

---

# DESAIN RAILGUN

*Nabila Fathiatul Afia<sup>1</sup>, Sugiarto<sup>2</sup>, Trie Handayani<sup>3</sup>*

<sup>1,2</sup>Institut Teknologi Nasional Yogyakarta, Jalan Babarsari, Caturtunggal, Depok Sleman, Yogyakarta, telp +62 274 485390 – 486986

<sup>3</sup>Jurusan Elektro S1, Fakultas Teknik dan Perencanaan, ITNY, Yogyakarta  
e-mail: [3100210033@students.itny.ac.id](mailto:3100210033@students.itny.ac.id), [sugiarto.kadiman@itny.ac.id](mailto:sugiarto.kadiman@itny.ac.id),  
[trie.handayani@itny.ac.id](mailto:trie.handayani@itny.ac.id)

## **Abstrak**

Sistem senjata elektromagnetik seperti *railgun* menjadi perhatian utama dalam teknologi pertahanan modern karena mampu melemparkan peluru dengan kecepatan sangat tinggi tanpa memakai bahan peledak kimia. Namun, membuat dan menguji *railgun* secara fisik memakan biaya besar serta membahayakan keamanan. Karena itu, diperlukan cara berbasis simulasi agar lebih efisien dalam memahami cara kerja dan dinamika sistem tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk membuat dan mensimulasikan model kerja *railgun* menggunakan MATLAB, berdasarkan hukum *Lorentz* dan prinsip elektromagnetisme, untuk menganalisis kinerja listrik dan mekanika lemparan peluru. Model yang dikembangkan mempertimbangkan berbagai parameter listrik seperti arus, tegangan, resistansi, serta dinamika gerak proyektil untuk mengevaluasi kinerja sistem tersebut. Simulasi dilakukan dengan variasi arus dari 250 A sampai 1000 A, yang menghasilkan peningkatan signifikan dalam percepatan proyektil (dari 4800 m/s<sup>2</sup> hingga 50000 m/s<sup>2</sup>), gaya *Lorentz* (dari 38,4 N hingga 389,1 N), dan jarak tempuh proyektil (dari 120,9 meter hingga 509,4 meter). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa arus memainkan peran penting dalam menentukan efisiensi serta performa peluncuran proyektil.

**Kata kunci:** *Railgun, Elektromagnetik, MATLAB, Gaya Lorentz, Simulasi*

## **Abstract**

*Electromagnetic weapon systems like railguns have become a major focus in modern defense technology because they can launch projectiles at very high speeds without using chemical explosives. However, building and testing railguns physically is expensive and can be dangerous. Therefore, simulation-based methods are needed to make the process more efficient for understanding how these systems work and their dynamic behavior. This research aims to create and simulate a railgun model using MATLAB, based on Lorentz's law and electromagnetic principles, to analyze the system's electrical performance and projectile motion. The developed model considers various electrical parameters such as current, voltage, resistance, and the dynamic movement of the projectile to evaluate the system's performance. The simulation was conducted with current variations ranging from 250 A to 1000 A, resulting in significant improvements in projectile acceleration (from 4800 m/s<sup>2</sup> to 50000 m/s<sup>2</sup>), Lorentz force (from 38.4 N to 389.1 N), and projectile travel distance (from 120.9 meters to 509.4 meters). The findings show that current plays a key role in determining the efficiency and performance of projectile launch.*

**Keywords—***Railgun, Elektromagnetic, MATLAB, Lorentz Force, Simulation*

---

---

## 1. PENDAHULUAN

*Railgun* pada intinya menerapkan medan elektromagnetik sebagai pendorong peluncur menggunakan arus tinggi dalam penelitian ini menggantikan bahan peledak atau mesiu pada senjata api umumnya. Dalam hal ini *RAILGUN* masih pada tahap penelitian belum dilaksanakan dengan menentukan parameter-parameter apa yang diperlukan untuk dapat melontarkan atau meluncurkan proyektil dari dua rel dengan kecepatan tinggi serta presisi terutama untuk *Handgun*. *RAILGUN* ini menerapkan medan elektromagnetik yaitu Gaya *Lorentz* yang dimana gaya yang dihasilkan akan mendorong atau menarik benda mendekati atau menjauhi medan magnet tergantung pada arah muatan mendekat dan medan magnet. Dalam prinsip kerjanya, *railgun* mengandalkan interaksi antara medan magnet dan arus listrik tinggi untuk menghasilkan gaya *Lorentz* yang mendorong proyektil di antara dua rel konduktor sejajar (*rail*). Gaya *Lorentz* yang dihasilkan sangat besar karena proporsional dengan hasil perkalian arus dan medan magnet, serta panjang lengan torsi antar rel. Proses proyektil meluncur dalam sistem *railgun* mengandalkan prinsip elektromagnetik. Dua rel logam yang sejajar dialiri arus listrik besar dari sumber AC yang dikonversi ke arus DC. Proyektil yang bisa menghantarkan arus ditempatkan di antara kedua rel. Arus mengalir dari satu rel, melalui proyektil, lalu ke rel lainnya. Interaksi antara medan magnet dan arus ini menghasilkan gaya *Lorentz* yang sangat kuat, mendorong proyektil ke depan dengan kecepatan sangat tinggi. Berbeda dengan senjata biasa yang menggunakan bahan peledak kimia, *railgun* memanfaatkan gaya elektromagnetik murni. Hal ini memungkinkan proyektil mencapai kecepatan moncong yang jauh lebih tinggi serta memiliki daya kinetik yang sangat kuat (Cheng,1989).

Teknologi ini telah digunakan pada dunia militer namun masih tahap uji coba. Pada dasarnya *railgun* memanfaatkan arus tinggi dan medan elektromagnetik untuk menciptakan gaya tolak yang mendorong proyektil diantara 2 rel. Dalam pengujian di laboratorium, proyektil dapat mencapai kecepatan *supersonic* tergantung dari besar arus dan medan magnetik yang dihasilkan (Fair,2009). Seiring kemajuan teknologi yang meningkat *RAILGUN* menggunakan skala besar seperti pada kapal induk amerika bagaimana mendesain secara handgun yang dimana tantangannya berada pada komponen dan bagaimana mendesain *RAILGUN* yang dapat dibawa kemana mana. Karena kebanyakan pengujian *RAILGUN* skala besar serta hal tersebut memerlukan biaya yang tidak sedikit yang dimana itu merupakan hambatan(Bruzzese,2024).

Pemanfaatan perangkat lunak untuk simulasi dan menguji secara teoritis maupun numerik dapat menghemat biaya maupun meminimalisir kerusakan yang terjadi karena *RAILGUN* sendiri menggunakan arus tinggi untuk bisa meluncurkan proyektil dari rel. Dengan menggunakan Matlab®, proses analisis Arus, Tegangan, dan medan magnet dapat dilakukan secara efisien dan memungkinkan visualisasi hasil secara mendekati realistik(Kwon,2008).

Penelitian Tugas Akhir ini bertujuan untuk mendesain dan menguji coba menggunakan simulasi dengan basis berupa aplikasi Matlab®. Penelitian ini tidak hanya memberikan gambaran hasil uji coba simulasi *RAILGUN*, tetapi juga mengetahui bahwa gaya *Lorentz* dihasilkan oleh arus yang tinggi untuk bisa meluncurkan proyektil dari rel. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan dan implementasi untuk bisa merancang atau mengaplikasikan pada fisik yang lebih efisien di masa depan.

---

---

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Bahan atau Materi

Dalam penelitian “Desain *RAILGUN*” bahan atau materi yang digunakan yaitu:

1. Data Parameter terkait Railgun .
2. Desain simulasi
3. Dokumen Referensi.

### 2.2 Alat

Dalam penelitian “Desain Analisis Aliran Daya Fast Decoupled dengan Aplikasi Matlab®” alat yang digunakan yaitu:

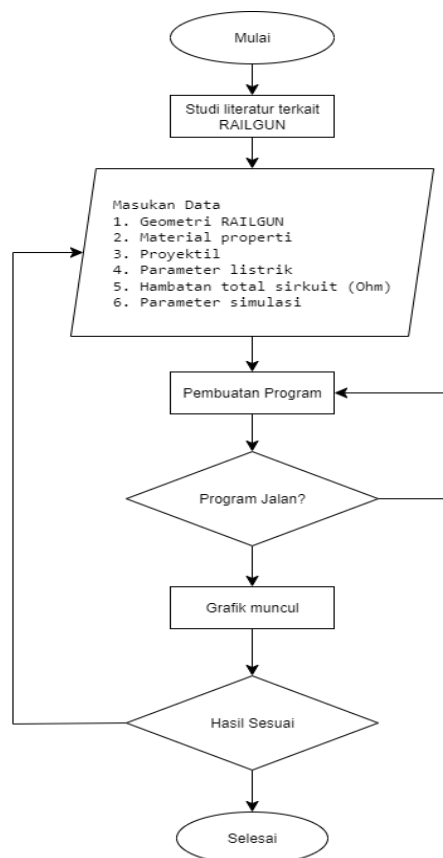
1. Laptop Vivobook Pro 14 OLED AMD Ryzen 5 5600H with Radeon Graphics 3.30 GHz 16 GB DDR4 MEMORY, 512 GB SSD.
2. Perangkat lunak *software* MATLAB R2024a.

### 2.3 Tempat dan Waktu Penelitian

Waktu penelitian “Desain Analisis Aliran Daya Fast Decoupled dengan Aplikasi Matlab®” dilaksanakan mulai tanggal 10 Mei 2025 hingga 10 Juli 2025 dan dilaksanakan di Laboratorium Instalasi Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Gedung D Institut Teknologi Nasional Yogyakarta.

### 2.4 Tahapan Penelitian

Adapun pada tahapan penelitian ini menjelaskan tentang standar pengujian yang dilakukan, uraian lengkap dan rinci tentang langkah-langkah atau prosedur pelaksanaan penelitian. Adapun tahap penelitian meliputi (a) menyiapkan data-data terkait sistem, (b) melakukan pemodelan dengan Matlab® dan (c) melakukan simulasi pada pemodelan. Rincian langkah-langkah penelitian terlihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Flowchart Penelitian

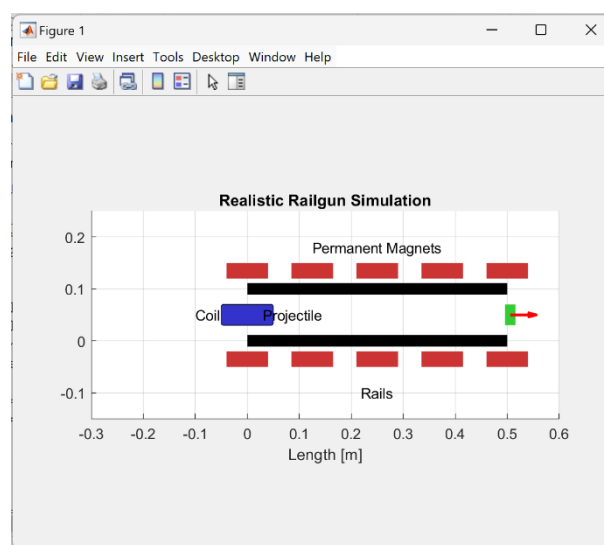
---

---

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Simulasi Desain raigun

Pada gambar simulasi, proyektil ditempatkan di antara dua rel dan didorong oleh gaya *Lorentz* yang timbul dari arus listrik dan medan magnet yang bekerja bersamaan. Koil elektromagnetik bertugas memberikan dorongan awal kepada proyektil, sedangkan magnet permanen yang disusun sejajar sepanjang rel berfungsi untuk memperkuat medan magnet sehingga dorongan tetap maksimal sepanjang perjalanan proyektil. Simulasi dilakukan menggunakan program MATLAB, yang memberikan tampilan dinamis mengenai posisi proyektil serta kondisi komponen selama proses peluncuran. Hasil simulasi ini digunakan sebagai dasar untuk mengevaluasi secara menyeluruh performa sistem railgun tersebut.



**Gambar 3.1** Gambar simulasi 2D railgun

3.1. menunjukkan model simulasi dari sistem *railgun* yang dibuat secara realistis dengan menggabungkan tiga komponen utama, yaitu koil, rel konduktif, dan magnet permanen. Pada awalnya, proyektil ditempatkan di dalam koil pendorong yang terletak di antara dua rel yang sejajar. Ketika arus listrik tinggi dialirkan melalui sistem, medan magnet yang dihasilkan oleh koil serta arus yang melewati proyektil antara dua rel menciptakan gaya *Lorentz* yang mendorong proyektil ke depan.

Saat proyektil di sepanjang rel, komponen tersebut dipengaruhi oleh medan magnet tambahan yang berasal dari magnet permanen yang ditempatkan di sisi atas rel. Magnet permanen ini memperkuat medan magnet lokal di sekitar proyektil, sehingga meningkatkan gaya *Lorentz* yang bekerja. Dengan demikian, proyektil mendapat tambahan percepatan yang cukup besar ketika bergerak mendekati ujung rel. Di akhir lintasannya proyektil terus melaju dan keluar dari rel, seperti yang ditunjukkan oleh panah merah yang menunjukkan arah gerak akhir proyektil. Secara keseluruhan, sistem ini merupakan pengembangan dari konsep *railgun* biasa, dengan pendekatan campuran yang menggabungkan prinsip kerja coilgun dan *railgun*.

Pengujian yang dilakukan dengan arus di bawah 250 Ampere hanya mampu menghasilkan akselerasi jarak pendek. Dengan demikian, penggunaan arus sebesar 250 Ampere dianggap tidak optimal dalam mendukung akselerasi proyektil serta efisiensi sistem. Arus yang terlalu rendah tidak hanya memengaruhi kecepatan proyektil tetapi juga meningkatkan resistansi terhadap impedansi sistem, sehingga efisiensi energi menurun secara signifikan. Pemanasan berlebihan dan peningkatan resistansi kontak lebih mudah terjadi, sehingga mengganggu stabilitas peluncuran proyektil dan mempercepat rusaknya rel konduktor. Hal ini karena arus yang kecil membutuhkan waktu lebih lama untuk bergerak melalui rel, sehingga terjadi gesekan yang lebih lama dan menyebabkan rel lebih

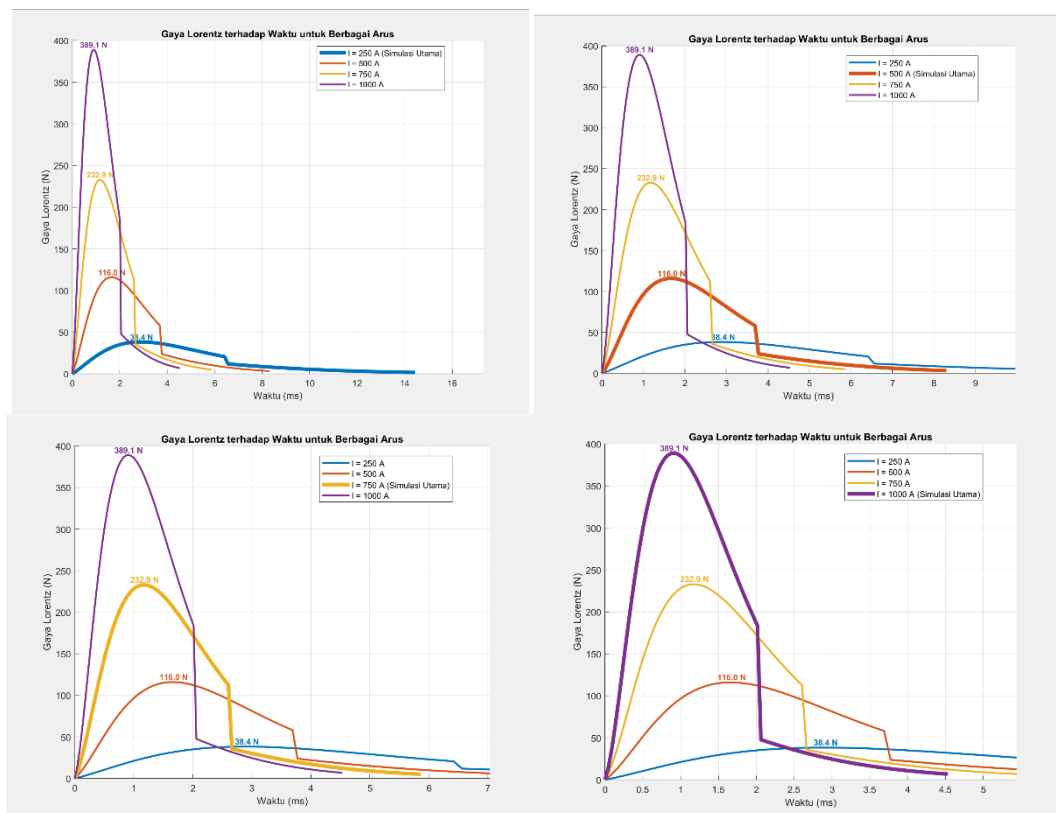
---

cepat rusak. Oleh karena itu, desain railgun yang hanya menggunakan arus 250 A tidak hanya kurang efisien tetapi juga tidak mampu mengatasi batasan termal, elektromagnetik, dan mekanis yang diperlukan oleh sistem tersebut.

**Tabel 1.** Perbandingan Algoritma A dan Algoritma B

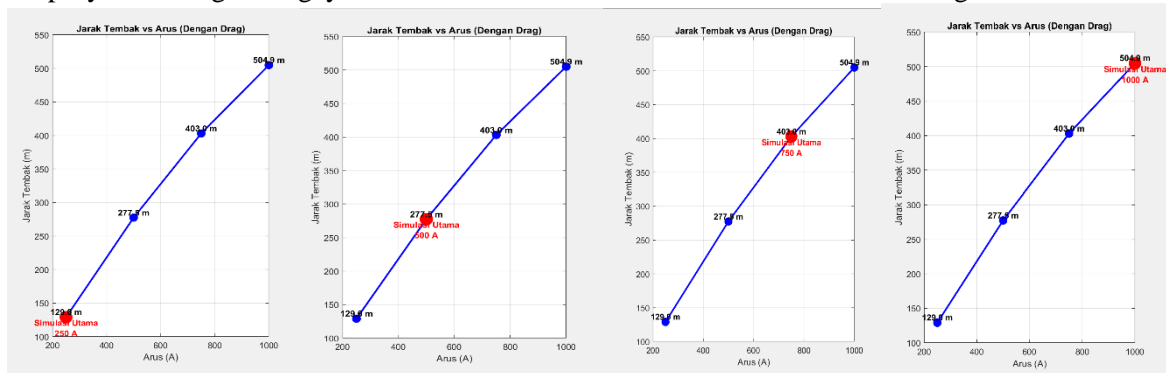
| Arus   | Percepatan Puncak      | Gaya Lorentz | Jarak   | Kecepatan | Suhu    |
|--------|------------------------|--------------|---------|-----------|---------|
| 250 A  | 4800 m/s <sup>2</sup>  | 38.4 N       | 129.0 m | 69.3 m/s  | 25.03°C |
| 500 A  | 6000 m/s <sup>2</sup>  | 116.0 N      | 277.5 m | 120.4 m/s | 25.06°C |
| 750 A  | 9000 m/s <sup>2</sup>  | 232.9 N      | 403.0 m | 170.6 m/s | 25.20°C |
| 1000 A | 12000 m/s <sup>2</sup> | 389.1 N      | 504.9 m | 220.6 m/s | 25.38°C |

Hasil uji pada tabel 1 menunjukkan pengujian kinerja sistem railgun berbasis elektromagnetik yang didukung oleh koil aktif terhadap berbagai tingkat arus listrik, yaitu 250 A, 500 A, 750 A, dan 1000 A. Data menunjukkan bahwa peningkatan arus berbanding lurus dengan peningkatan gaya Lorentz dan percepatan puncak proyektil. Gaya Lorentz meningkat secara signifikan dari 38,4 N pada arus 250 A menjadi 389,1 N pada arus 1000 A, sesuai dengan prinsip dasar elektromagnetik di mana gaya Lorentz sebanding dengan arus listrik. Seiring dengan itu, percepatan puncak yang dihasilkan juga meningkat secara drastis, dari 3800 m/s<sup>2</sup> menjadi 12000 m/s<sup>2</sup>. Kenaikan ini menunjukkan bahwa sistem semakin mampu mentransfer energi elektromagnetik menjadi energi kinetik secara efisien.



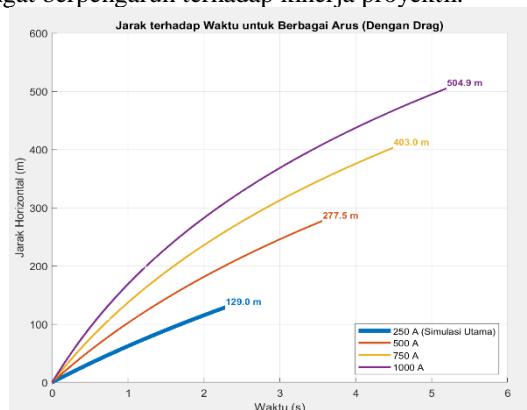
Gambar 3.2. Gaya Lorentz terhadap waktu

Gambar 3.2 Grafik yang ditampilkan menunjukkan hubungan antara gaya Lorentz terhadap waktu untuk empat jenis arus listrik, yaitu 250 A, 500 A, 750 A, dan 1000 A. Untuk arus 250 A, gaya puncaknya hanya sekitar 38,4 N, sedangkan untuk arus 1000 A, gaya Lorentz mencapai puncaknya sekitar 389,1 N, menunjukkan hubungan lurus antara besar arus listrik (A) dengan gaya Lorentz (N) yang terjadi dalam sistem railgun. Waktu simulasi untuk arus kecil lebih lama, sedangkan untuk arus besar, gaya puncak tercapai lebih cepat dan simulasi berakhir lebih cepat, menunjukkan efek resistif dan penurunan arus yang lebih cepat pada sistem berarus tinggi. Grafik ini berkaitan dengan sistem railgun dua rel yang dilengkapi dengan koil di bagian awal (antara dua rel) dan magnet permanen yang ditempatkan di atas masing-masing rel. Ketika arus dialirkan melalui koil hingga mengalir ke rel, proyektil mengalami gaya Lorentz akibat interaksi antara arus dan medan magnet.



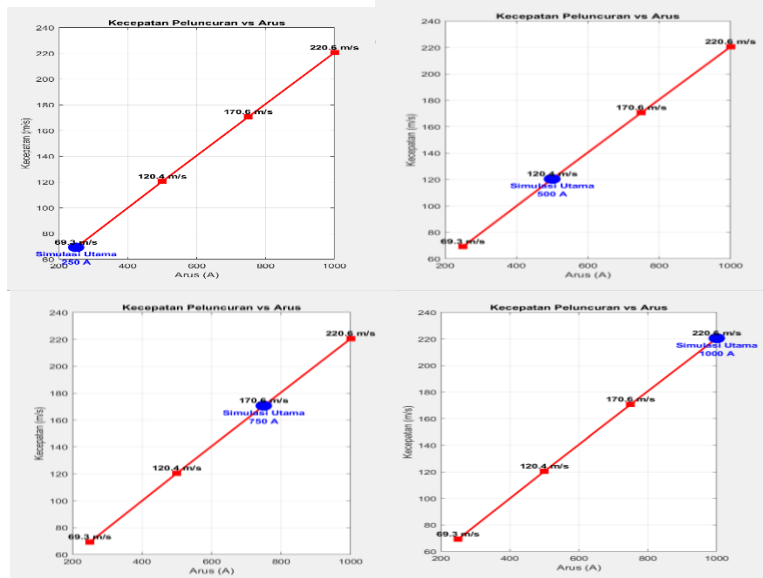
Gambar 3.3 Jarak tembak terhadap arus

Gambar 3.3 memperlihatkan hubungan antara besarnya arus listrik (A) dengan jarak tembak proyektil (m) pada sistem railgun, dengan memperhitungkan pengaruh hambatan udara. Garis biru pada grafik menunjukkan hubungan yang sangat linier antara peningkatan arus listrik dan jarak tembak proyektil. Setiap titik biru mewakili hasil simulasi pada arus tertentu, yaitu 250 A, 500 A, 750 A, dan 1000 A, beserta jarak tembak yang dicapai setiap kondisi tersebut. Peningkatan jarak tembak ini menunjukkan bahwa gaya Lorentz dan percepatan yang dihasilkan oleh arus yang lebih besar mampu mengatasi hambatan udara secara lebih efektif serta menambah energi kinetik kepada proyektil. Hal ini menunjukkan bahwa sistem railgun sangat peka terhadap besar arus yang diberikan, di mana peningkatan energi listrik sangat berpengaruh terhadap kinerja proyektil. Semakin besar arus yang diberikan, semakin jauh jarak tembak yang dicapai. Ini memperkuat prinsip dasar elektromagnetik bahwa gaya Lorentz yang menyebabkan energi kinetik pada proyektil, meningkat seiring dengan peningkatan arus. Memperlihatkan hubungan antara besarnya arus listrik (A) dengan jarak tembak proyektil (m) pada sistem railgun, dengan memperhitungkan pengaruh hambatan udara. Garis biru pada grafik menunjukkan hubungan yang sangat linier antara peningkatan arus listrik dan jarak tembak proyektil. Peningkatan jarak tembak ini menunjukkan bahwa gaya Lorentz dan percepatan yang dihasilkan oleh arus yang lebih besar mampu mengatasi hambatan udara secara lebih efektif serta menambah energi kinetik kepada proyektil. Hal ini menunjukkan bahwa sistem railgun sangat peka terhadap besar arus yang diberikan, di mana peningkatan energi listrik sangat berpengaruh terhadap kinerja proyektil.



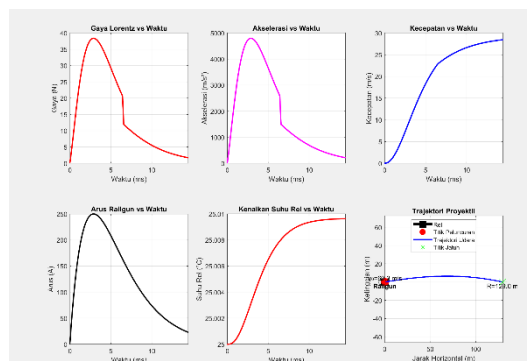
Gambar 3.4 Jarak terhadap waktu

Hasilnya menunjukkan bahwa semakin besar arus yang digunakan, semakin jauh jarak yang ditempuh proyektil dalam waktu yang beda. Dapat terlihat jelas bahwa semakin besar arus listrik yang diberikan, semakin jauh jarak yang dapat dicapai dalam waktu yang sama. Hal ini membuktikan bahwa gaya Lorentz yang terjadi sebanding dengan kuadrat arus, sehingga arus yang rendah seperti 250 A menghasilkan percepatan yang jauh lebih kecil. Secara fisika, hal ini sesuai dengan prinsip bahwa percepatan yang lebih tinggi karena gaya Lorentz meningkat karena arus yang lebih besar akan membuat waktu tempuh menjadi lebih pendek meskipun jarak yang dicapai lebih jauh.



Gambar 3.5 Kecepatan proyektil terhadap arus

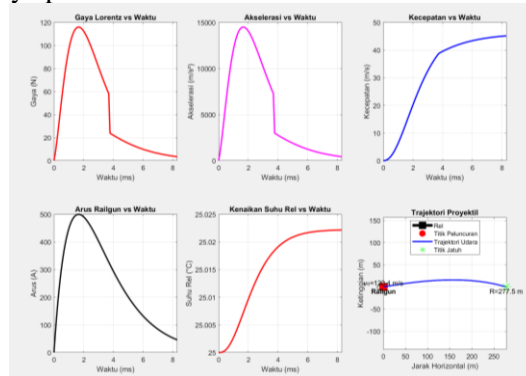
Gambar 3.5 merupakan Empat grafik yang berjudul “Kecepatan Peluncuran vs Arus“ menunjukkan hubungan yang lurus antara besarnya arus listrik yang diberikan dengan kecepatan peluncuran proyektil. Dengan angka yang dihasilkan Arus 250 (A) menghasilkan Kecepatan 69.3 (m/s) dan arus 1000 (A) menghasilkan kecepatan 220(m/s). Saat arus mengalir, medan magnet terbentuk sekitar rel dan proyektil. Interaksi antara medan magnet dan arus dalam proyektil menghasilkan gaya Lorentz yang memacu proyektil bergerak sepanjang rel. Koil induksi yang terletak di ujung awal sistem railgun berperan untuk memperkuat medan magnet awal, memperbesar gaya Lorentz sejak awal, atau bisa jadi bagian dari sistem arus pulsa yang memberikan energi lebih besar dan cepat pada proyektil saat memulai akselerasinya. Grafik menunjukkan hubungan antara arus dan kecepatan peluncuran yang hampir lurus. Setiap peningkatan arus dari 250 A menjadi 1000 A (4 kali lipat) menyebabkan kecepatan meningkat. Ini menunjukkan adanya efisiensi tertentu dalam sistem, meskipun tidak sempurna, kemungkinan karena adanya hambatan pada rel, kerugian energi selama proses.



Gambar 3.6 Hasil percobaan pada arus 250A

Gambar 3.6 Gaya ini naik tajam hingga mencapai puncak sekitar 38,4 Newton, kemudian menurun tajam setelah sekitar 7 milidetik. Akselerasi mencapai 4800 m/s<sup>2</sup> di awal, lalu menurun drastis seiring menurunnya gaya Lorentz. Grafik ketiga menunjukkan kecepatan proyektil terhadap

waktu, yang meningkat secara bertahap dan terus naik hingga sekitar 15 milidetik. Meskipun akselerasi menurun, kecepatan tetap meningkat karena proyektil masih mendapat dorongan selama berada di atas rel. Kecepatan akhir proyektil melebihi 28 m/s namun pada grafik hanya menunjukkan hingga 15 detik yang seharusnya pada grafik bisa lebih jauh dan melihat dalam waktu keseluruhan sebelum meninggalkan railgun. Grafik keempat menunjukkan arus listrik dalam railgun, yang meningkat hingga mencapai sekitar 250 ampere, lalu perlahan menurun. Suhu rel naik dari 25°C hingga sekitar 25.01°C Meskipun kenaikannya kecil karena proses peluncuran terjadi dengan cepat, suhu ini menunjukkan adanya pemanasan akibat hambatan listrik di dalam rel.



Gambar 3.7 Hasil percobaan pada arus 500A

Gambar 3.7 Gaya ini naik tajam hingga mencapai puncak sekitar 116 Newton, kemudian menurun tajam setelah sekitar 2 milidetik. Akselerasi mencapai 15000 m/s<sup>2</sup> di awal, lalu menurun drastis seiring menurunnya gaya Lorentz. Grafik ketiga menunjukkan kecepatan proyektil terhadap waktu, yang meningkat secara bertahap dan terus naik hingga sekitar 8 milidetik. Meskipun akselerasi menurun, kecepatan tetap meningkat karena proyektil masih mendapat dorongan selama berada di atas rel. Kecepatan akhir proyektil melebihi 45 m/s namun pada grafik hanya menunjukkan hingga 8 detik yang seharusnya pada grafik bisa lebih jauh dan melihat dalam waktu keseluruhan sebelum meninggalkan railgun. Grafik keempat menunjukkan arus listrik dalam railgun, yang meningkat hingga mencapai sekitar 500 ampere, lalu perlahan menurun. Suhu rel naik dari 25°C hingga sekitar 25.02°C. Meskipun kenaikannya kecil karena proses peluncuran terjadi dengan cepat, suhu ini menunjukkan adanya pemanasan akibat hambatan listrik di dalam rel.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan dalam tugas akhir ini, dapat disimpulkan bahwa perancangan dan analisis model railgun secara konseptual dan matematis telah berhasil dilakukan dengan memenuhi tujuan penelitian yang telah dirumuskan. Adapun kesimpulan berdasarkan tujuan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Perancangan model railgun telah dilakukan baik secara konseptual maupun matematis. Model tersebut mencakup komponen utama railgun seperti rel konduktor, proyektil, dan sumber arus tinggi. Pendekatan matematis digunakan untuk menggambarkan hubungan antara arus, medan magnet, gaya Lorentz, serta gerak proyektil sepanjang rel.
2. Simulasi parameter kelistrikan telah dilakukan menggunakan perangkat lunak MATLAB. Dari simulasi tersebut, diperoleh grafik yang menunjukkan hubungan antara gaya dorong dan percepatan terhadap waktu serta posisi proyektil. Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan arus yang mengalir akan berbanding lurus dengan besar gaya dorong dan percepatan yang dihasilkan.
3. Analisis gaya dan jarak tempuh proyektil menunjukkan bahwa besar arus yang dialirkan memiliki pengaruh signifikan terhadap performa railgun. Semakin besar arus yang digunakan, semakin besar pula gaya yang bekerja pada proyektil, sehingga menghasilkan percepatan dan jarak tempuh yang lebih jauh.

---

## 5. SARAN

Saran yang diperlukan untuk kedepannya dari penelitian ini adalah

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait sistem manajemen panas pada *railgun*, terutama untuk mengatasi kenaikan suhu pada koil yang cukup besar saat arus tinggi digunakan. Penggunaan sistem pendingin berbasis cairan atau logam yang mengalami perubahan fase bisa menjadi solusi yang sangat efektif.
2. Penambahan sistem kontrol dengan umpan balik berbasis sensor dapat meningkatkan presisi dalam mengatur arus dan waktu aktivasi koil.
3. Penelitian berikutnya tentang hal yang serupa bisa dikaji kembali terkait perhitungan serta program agar lebih akurat dan optimal dalam melaksanakan penelitian.
4. Bentuk dan jenis material rel serta proyektile sangat berpengaruh terhadap kinerja elektromagnetik. Dianjurkan untuk melakukan studi yang lebih mendalam melalui simulasi dengan metode elemen hingga (FEM) serta uji coba eksperimental, agar bisa menemukan konfigurasi yang paling optimal.
5. Selain menggunakan kapasitor konvensional, sebaiknya juga diteliti penggunaan superkapasitor atau sistem penyimpan energi berbasis baterai lithium yang memiliki respons cepat serta efisiensi tinggi, terutama untuk *railgun* portabel.
6. Hasil dari simulasi yang telah dilakukan perlu diuji secara eksperimental melalui pembuatan prototipe sederhana. Tujuannya adalah untuk memastikan keakuratan model teoritis serta memperkuat tingkat relevansi aplikasi dari hasil penelitian ini.

Saran-saran untuk penelitian lebih lanjut untuk menutup kekurangan penelitian. Tidak memuat saran-saran diluar untuk penelitian lanjut.

## DAFTAR PUSTAKA

- Cheng, D. K. (1989). *Field and wave electromagnetics*. Pearson Education India.
- Fair, H. D. (2009). Advances in electromagnetic launch science and technology and its applications. *IEEE Transactions on Magnetics*, 45(1), 225-230.
- Bruzzese, M. and Singer, P.W. (2024) *China's nascent Railgun is just the tip of its shipboard R&D*, *Defense One*. Available at: <https://www.defenseone.com/ideas/2024/03/chinas-nascent-railgun-just-tip-its-shipboard-advances/394970/> (Accessed: 14 July 2025).
- Kwon, Y. & Pratikakis, N. & Shellock, M.. (2008). Multiphysics modeling of a rail gun launcher. *The International Journal of Multiphysics*. 2. 421-436. 10.1260/1750-9548.2.4.421.
- Aryani, T. (2025), Bagaimana Amunisi bisa Kedaluwarsa? Apa Risiko Menggunakannya?, Available: <https://nationalgeographic.grid.id/read/134250193/bagaimana-amunisi-bisa-kedaluwarsa-apa-risiko-menggunakannya?page=all>, (Accessed: 14 July 2025).
- Yanuar, Y., & Alfarizi, M. K. (2019, October 23). *Cina Kembangkan senjata Artileri Plasma magnetik, di atas railgun*. Tempo. <https://www.tempo.co/sains/cina-kembangkan-senjata-artileri-plasma-magnetik-di-atas-railgun-693025>, (Accessed: 14 July 2025).
- Wiyana, A. T., Suwandi, S., & Qurthobi, A. (2017). Perancangan Pfn (pulse Forming Network) Untuk Aplikasi *Railgun*. *eProceedings of Engineering*, 4(2).
- M. S. Bayati and A. Keshtkar, "Novel Study of the Rail's Geometry in the Electromagnetic Launcher," (2015), *IEEE Transactions on Plasma Science*, vol. 43, no. 5, pp. 1652-1656, doi: 10.1109/TPS.2015.2417532.
- H. Polat, N. Tosun, D. Ceylan and O. Keysan, "Optimization of a Convex Rail Design for Electromagnetic Launchers," in *IEEE Transactions on Plasma Science*, vol. 48, no. 6, pp. 2266-2273, June 2020, doi: 10.1109/TPS.2020.2993785.
- Li, B., & Lin, Q. (2018). Analysis and discussion on launching mechanism and tactical electromagnetic *railgun*
-

---

technology. Defence Technology. sciencedirect.

S. Hundertmark, "Simulating the Difference between a DES and a Simple *Railgun* using SPICE," Feb. 2016, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1602.04973>

A. Zielinski, H. Fair, L. Winfrey, S. Mittal, and M. Bourham, "Modeling and Analysis of a Dual Channel Plasma Torch for Industrial, Space, and Launch Applications," 2014.

R. Murugan and K. Udayakumar, "I-Effect of Rail Dimensions on Rail Gun Design Parameters," 2005.

J. Lydia, R. Karpagam, and R. Murugan, "A Novel Technique for Dynamic Analysis of an Electromagnetic Rail Launcher using FEM Coupled with Simpler," *Appl Comput Electromagn Soc J*, vol. 37, no. 2, pp. 229–237, Feb. 2022, doi: 10.13052/2022.ACES.J.370212.

P. F. Ridhan, D. Puspita Sari, and dan M. Basuki Rahmat, "Desain Sistem *Railgun*."

I. K. Wirawan, "LISTRIK MAGNET Aplikasi Gaya *Lorentz* pada Senapan Elektromagnetik (Rail Gun)," Jun. 2016.

Giancoli and Douglas C, "Physics: Principles with Applications, Global Edition," 2016, doi: 10.875.

S. Hundertmark and O. Liebfried, "Power Supply Options for a Naval *Railgun*," Sep. 2017, doi: 10.1109/TPS.2018.2864560.

L. Gra Hawys, "RANCANG BANGUN PROTOTYPE PELONTAR PELURU ELEKTROMAGNETIK," 2017.

Fair, H.D. (2013). Guest Editorial: The Past, Present, and Future of Electromagnetic Launch Technology and the IEEE International EML Symposia. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 41(5), 1024–1027. DOI: 10.1109/TPS.2013.2278779

G. R. Hric and W. G. Odendaal, "Improving Start-Up Contact Distribution Between *Railgun* Armature and Rails," in *IEEE Transactions on Plasma Science*, vol. 44, no. 7, pp. 1202-1207, July 2016, doi: 10.1109/TPS.2016.2569071.

McCorkle, W. C., & Bahder, T. B. (2008). Tradeoff between Efficiency and Melting for a High-Performance Electromagnetic Rail Gun. arXiv preprint arXiv:0810.2985.

Lin, Lingshu & Yuan, Weiqun & Zhao, Ying & Wang, Zhizeng & Yan, Ping. (2017). Thermal Analysis on Electromagnetic Launcher Under Transient Conditions. *IEEE Transactions on Plasma Science*. PP. 1-6. 10.1109/TPS.2017.2705725.

H. D. Fair, "Progress in Electromagnetic Launch Science and Technology," in *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 43, no. 1, pp. 93-98, Jan. 2007, doi: 10.1109/TMAG.2006.887596.

G. Jackson, L. Farris and M. Tower, "Electromagnetic railgun extended-life bore material tests results," in *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 22, no. 6, pp. 1542-1545, November 1986, doi: 10.1109/TMAG.1986.1064731.

O. Liebfried and V. Brommer, "Demonstration of a 1 MJ XRAM generator supplying a medium caliber railgun," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 226250–226260, 2020. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9292930>

I. R. McNab, "Large-scale pulsed power opportunities and challenges," *IEEE Trans. Plasma Sci.*, vol. 42, no. 10, pp. 3274–3282, Oct. 2014. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6739997>

T. G. Engel, J. M. Neri, and W. C. Nunnally, "Efficiency and scaling of constant inductance gradient DC electromagnetic launchers," *IEEE Trans. Plasma Sci.*, vol. 33, no. 2, pp. 538–549, Apr. 2005. [Online]. Available: <https://scholar.archive.org/work/kycgogilncojhw7wfb4t3bt6e>

G. A. Shvetsov, S. V. Stankevich, V. G. Butov and S. V. Sinyaev, "Multiparametric Investigation of Thermal Limitations in a Rapid-Fire Multirail Railgun Powered by a Pulsed MHD Generator," in *IEEE Transactions on Plasma Science*, vol. 47, no. 11, pp. 5148-5152, Nov. 2019, doi: 10.1109/TPS.2019.2942100.

A. S. Kulkarni and M. J. Thomas, "Performance Analysis of a Self-Excited Passive Compulsator Driving a Railgun With Field Winding Excited by a Secondary Armature," in *IEEE Transactions on Plasma Science*, vol. 47, no. 10, pp. 4738-4744, Oct. 2019, doi: 10.1109/TPS.2019.2939852.

---