



**RANCANG BANGUN SISTEM PEMBANGKIT TEGANGAN TINGGI
UNTUK PASTEURISASI SUSU DENGAN METODE
*PULSED ELECTRIC FIELD (PEF)***

LAPORAN TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Menyelesaikan Pendidikan Pada
Program Studi Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri
Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi
Universitas Diponegoro

Disusun Oleh:

Jonathan Teddy Wijaya

40040621650063

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNIK LISTRIK INDUSTRI
DEPARTEMEN TEKNOLOGI INDUSTRI
SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**

2025

LEMBAR PERSETUJUAN LAPORAN TUGAS AKHIR

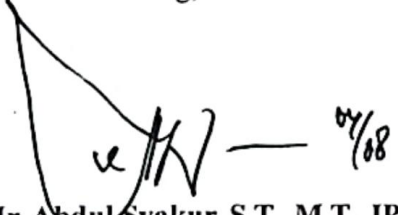
**RANCANG BANGUN SISTEM PEMBANGKIT TEGANGAN TINGGI
UNTUK PASTEURISASI SUSU DENGAN METODE
*PULSED ELECTRIC FIELD (PEF)***

Nama : Jonathan Teddy Wijaya

NIM : 40040621650063

TELAH DISETUJUI DAN DITERIMA BAIK OLEH:

Dosen Pembimbing,


Dr. Ir. Abdul Syakur, S.T., M.T., IPU.
NIP. 197204221999031004

Tanggal 4 Agustus 2025

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Listrik Industri
Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi
Universitas Diponegoro


Arkhan Subari, S.T., M.Kom.
NIP. 19771001200112100

Tanggal 21 Agustus 2025

HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR

RANCANG BANGUN SISTEM PEMBANGKIT TEGANGAN TINGGI UNTUK PASTEURISASI SUSU DENGAN METODE *PULSED ELECTRIC FIELD (PEF)*

Diajukan oleh : Jonathan Teddy Wijaya
Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji pada:

Hari : Rabu

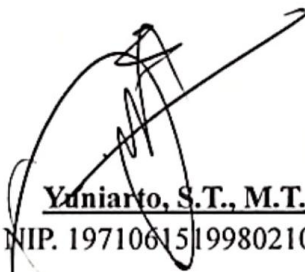
Tanggal : 30 Juli 2025

Penguji I



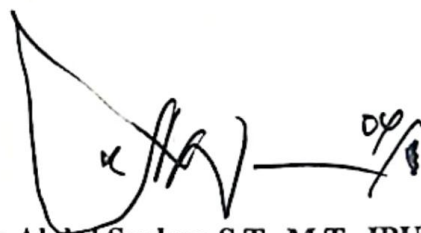
Arkhan Subari, S.T., M.Kom.
NIP. 197710012001121002

Penguji II



Yuniarto, S.T., M.T.
NIP. 197106151998021001

Penguji III



Dr. Ir. Abdul Syakur, S.T., M.T., IPU.
NIP. 197204221999031004

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Listrik Industri
Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi
Universitas Diponegoro



Arkhan Subari, S.T., M.Kom.
NIP. 197710012001121002

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Jonathan Teddy Wijaya
NIM : 40040621650063
Program Studi : Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri Departemen
Teknologi Industri Sekolah Vokasi Universitas
Diponegoro
Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Sistem Pembangkit Tegangan Tinggi
Untuk Pasteurisasi Susu Dengan Metode *Pulsed Electric
Field* (PEF)

Dengan ini saya menyatakan bahwa judul Tugas Akhir ini belum pernah diajukan sebelumnya untuk mendapatkan gelar keahlian di sebuah perguruan tinggi. Se jauh pengetahuan saya, tidak ada karya atau pendapat yang pernah ditulis dan diterbitkan oleh orang lain kecuali yang saya rujuk secara tertulis dalam naskah ini dan tercantum dalam daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti plagiat dalam Tugas Akhir ini, maka saya bersedia mendapat sanksi sesuai peraturan Mendiknas RI. No.17 Tahun 2010 dan Undang-Undang yang berlaku.

Semarang, 30 Juni 2025
Yang membuat Pernyataan



Jonathan Teddy Wijaya
NIM. 40040621650063

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk:

1. Kedua Orang Tua tercinta yang telah memberi doa dan dukungan kepada penulis untuk selalu semangat dalam menjalani masa pendidikan hingga tuntas.
2. Bapak Dr. Ir. Abdul Syakur S.T., M.T., IPU. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan arahan, bimbingan dan fasilitas kepada penulis dalam penyusunan Tugas Akhir
3. Bapak Arkhan Subari, S.T.,M.Kom. selaku Ketua Program Studi Teknik Listrik Industri Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro
4. Seluruh dosen dan tenaga pendidik Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro yang telah memberikan izin untuk menggunakan fasilitas bagi penulis untuk keberlangsungan penyusunan Tugas Akhir.
5. Seluruh dosen dan tenaga pendidik Program Studi Teknik Listrik Industri Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
6. Rekan-rekan Teknik Listrik Industri 2021 yang selalu berjuang bersama dari awal masa perkuliahan hingga lulus.
7. Seluruh pihak yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.
8. Serta, untuk diri saya sendiri yang telah bertahan dan terus berjuang tanpa lelah hingga tersusunnya Tugas Akhir ini.

ABSTRAK

Proses sterilisasi atau pasteurisasi susu umumnya menggunakan suhu tinggi hingga 100°C untuk menghilangkan atau menginaktivasi mikroba, namun dengan cara ini dapat mengakibatkan rusaknya kandungan nutrisi di dalam susu. Sehingga diperlukan alternatif lain yaitu dengan menggunakan sterilisasi atau pasteurisasi susu electric atau *Pulsed Electric Field* (PEF) yang tidak melibatkan proses pemanasan dengan suhu tinggi (*non-thermal*). *Pulsed Electric Field* (PEF) bertegangan tinggi berperan untuk menginaktivasi mikroba yang terdapat dalam susu dengan kuat medan listrik 20 – 80 kV/cm dan lebar pulsa antara 1 - 100 μ s tanpa merusak kandungan nutrisi di dalamnya. Tujuan dari penelitian yaitu untuk merancang sebuah sistem pembangkit tegangan tinggi yang dapat menghasilkan medan listrik berdenyut (*pulsed electric field*) untuk proses pasteurisasi susu. Sistem ini dirancang dengan menggunakan beberapa kombinasi modul yaitu transformator *flyback* sebagai penghasil tegangan tinggi, modul *Zero Voltage Switching* (ZVS) sebagai driver transformator *flyback* dan modul PWM generator sebagai pengatur lebar pulsa dan pembangkit frekuensi. Tegangan tinggi yang dihasilkan pada penelitian Tugas Akhir ini mencukupi untuk kebutuhan pasteurisasi susu dengan metode *Pulsed Electric Field* (PEF) yaitu mencapai 22,9 kV dengan kuat medan listrik 22,9 kV/cm dan lebar pulsa 83 μ s, sehingga didapatkan jumlah bakteri pada susu setelah di uji yaitu pada waktu perlakuan 1 menit jumlah bakteri 210.000×10^4 dan pada waktu perlakuan 5 menit jumlah bakteri 6.400×10^4 cfu/gram.

Kata Kunci: Tegangan Tinggi, Pasteurisasi Susu, *Pulsed Electric Field* (PEF)

ABSTRACT

The process of sterilizing or pasteurizing milk generally uses high temperatures up to 100°C to eliminate or inactivate microbes, but this method can result in the destruction of the nutritional content in the milk. Therefore, an alternative is needed, which is the use of electric milk sterilization or Pulsed Electric Field (PEF) that does not involve high-temperature heating (non-thermal). High-voltage Pulsed Electric Field (PEF) plays a role in inactivating microbes present in milk with an electric field strength of 20 – 80 kV/cm and a pulse width of 1 - 100 μ s without damaging its nutritional content. The objective of the research is to design a high-voltage generator system that can produce a pulsed electric field for the milk pasteurization process. This system is designed using several module combinations, including a flyback transformer as the high-voltage generator, a Zero Voltage Switching (ZVS) module as the driver for the flyback transformer, and a PWM generator module as the pulse width and frequency controller. The high voltage generated in this Final Project research is sufficient for the needs of milk pasteurization using the Pulsed Electric Field (PEF) method, reaching 22.9 kV with an electric field strength of 22.9 kV/cm and a pulse width of 83 μ s. As a result, the bacterial count in the milk after testing was as follows: at 1 minute of treatment, the bacterial count was 210.000×10^4 cfu/gram.; and at 5 minutes of treatment, the bacterial count was 6.400×10^4 cfu/gram.

Keyword: *High Voltage, Milk Pasteurization, Pulsed Electric Field (PEF)*

KATA PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala Limpahan, Rahmat dan Karunia-NYA, sehingga penulis dapat menyelesaikan sekaligus menyusun laporan Tugas Akhir dengan judul **“RANCANG BANGUN SISTEM PEMBANGKIT TEGANGAN TINGGI UNTUK PASTEURISASI SUSU DENGAN METODE *PULSED ELECTRIC FIELD* (PEF)”** sebagai salah satu syarat bagi penulis dalam menyelesaikan program studi Sarjana Terapan di Teknik Listrik Industri Universitas Diponegoro.

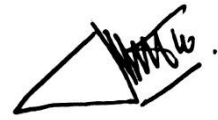
Laporan Tugas Akhir ini diharapkan dapat menambah pengetahuan dan kreativitas yang baik bagi penulis maupun pembaca. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam tersusunnya laporan ini dengan baik. Oleh karena itu penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Budiyono, M.Si selaku Dekan Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
2. Arkhan Subari, S.T., M.Kom. selaku Kepala Program Studi Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri, Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro Semarang.
3. Dr. Ir. Abdul Syakur, S.T., M.T., IPU selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang senantiasa memberikan arahan dan dukungan dalam penyusunan alat hingga menyetujui laporan Tugas Akhir ini.
4. Orang tua dan keluarga yang telah menjadi dukungan penulis untuk segera menyelesaikan laporan ini.
5. Seluruh dosen beserta karyawan Program Studi Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri Departemen Teknologi Industri yang telah memberikan ilmu yang berharga kepada penyusun.
6. Seluruh pihak yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.
7. Serta, untuk diri saya sendiri yang telah bertahan dan terus berjuang tanpa lelah hingga tersusunnya Laporan Tugas Akhir ini.

Semoga laporan yang sederhana ini dapat bermanfaat bagi Almamater Civitas Universitas Diponegoro, maupun pembaca pada umumnya. Penulis menyadari

dalam pembuatan laporan ini masih jauh dari kesempurnaannya karena dikarenakan keterbatasan ilmu yang penulis miliki. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang dapat membangun agar laporan Tugas Akhir ini menjadi lebih baik. Akhir kata penulis mohon maaf yang setulus – tulusnya apabila terdapat kekeliruan maupun kesalahan dalam penulisan laporan ini.

Semarang, 30 Juni 2025

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Jonathan Teddy Wijaya', enclosed within a hand-drawn triangular border.

Jonathan Teddy Wijaya

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN LAPORAN TUGAS AKHIR	ii
HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	16
1.1 Latar Belakang	16
1.2 Perumusan Masalah.....	18
1.3 Tujuan Tugas Akhir	18
1.4 Manfaat Tugas Akhir	19
1.5 Batasan Masalah.....	19
1.6 Sistematika Penulisan Laporan Tugas Akhir.....	20
BAB II LANDASAN TEORI	22
2.1 Tinjauan Pustaka.....	22
2.2 Landasan Teori	23
2.2.1 Pasteurisasi Susu.....	24
2.2.2 Metode <i>Pulsed Electric Field</i> (PEF).....	25
2.2.3 Pembangkit Tegangan Tinggi	29
2.2.4 Power <i>Supply</i> SMPS	32
2.2.5 <i>ACCU</i> (Akumulator).....	35
2.2.6 <i>Automatic Transfer Switch</i> (ATS).....	36
2.2.7 Modul <i>Digital Delay Timer</i>	37
2.2.8 <i>Boost Converter</i> 15 A 400 Watt	38
2.2.9 PWM Generator	40

2.2.10 Modul Dual MOSFET D4184	42
2.2.11 Modul <i>Zero Voltage Switching</i> (ZVS)	45
2.2.12 Transformator <i>Flyback</i> 6174V-6006E	47
2.2.13 Ruang Perlakuan (<i>Treatment Chamber</i>)	50
2.2.14 Batang Elektroda.....	51
BAB III PERANCANGAN TUGAS AKHIR	53
3.1 Prosedur Pembuatan Tugas Akhir	53
3.2 Prosedur Pengumpulan Data	54
3.3 Perancangan <i>Hardware</i>	55
3.3.1 Blok Diagram Sistem Pembangkit Tegangan Tinggi.....	55
3.3.2 Cara Kerja Blok Diagram Sistem Pembangkit Tegangan Tinggi	56
3.3.3 Blok Diagram Pasteurisasi Susu Dengan Metode PEF	58
3.3.4 Cara Kerja Blok Diagram Pasteurisasi Susu Dengan Metode PEF	59
3.4 Perancangan <i>Flowchart</i>	60
3.4.1 <i>Flowchart</i> Sistem Pembangkit Tegangan Tinggi.....	60
3.4.2 Cara Kerja <i>Flowchart</i> Sistem Pembangkit Tegangan Tinggi	61
3.4.3 <i>Flowchart</i> Proses Pasteurisasi Susu Dengan Metode PEF	62
3.4.4 Cara Kerja <i>Flowchart</i> Pasteurisasi Susu Dengan Metode PEF	62
3.5 Diagram Wiring Sistem Pembangkit Tegangan Tinggi Untuk Pasteurisasi Dengan Metode <i>Pulsed Electric Field</i> (PEF).....	63
3.5.1 Perancangan Diagram Wiring Koneksi Input Catu Daya	64
3.5.2 Perancangan Diagram Wiring Koneksi Kontrol Sinyal PWM	64
3.5.3 Perancangan Diagram Wiring Koneksi Kontrol <i>Boost Converter</i>	65
3.5.4 Perancangan Diagram Wiring Koneksi Kontrol Modul <i>Timer</i>	65
3.5.5 Perancangan Diagram Wiring Koneksi Transformator <i>Flyback</i>	66
3.6 Perancangan Tegangan Tinggi Untuk Pasteurisasi Susu	67
3.7 Desain 2D Alat Pembangkit Tegangan Tinggi	68
BAB IV PROSES PEMBUATAN ALAT	71
4.1 Pembuatan Desain Alat	71
4.2 Pembuatan Sistem Mekanik	74
4.2.1 Tahap Persiapan	74

4.2.2 Proses pembuatan	75
4.3 Pembuatan Sistem Elektronik	77
4.3.1 Tahap Persiapan	78
4.3.2 Proses Perakitan	79
BAB V HASIL DAN ANALISIS	81
5.1 Persiapan Pengukuran dan Pengujian Pada Sistem Pembangkit Tegangan Tinggi.....	81
5.2 Pengukuran dan Pengujian Pada Sistem Pembangkit Tegangan Tinggi.....	82
5.2.1 Hasil dan Analisis Pengukuran Tegangan Masukan ZVS.....	83
5.2.2 Hasil dan Analisis Pengukuran Tegangan Keluaran ZVS.....	86
5.2.3 Hasil dan Analisis Pengujian Bentuk Gelombang Keluaran ZVS.....	88
5.2.4 Hasil dan Analisis Pengukuran Tegangan Keluaran Transformator <i>Flyback</i>	89
5.2.5 Hasil dan Analisis Pengujian Bentuk Gelombang Keluaran Transformator <i>Flyback</i>	92
5.3 Persiapan Pasteurisasi Susu dengan Metode <i>Pulsed Electric Field</i> (PEF)...	93
5.4 Proses Pasteurisasi Susu dengan Metode <i>Pulsed Electric Field</i> (PEF).....	95
5.5 Hasil Pasteurisasi Susu dengan Metode <i>Pulsed Electric Field</i> (PEF).....	97
5.6 Hasil dan Analisa Perhitungan Efisiensi Daya Driver ZVS	98
BAB VI PENUTUP	100
6.1 Kesimpulan.....	100
6.2 Saran.....	101
DAFTAR PUSTAKA.....	102
LAMPIRAN.....	104

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Syarat mutu pasteurisasi susu sesuai SNI 01-3951-1995	24
Tabel 2. 2 Spesifikasi power supply SMPS	33
Tabel 2. 3 Spesifikasi modul <i>digital delay timer</i>	37
Tabel 2. 4 Spesifikasi boost converter 15 A	39
Tabel 2. 5 Spesifikasi modul PWM generator	41
Tabel 2. 6 Spesifikasi modul dual MOSFET D4184	44
Tabel 2. 7 Spesifikasi modul ZVS	45
Tabel 2. 8 Konfigurasi pin transformator flyback 6174-6006E.....	48
Tabel 4. 1 Bahan - bahan untuk pembuatan kerangka alat	74
Tabel 4. 2 Alat - alat untuk pembuatan kerangka alat	75
Tabel 4. 3 Alat - alat untuk pembuatan sistem elektronik	78
Tabel 4. 4 Bahan - bahan untuk sistem elektronik.....	78
Tabel 5. 1 Hasil tahap 1 pengukuran tegangan masukan ZVS	83
Tabel 5. 2 Hasil tahap 2 pengukuran tegangan masukan ZVS	84
Tabel 5. 3 Hasil tahap 3 pengukuran tegangan masukan ZVS	84
Tabel 5. 4 Hasil pengukuran tegangan keluaran ZVS	86
Tabel 5. 5 Hasil pengukuran tegangan keluaran ZVS	86
Tabel 5. 6 Hasil pengukuran tegangan keluaran ZVS	87
Tabel 5. 7 Bentuk gelombang keluaran driver ZVS	88
Tabel 5. 8 Hasil pengukuran tegangan keluaran transformator flyback	90
Tabel 5. 9 Hasil pengukuran tegangan keluaran transformator flyback	90
Tabel 5. 10 Hasil pengukuran tegangan keluaran transformator flyback	91
Tabel 5. 11 Hasil pengujian bentuk gelombang keluaran transformator flyback ..	92
Tabel 5. 12 Hasil pemeriksaan jumlah bakteri pada susu.....	97

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Alur metode Pulsed Electric Field (PEF).....	26
Gambar 2. 2 gelombang AC sinusoidal	30
Gambar 2. 3 gelombang DC murni	31
Gambar 2. 4 gelombang (a) impuls petir; (b) impuls hubung buka	32
Gambar 2. 5 Power Supply Switching.....	33
Gambar 2. 6 Diagram blok rangkaian SMPS	33
Gambar 2. 7 ACCU (akumulator).....	35
Gambar 2. 8 (a) Relai 12 V; (b) Wiring skematik modul ATS dengan relai	36
Gambar 2. 9 Modul digital delay timer	37
Gambar 2. 10 Modul boost converter	38
Gambar 2. 11 Rangkaian sederhana boost converter.....	39
Gambar 2. 12 Modul PWM generator	40
Gambar 2. 13 Bentuk gelombang duty cycle	42
Gambar 2. 14 Konfigurasi kaki/pin MOSFET	43
Gambar 2. 15 Modul dual MOSFET D4184	44
Gambar 2. 16 Modul ZVS	45
Gambar 2. 17 Rangkaian modul ZVS	46
Gambar 2. 18 Transformator flyback 6174V-6006E	47
Gambar 2. 19 Konfigurasi pin transformator flyback 6174-6006E.....	48
Gambar 2. 20 Ruang perlakuan dengan sistem (a) batch; (b) koaksial	50
Gambar 2. 21 Batang elektroda	51
Gambar 3. 1 Flowchart pembuatan tugas akhir	53
Gambar 3. 2 Blok diagram rangkaian Sistem pembangkit tegangan tinggi	55
Gambar 3. 3 Blok diagram Pasteurisasi susu dengan metode PEF	58
Gambar 3. 4 Flowchart sistem pembangkit tegangan tinggi	60
Gambar 3. 5 Flowchart proses pasteurisasi dengan metode PEF	62
Gambar 3. 6 Wiring diagram rangkaian sistem pembangkit tegangan tinggi	63
Gambar 3. 7 Wiring koneksi input catu daya	64
Gambar 3. 8 Wiring koneksi modul PWM	64

Gambar 3. 9	Wiring koneksi boost converter	65
Gambar 3. 10	Wiring koneksi modul timer	65
Gambar 3. 11	Wiring koneksi transformator flyback	66
Gambar 3. 12	Wiring perancangan tegangan tinggi untuk pasteurisasi susu	67
Gambar 3. 13	Desain 2D tampak dalam box.....	68
Gambar 3. 14	Desain 2D tampak luar atas	69
Gambar 3. 15	Desain 2D tampak samping kiri dan kanan dalam box	70
Gambar 4. 1	Proses pembuatan desain 3D alat	71
Gambar 4. 2	Langkah - langkah dasar pengoperasian Fusion 360	72
Gambar 4. 3	Desain bagian dalam box.....	73
Gambar 4. 4	Desain keseluruhan alat	73
Gambar 4. 5	Proses pemotongan dan pengeleman papan kayu.....	75
Gambar 4. 6	Proses pengamplasan dan pengecatan box	76
Gambar 4. 7	Proses pemasangan list siku dan pemasangan modul pada box	76
Gambar 4. 8	Proses pengeboran papan Akrilik	77
Gambar 4. 9	Hasil pengeboran papan akrilik	77
Gambar 4. 10	Proses pengecekan tiap - tiap modul	79
Gambar 4. 11	Pemasangan modul pada akrilik	80
Gambar 4. 12	Pemasangan modul pada box.....	80
Gambar 5. 1	Proses pasteurisasi susu PEF	96
Gambar 5. 2	Pengukuran arus pada sisi primer transformator flyback	96
Gambar 5. 3	Proses pemeriksaan sampel susu	97
Gambar 5. 4	Grafik hubungan jumlah bakteri dan waktu perlakuan.....	98