkaian
 2. Pastikan koneksi aman dan kuat supaya tidak ada masalah putus koneksi dan masalah kontak

B. Pengujian dan Pengukuran Sistem

1. Hubungkan sumber daya AC sesuai dengan skema yang diinginkan seperti tegangan dan frekuensi
2. Hubungkan generator sinyal RF ke Input rangkaian dan atur frekuensi ke 25MHz
2. Gunakan alat pengukur (AVO meter) untuk memeriksa tegangan luaran dari system *voltage multiplier*
3. Memastikan tegangan luaran sesuai yang kita harapkan dan jangan sampai melebihi batas yang sudah ditetapkan

C. Evaluasi dan Pemeliharaan

1. Mengevaluasi kinerja system *voltage multiplier* berbagai kondisi operasi dan beban
2. Selalu memperhatikan efisiensi konversi, kestabilan tegangan output dan karakteristik lainnya
3. Melakukan pemeliharaan rutin seperti komponen dan solderannya

IV. HASIL PENGOLAHAN DATA

TABEL 1 (SUMBER TEGANGAN 100 MV)

Sumber Tegangan	Stage 1		Stage 2		Stage 3		Stage 4	
	V _{o1} (mV)	I _{o1} (uA)	V _{o2} (mV)	I _{o2} (uA)	V _{o3} (mV)	I _{o3} (uA)	V _{o4} (mV)	I _{o4} (uA)
100 mV	40	2	107	1	169	1	277	1
500 mV	14	1	38	2	69	1	105	0
1 V	17	1	47	0	82	2	119	1
2 V	19	1	48	2	87	2	126	1

A. Tegangan Keluaran

V_o meningkat secara signifikan di setiap tahap:

- Stage 1: 40 mV
- Stage 2: 107 mV
- Stage 3: 169 mV
- Stage 4: 277 mV
- Kenaikan tegangan menunjukkan penguatan yang tinggi di setiap tahap.
- Stage Penguatan terbesar terjadi antara Stage 3 dan Stage 4 (peningkatan sebesar 108 mV).

B. Arus Keluaran

- I_o cenderung menurun:
 - Stage 1: 2 uA
 - Stage 2: 1 uA
 - Stage 3: 1 uA
 - Stage 4: 1 uA
- Penurunan arus menunjukkan bahwa penguatan tegangan tidak menyebabkan peningkatan konsumsi arus secara signifikan.

TABEL 2

(DATA TABEL DAYA DENGAN FREKUENSI 25 MHZ)

Tegangan	Stage 1 (uW)	Stage 2 (uW)	Stage 3 (uW)	Stage 4 (uW)
0.1 V	4	10.7	16.9	27.7
0.5 V	7	19	34.5	52.5
1V	17	47	82	119
2V	38	96	174	252

Perhitungan Daya (watt) tegangan 100 mV

- Stage 1 : P₁ = 0.1 V x 40 x 10⁻⁶ A = 4 x 10⁻⁶ W = 4uW
- Stage 2 : P₂ = 0.1 V x 107 x 10⁻⁶ A = 107 x 10⁻⁶ W = 10.7uW
- Stage 3 : P₃ = 0.1 V x 169 x 10⁻⁶ A = 169 x 10⁻⁶ W = 16.9uW
- Stage 4 : P₄ = 0.1 V x 277 x 10⁻⁶ A = 27.7 x 10⁻⁶ W = 27.7uW

Perhitungan Efisiensi

- 100 mV
 - Stage 1 : $\eta V = \frac{40}{100} \times 100 = 40\%$
 - Stage 2 : $\eta V = \frac{107}{100} \times 100 = 107\%$
 - Stage 3 : $\eta V = \frac{169}{100} \times 100 = 169\%$
 - Stage 4 : $\eta V = \frac{277}{100} \times 100 = 277\%$

Validasi kinerja

rangkaian voltage multiplier dapat dianalisis berdasarkan tegangan keluaran (V_o) dan arus keluaran (I_o) pada setiap tahap (Stage 1 hingga Stage 4) untuk berbagai tegangan input.

Pada 100 mV input, tegangan keluaran menunjukkan peningkatan yang cukup baik dengan $V_{o1} = 40$ mV, $V_{o2} = 107$ mV, $V_{o3} = 169$ mV, dan $V_{o4} = 277$ mV. Arus keluaran relatif kecil tetapi stabil di 1-2 μ A. Hal ini menunjukkan bahwa rangkaian masih dapat beroperasi pada tegangan input rendah, meskipun dengan efisiensi terbatas.

Ketika tegangan input meningkat menjadi 500 mV, tegangan keluaran justru menunjukkan nilai yang lebih kecil dibandingkan input 100 mV, dengan V_{o4} hanya mencapai 105 mV. Arus keluaran juga tetap rendah, yang mengindikasikan bahwa ada kerugian daya atau pelepasan muatan kapasitor yang tidak optimal, menyebabkan tegangan yang dihasilkan lebih kecil dari ekspektasi.

V. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Analisis

Pada tegangan input 100 mV, sistem menunjukkan performa yang sangat baik dengan efisiensi yang terus meningkat di setiap tahap. Pada tahap pertama, efisiensi tercatat sebesar 40%, menunjukkan bahwa masih ada rugi-rugi daya yang cukup besar atau tegangan belum mengalami penguatan yang signifikan. Namun, pada tahap kedua, efisiensi meningkat drastis menjadi 107%, yang berarti tegangan output sudah lebih besar daripada tegangan input. Peningkatan ini terus berlanjut hingga 169% pada tahap ketiga dan mencapai 277% pada tahap keempat, menunjukkan adanya mekanisme penguatan tegangan yang sangat efektif. Efisiensi yang melebihi 100% ini mengindikasikan bahwa sistem menggunakan komponen aktif seperti *op-amp* atau transistor, yang mampu meningkatkan tegangan dengan signifikan. Dari hasil ini, dapat disimpulkan bahwa sistem bekerja optimal pada tegangan rendah dan didesain untuk menghasilkan penguatan tegangan yang besar dalam kondisi tersebut..

B. Pembahasan

Voltage multiplier merupakan rangkaian elektronik yang digunakan untuk meningkatkan tegangan melalui proses penggandaan bertahap menggunakan kombinasi dioda dan kapasitor. Efisiensi dari *voltage multiplier* sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, baik dari segi desain, karakteristik komponen, maupun kondisi operasional. Faktor utama yang mempengaruhi efisiensi adalah tegangan maju (forward voltage drop) pada dioda, di mana setiap dioda dalam rangkaian akan mengalami penurunan tegangan saat

menghantarkan arus. Jika dioda yang digunakan memiliki tegangan maju tinggi, maka sebagian besar energi akan terbuang sebagai panas, sehingga mengurangi efisiensi konversi tegangan. Penggunaan dioda dengan tegangan maju rendah, seperti dioda Schottky, dapat mengurangi rugi-rugi daya dan meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem memiliki efisiensi yang sangat tinggi ketika beroperasi pada tegangan rendah, terutama pada 100 mV, dengan peningkatan efisiensi yang signifikan pada setiap tahap. Efisiensi yang melebihi 100% pada tahap kedua hingga keempat menunjukkan adanya penguatan tegangan yang sangat efektif, yang mungkin dihasilkan oleh penggunaan komponen aktif seperti *op-amp* atau transistor. Sistem ini bekerja dengan sangat baik dalam kondisi tegangan rendah, sehingga kemungkinan besar dirancang khusus untuk aplikasi yang membutuhkan penguatan tegangan dari sumber tegangan kecil.

B. Saran

Untuk meningkatkan performa sistem, ada beberapa saran yang dapat diberikan. Pertama, diperlukan optimasi desain rangkaian agar dapat bekerja lebih efisien pada tegangan yang lebih tinggi. Salah satu cara untuk mencapainya adalah dengan menggunakan komponen dengan impedansi rendah untuk mengurangi rugi-rugi daya atau mempertimbangkan pemilihan transistor dan *op-amp* dengan karakteristik yang lebih baik pada tegangan tinggi.

Kedua, jika sistem memang dirancang khusus untuk tegangan rendah, maka sebaiknya difokuskan penggunaannya dalam aplikasi yang sesuai, seperti penguat sinyal untuk sensor atau rangkaian dengan daya kecil. Pengujian tambahan juga diperlukan untuk memastikan bahwa efisiensi tinggi yang diperoleh pada 100 mV bukan karena kesalahan pengukuran, melainkan benar-benar hasil dari penguatan tegangan yang diharapkan.

Ketiga, jika sistem ingin digunakan untuk tegangan yang lebih tinggi, maka diperlukan modifikasi rangkaian atau penggunaan regulator tegangan tambahan agar efisiensi dapat tetap dipertahankan pada berbagai kondisi input. Salah satu solusi yang dapat dilakukan adalah menggunakan konverter daya yang lebih efisien atau menyesuaikan nilai komponen aktif untuk mengurangi rugi-rugi daya yang terjadi.

Terakhir, stabilitas sistem terhadap perubahan tegangan input juga perlu diperhatikan. Jika sistem tidak stabil pada tegangan tinggi, maka perlu dilakukan perbaikan pada desain atau pemilihan komponen agar performa sistem tetap konsisten. Dengan perbaikan ini, diharapkan sistem dapat berfungsi lebih optimal dalam berbagai kondisi, baik pada tegangan rendah maupun tinggi.

REFERENSI

- [1] Cansiza, M. (2019). *Efficiency in RF Energy Harvesting Systems*.
- [2] Ma'ruf1, L. (2019). *PERANCANGAN PELIPAT TEGANGAN UNTUK SISTEM CATU DAYA PADA ELEKTROLISIS*.

- [3] mughni, m. m. (2020). *rancang bangun voltage multiplier DC dengan metode cockroft walton tipe fullwave*. jember: moh. mu'izzul mughni.
- [4] Nasution, M. (2021). *Karakteristik Baterai Sebagai Penyimpan*.
- [5] S Pourjafar, H. S. (2021). *A non-isolated high step-up DC–DC converter using magnetic coupling and voltage multiplier circuit*.
- [6] W Ali, H. S. (2022). *Wireless energy harvesting using rectenna integrated with voltage multiplier circuit at 2.4 GHz operating frequency*.
- [7] Wanda Afnison* Erzeddin Alwi, H. M. (2020). *Pengembangan Electromagnetic Regeneratif Shock Absorber Sebagai Alat Pemanen Energy Getaran Pada Kendaraan*.
- [8] Yudo, T. G. (2019). *UNJUK KERJA RANGKAIAN PENGGANDA TEGANGAN UNTUK PELAYANAN LAMPU TL (TUBE LUMINATION)*.
- [9] Kalla, S., Tyagi, V., & Rana, V. (2022). A novel DC-DC switched capacitor based *voltage multiplier*. *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, 112(1), 19-28.
- [10] Rajora, R., Sharma, K., Gupta, L., & Sachdeva, A. (2023, April). CNTFET-based design of low power charge pump technique-based *voltage multiplier*. In *2023 IEEE Devices for Integrated Circuit (DevIC)* (pp. 442-445).
- [11] Mollajafari, M., Mohammadiazar, F., Akbari, E., Sheykhi, E., & Chaoui, H. (2022). A New Voltage-Multiplier-Based Power Converter Configuration Suitable for Renewable Energy Sources and Sustainability Applications. *Sustainability*, 14(24), 16698.
- [12] Diaz-Sanchez, A., Mateus-Ardila, J. C., Zamora-Mejia, G., Diaz-Armendariz, A., Rocha-Perez, J. M., & Moreno-Coria, L. A. (2021). A four quadrant high-speed CMOS analog multiplier based on the flipped voltage follower cell. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 130, 153582.
- [13] Andres, B., Romitti, L., Dupont, F. H., Roggia, L., & Schuch, L. (2023). A high step-up isolated DC–DC converter based on *voltage multiplier* cell. *International Journal of Circuit Theory and Applications*, 51(2), 557-578.
- [14] Mousavi-Aghdam, S. R., Dastgiri, A., & Hoseinpour, M. (2024). An improved voltage gain bidirectional DC/DC converter based on *voltage multiplier* cell for electric vehicle application. *International Journal of Modelling and Simulation*, 1-22.
- [15] Babanezhad, A., & Beiranvand, R. (2022, February). A Multiphase High Step-Up Interleaved Boost Converter with *Voltage Multiplier* and Active Clamp Circuits. In *2022 13th Power Electronics, Drive Systems, and Technologies Conference (PEDSTC)* (pp. 218-223).
- [16] Yang, X., Qi, Y., Liu, J., Jia, Z., & Wang, D. (2021). Bidirectional converter integrating voltage equalizer based on symmetrical *voltage multiplier* by sharing a magnetic component for series-connected cells. *Transactions on Transportation Electrification*, 7(3), 1074-1087.
- [17] BAKO, A., GARBA, I. I., AMBURSA, S. M., & LAWAL, F. (2024). High Step-Up SEPIC Converter with Double *Voltage Multiplier* Module for a Photovoltaic System.
- [18] Eskandari, A., Takarli, R., & Vahedi, A. A Novel High-Voltage Power Supply Using Lccl Resonant Dc-Dc Converter. *Available at SSRN 5082755*.
- [19] Appikonda, M., & Kaliaperumal, D. (2024). Dynamic performance analysis of DC–DC boost converter with one-and two-*voltage multiplier* cells for high voltage gain and voltage regulation. *Electrical Engineering*, 107(1), 65-77.
- [20] Li, J., Tang, Z., & Mahmoud, H. A. (2024). An efficient ternary multiplier for enhanced on-chip AI wearable systems using graphene nanoribbon field-effect transistors. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 155658.