



**DESAIN DAN ANALISIS CAPACITIVE PULSED POWER
SUPPLY DENGAN METODE ZERO VOLTAGE SWITCHING
PADA ELEKTRO MAGNETIK *RAIL GUN* MENGGUNAKAN
SIMULASI POWER SIMULATOR (PSIM)**

SKRIPSI

RAIHAN FIQRI RHENAPUTRA

2110314086

UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO

2025



**DESAIN DAN ANALISIS CAPACITIVE PULSED POWER
SUPPLY DENGAN METODE ZERO VOLTAGE SWITCHING
PADA ELEKTRO MAGNETIK *RAILGUN* MENGGUNAKAN
SIMULASI POWER SIMULATOR (PSIM)**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik**

RAIHAN FIQRI RHENAPUTRA

2110314086

UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO

2025

HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI

Skripsi yang diajukan oleh:

Nama : Raihan Fiqri Rhenaputra

NIM : 2110314086

Program Studi : S1 – Teknik Elektro

Judul Skripsi : DESAIN DAN ANALISIS CAPACITIVE PULSED POWER
SUPPLY DENGAN METODE ZERO VOLTAGE SWITCHING
PADA ELEKTROMAGNETIK RAILGUN MENGGUNAKAN
SIMULASI POWER SIMULATOR (PSIM)

telah berhasil dipertahankan di hadapan tim penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta.



Dr. Henry Binsar Hamonangan Sitorus, S.T., M.T.

Penguji Utama



Ir. Achmad Zuchriadi P., S.T., M.T.

Penguji Lembaga



Dr. Ir. Muchamad Oktaviandri,
S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng.

Pelaksana Tugas (Plt.) Dekan
Fakultas Teknik



Luh Krisnawati, S.T., M.T.

Penguji I (Pembimbing)



Ir. Achmad Zuchriadi P.,
S.T., M.T.

Kepala Program Studi
Teknik Elektro

Ditetapkan di: Jakarta

Tanggal Ujian: 17 Juli 2025

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING SKRIPSI

DESAIN DAN ANALISIS CAPACITIVE PULSED POWER SUPPLY DENGAN METODE ZERO VOLTAGE SWITCHING PADA ELEKTRO MAGNETIK RAILGUN MENGGUNAKAN SIMULASI POWER SIMULATOR (PSIM)

RAIHAN FIQRI RHENAPUTRA

NIM. 2110314086

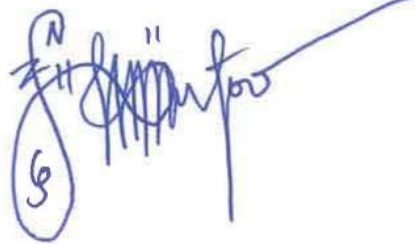
Disetujui oleh,

Pembimbing I



Luh Krisnawati, S.T., M.T.

Pembimbing II



Ferdyanto, S.T., M.T.

Mengetahui,

Kepala Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknik

Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta



Ir. Achmad Zuchriadi P., S.T., M.T.

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi tersebut merupakan hasil karya sendiri dan semua sumber yang dikutip maupun digunakan sebagai rujukan telah saya nyatakan benar.

Nama : Raihan Fiqri Rhenaputra

NIM : 2110314086

Program Studi : S1 – Teknik Elektro

Apabila di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan saya ini, saya bersedia dituntut dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Jakarta, 28 Juli 2025

Yang menyatakan,



Raihan Fiqri Rhenaputra

HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai *civitas academica* Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Raihan Fiqri Rhenaputra

NIM : 2110314086

Program Studi : S1 – Teknik Elektro

menyetujui untuk memberikan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

DESAIN DAN ANALISIS CAPACITIVE PULSED POWER SUPPLY DENGAN METODE ZERO VOLTAGE SWITCHING PADA ELEKTROMAGNETIK RAILGUN MENGGUNAKAN SIMULASI POWER SIMULATOR (PSIM)

Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta berhak menyimpan, mengalih-media/formatkan, mengelola (dalam bentuk pangkalan data, merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan pemilik hak cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 28 Juli 2025

Yang menyatakan,



Raihan Fiqri Rhenaputra

DESAIN DAN ANALISIS CAPACITIVE PULSED POWER SUPPLY DENGAN METODE ZERO VOLTAGE SWITCHING PADA ELEKTRO MAGNETIK *RAILGUN* MENGGUNAKAN SIMULASI POWER SIMULATOR (PSIM)

Raihan Fiqri Rhenaputra

ABSTRAK

Memprediksi kinerja *railgun* adalah tantangan karena variabilitas dinamis resistansi rel. Studi ini mengatasi hal tersebut dengan mendesain dan menganalisis Capacitive Pulsed Power Supply (CPPS) berkinerja tinggi dengan metode Zero Voltage Switching (ZVS), serta mengkuantifikasi variabilitas kinerja *railgun* menggunakan simulasi. Model komprehensif *railgun* dan CPPS kustomnya (750V-4kV, *resonant full-bridge* 200kHz dengan *dead time* 346ns, pengganda Cockcroft-Walton 2-tahap) dikembangkan di PSIM. CPPS mencapai efisiensi *switching* yang tinggi dan pengiriman daya yang stabil. Simulasi *railgun* menunjukkan gaya elektromagnetik dan akselerasi mencapai puncak tajam sebelum menurun, sementara kecepatan armatur meningkat secara linear hingga $\sim 1,6$ m/s pada 0,01 detik. Penelitian ini menawarkan pemahaman realistis tentang kinerja *railgun*, menyoroti dampak kritis induktansi rel yang dinamis dan pentingnya mempertimbangkan peningkatan prediktabilitas dan keandalan.

Kata Kunci: *Railgun*, Induktansi Rel, Variabilitas Kinerja, Catu Daya DC Tegangan Tinggi, *Zero Voltage Switching*, PSIM.

DESIGN AND ANALYSIS OF CAPACITIVE PULSED POWER SUPPLY WITH ZERO VOLTAGE SWITCHING METHOD FOR ELECTROMAGNETIC RAILGUN USING POWER SIMULATOR (PSIM) SIMULATION

Raihan Fiqri Rhenaputra

ABSTRACT

Predicting railgun performance is challenging due to dynamic rail resistance variability. This study addresses this by designing and analyzing a high-performance Capacitive Pulsed Power Supply (CPPS) with Zero Voltage Switching (ZVS), and quantifying the railgun's performance variability using simulation. A comprehensive model of the railgun and its custom CPPS (750V-4kV, 200kHz resonant full-bridge with 346ns dead time, 3-stage Cockcroft-Walton) was developed in PSIM. The CPPS achieved high switching efficiency and stable power delivery. Railgun simulations showed electromagnetic force and acceleration peaking sharply before decaying, while armature velocity increased linearly to ~1.6 m/s at 0.01 seconds. This research offers a realistic understanding of railgun performance, underscoring the critical impact of dynamic rail inductance and the importance of accounting for such uncertainties in future designs for improved predictability and reliability.

Keywords: Railgun, Rail Inductance, Performance Variability, High-Voltage DC Power Supply, Zero Voltage Switching, PSIM.

KATA PENGANTAR

Penulis memanjatkan puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas berkat, rahmat, dan bimbingan-Nya yang telah memungkinkan selesainya skripsi ini tanpa hambatan berarti. Skripsi ini disusun sebagai bagian dari pemenuhan kurikulum Program Studi Teknik Elektro, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jakarta, dengan fokus pada "Desain dan Optimasi Capacitive Pulsed Power Supply dengan Metode Zero Voltage Switching pada Elektro Magnetik *Railgun* menggunakan Simulasi Power Simulator (PSIM)".

Penyelesaian karya ilmiah ini tidak terlepas dari dukungan, arahan, dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada semua individu yang telah berkontribusi melalui bimbingan, motivasi, dan doa sejak awal penulisan hingga rampungnya skripsi ini.

Secara khusus, penulis menyampaikan apresiasi setinggi-tingginya kepada:

1. Keluarga, terutama orang tua, atas dukungan moral dan material yang tak ternilai, serta doa restu yang senantiasa menyertai setiap upaya penulis. Dedikasi dan pengorbanan mereka adalah landasan utama keberhasilan ini.
2. Ibu Luh Krisnawati, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I, atas bimbingan akademis yang mendalam, saran konstruktif, dan motivasi yang sangat berarti dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Bapak Ferdianto, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II, atas masukan dan dorongan yang telah banyak membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Besar harapan penulis agar karya ini dapat memberikan kontribusi positif bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan aplikasi teknologi di bidang elektronika kendali. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan, sehingga segala kritik dan saran yang bersifat membangun akan sangat dihargai demi perbaikan di masa mendatang.

Jakarta, Juli 2025

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI	ii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING SKRIPSI	iii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSUTUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Elektromagnetik Railgun	9
2.2.1 Prinsip Kerja Railgun	10
2.2.2 Hukum Biot-Savart	12
2.2.3 Gaya Lorentz	13
2.3 Sistem Capacitive Pulsed Power Supply	15
2.3.1 Prinsip Kerja CPPS	15
2.4 Teknik Zero Voltage Switching (ZVS)	19
2.4.1 Prinsip Kerja Zero Voltage Switching	19
2.4.2 Phase-Shifted Pulse Width Modulation.....	20
2.4.3 Resonansi pada ZVS	23
2.4.4 Cockroft-Walton Multiplier.....	24
2.4.5 Active Lossless Snubbing.....	26
2.5 Efisiensi Sistem	27
2.6 <i>Circuit Modelling</i> pada PSIM.....	27

BAB 3 METODE PENELITIAN	29
3.1 Metode Penelitian.....	29
3.1.1 Kerangka Berpikir.....	29
3.1.2 Identifikasi Masalah.....	30
3.1.3 Studi Literatur	30
3.1.4 Perumusan Masalah dan Tujuan Penelitian.....	30
3.1.5 Perancangan dan Parameter <i>Set-up</i>	31
3.1.5.1 Perancangan Sistem.....	31
3.1.5.2 Parameter <i>Set-up</i>	32
3.1.5.3 Desain Sirkuit Inisial.....	33
3.1.5.4 Skema Kontrol.....	34
3.1.6 Perhitungan Teoritis dan Simulasi Sirkuit.....	35
3.1.7 Evaluasi Desain	36
3.1.8 Teknik Pengolahan dan Analisis Data	38
3.1.9 Kesimpulan dan Saran.....	38
3.2 Perangkat Penelitian	39
3.2.1 Perangkat Keras.....	39
3.2.2 Perangkat Lunak.....	39
3.3 Tempat Penelitian	39
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1 Perhitungan Teoritis Desain.....	40
4.2 Hasil Simulasi Sirkuit Power Supply	42
4.3 Pengolahan Data	50
4.4 Analisis Kinerja Railgun.....	53
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	55
5.1 Kesimpulan.....	55
5.2 Saran	55
DAFTAR PUSTAKA	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Prototipe Railgun NAVAL	10
Gambar 2. 2	Prinsip Railgun	10
Gambar 2. 3	Pemodelan Railgun pada perangkat lunak PSIM	11
Gambar 2. 4	Diagram Komponen Utama Railgun	12
Gambar 2. 5	Gaya Lorentz yang melewati Kawat Sejajar.....	13
Gambar 2. 6	Sirkuit sederhana RC Pulsed.....	16
Gambar 2. 7	Sirkuit sederhana RC Pulsed.....	16
Gambar 2. 8	Kurva pengisian-pelepasan kapasitor	17
Gambar 2. 9	Waveform Hard Switching Mosfet	20
Gambar 2. 10	(a) sudut pergeseran fasa = 0 (b) sudut pergeseran fasa = $\pi/3$ rad	21
Gambar 2. 11	Ilustrasi Phase-shifted PWM pada konverter Full-bridge	23
Gambar 2. 12	Rangkaian sederhana full-bridge resonant converter.....	24
Gambar 2. 13	Skema Cockroft-Walton Multiplier	25
Gambar 2. 14	Waveform Cockroft Walton Multiplier	25
Gambar 2. 15	Penambahan Kapasitor pada komponen MOSFET	26
Gambar 3. 1	Diagram Alir Penelitian	29
Gambar 3. 2	Diagram Blok Perancangan Sistem	32
Gambar 3. 3	Sirkuit Inisial Capacitive Pulsed Power Supply untuk Railgun ...	33
Gambar 3. 4	Skema Kontrol dengan Peak-Current Mode Control.....	34
Gambar 3. 5	Skema Proses Optimasi Desain	35
Gambar 4. 1	Sirkuit Power Stage dan Kontrol	42
Gambar 4. 2	Grafik Waveform Arus dan Tegangan Output Converter	43
Gambar 4. 3	Grafik Tegangan Input dengan Kompensasi komponen resonan .	43
Gambar 4. 4	Grafik Switching dan Tegangan (a) Leading-leg dan (b) Lagging-leg.....	44
Gambar 4. 5	Grafik ZCS.....	45
Gambar 4. 6	Grafik Dead-time Mosfet Leading-leg	46
Gambar 4. 7	Grafik Siklus Switching Q1, Q2, Q3, dan Q4	47
Gambar 4. 8	Grafik Konduksi dengan menggunakan hard-switching	48
Gambar 4. 9	Grafik Tegangan dan Arus dari Discharge Capacitor	49
Gambar 4. 10	Grafik Perhitungan Gaya yang dihasilkan	50
Gambar 4. 11	Grafik Percepatan dari Perhitungan	51
Gambar 4. 12	Grafik Kecepatan dari Perhitungan.....	52
Gambar 4. 13	Grafik Efisiensi Sistem dari Perhitungan.....	52

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu	5
Tabel 3. 1 Tabel Parameter Setup Awal	32
Tabel 3. 2 Tabel Variasi Toleransi dan Level untuk simulasi	37
Tabel 4. 1 Tabel Setup Komponen Switching dan Resonant	41
Tabel 4. 2 Tabel Parameter Output Pulsed Power Supply	49

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Sampel Arus dalam Domain Waktu beserta Pengolahan Data

Lampiran 2 Lembar Konsultasi Dosen Pembimbing