

# PERANCANGAN PEMBANGKIT TEGANGAN TINGGI IMPULS UNTUK APLIKASI PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI MINUMAN RINGAN DENGAN TEKNOLOGI PLASMA LUCUTAN KORONA

Fajar Arifin<sup>1</sup>, Agung Warsito<sup>2</sup>, Abdul Syakur<sup>2</sup>  
 Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik – Universitas Diponegoro  
 Jl. Prof. Soedarto SH Tembalang, Semarang 50275

email : [thetazpithe@yahoo.com](mailto:thetazpithe@yahoo.com), [a.warsito@elektro.ft.undip.ac.id](mailto:a.warsito@elektro.ft.undip.ac.id), [gakusei2003@yahoo.com](mailto:gakusei2003@yahoo.com)

## ABSTRAK

*Pencemaran lingkungan akibat polusi di tanah, air dan udara semakin bertambah kompleks. Polusi air dari berbagai aktifitas industri dan domestik semakin meningkat dari tahun ke tahun. Dan tidak sedikit akibat dari polusi ini sudah mulai dirasakan. Untuk mengatasi polusi ada tiga hal yang menjadi perhatian utama, yaitu kebijakan serta manajemen lingkungan, kesadaran lingkungan dari segenap unsur masyarakat, dan yang terakhir adalah pemanfaatan teknologi yang tepat dalam mengatasi berbagai macam polusi. Salah satu cara menanggulangi masalah pencemaran air atau polusi air dapat dilakukan dengan memanfaatkan peristiwa plasma lucutan korona. Plasma lucutan korona dapat terbentuk dengan menerapkan tegangan tinggi pada dua buah elektroda yang dihadapkan dengan jarak tertentu. Namun peralatan pembangkit tegangan tinggi yang ada sekarang ini masih dalam sistem yang besar, susah dalam penggunaannya, mahal dan tidak portabel sehingga kurang efektif digunakan untuk aplikasi praktis dalam membangkitkan plasma lucutan korona.*

*Mengingat pentingnya peralatan pembangkit tegangan tinggi tersebut, maka dengan tugas akhir ini diharapkan diperoleh suatu alat pembangkit tegangan tinggi yang portabel, mudah dalam pengoperasian dan murah pembuatannya. Sehingga peralatan pembangkit tegangan tinggi tersebut dapat digunakan untuk membangkitkan plasma lucutan korona yang dapat diaplikasikan dalam pengolahan limbah cair industri minuman ringan. Dengan penambahan aliran gas oksigen pada reaktor plasma lucutan korona sebagai bahan yang terionisasi untuk memproduksi ozon diharapkan pengolahan limbah cair industri minuman ringan dapat lebih efektif. Pembangkit tegangan tinggi yang dibuat adalah pembangkit tegangan tinggi impuls menggunakan transformator flyback, sedangkan reaktor plasma lucutan korona dibangun dengan konfigurasi geometri elektroda jarum-bidang.*

*Hasil pengujian menunjukkan peralatan tegangan tinggi menghasilkan tegangan tinggi keluaran berbentuk impuls bervariasi tegangan puncaknya antara 0 volt sampai 20 kilo volt dengan frekuensi 6246 Hertz sampai 6811 Hertz. Plasma lucutan korona yang terbentuk sebanding dengan tegangan tinggi yang diterapkan, semakin besar tegangan tinggi yang diterapkan maka plasma lucutan korona yang dihasilkan semakin panjang dan besar filamen lucutannya. Pengolahan limbah cair industri minuman ringan menggunakan teknologi plasma lucutan korona sangat efektif. Perubahan tegangan dan jumlah sirkulasi mempengaruhi persentase penurunan kadar COD, TSS dan warna sampel limbah cair industri minuman ringan. Sedangkan perubahan frekuensi tidak berpengaruh signifikan. Persentase penurunan terbesar kadar COD, TSS dan warna sampel limbah cair industri minuman ringan diperoleh pada tegangan 18 kilo Volt setelah sirkulasi keenam. Nilainya secara berturut – turut adalah 98,72 %, 98,66 % dan 99,05 %.*

**Kata kunci :** Tegangan tinggi impuls, transformator flyback, plasma lucutan korona, Ozon, limbah cair industri minuman ringan

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pencemaran lingkungan akibat polusi di tanah, air dan udara semakin bertambah kompleks. Polusi air dari berbagai aktifitas industri dan limbah domestik semakin meningkat dari tahun ke tahun. Dan tidak sedikit akibat dari polusi ini sudah mulai dirasakan. Untuk mengatasi polusi ada tiga hal yang menjadi perhatian utama, yaitu kebijakan serta manajemen lingkungan, kesadaran lingkungan dari segenap unsur masyarakat, dan yang terakhir adalah pemanfaatan teknologi yang tepat dalam mengatasi berbagai macam polusi.

Untuk menanggulangi masalah pencemaran air atau polusi air dapat dilakukan salah satu caranya dengan memanfaatkan peristiwa plasma lucutan korona. Pada dasarnya proses ini adalah proses pembentukan ozon, ion hidroksil dan radikal bebas yang berfungsi untuk memecah zat organik pada limbah cair. Cara kerjanya, limbah cair dikenai plasma lucutan korona tadi. Sedangkan plasma lucutan korona dapat terbentuk dengan menerapkan tegangan tinggi pada dua buah elektroda yang dihadapkan dengan jarak tertentu.

Tegangan tinggi dapat diperoleh dari peralatan pembangkit tegangan tinggi bolak-balik (AC), pembangkit tegangan tinggi seara (DC) dan pembangkit tegangan tinggi impuls. Namun peralatan pembangkit tegangan tinggi yang ada sekarang ini masih dalam sistem yang besar, susah dalam penggunaannya, mahal dan tidak portabel sehingga kurang efisien digunakan untuk aplikasi praktis dalam membangkitkan plasma lucutan korona.

Untuk itu dibutuhkan sebuah alat pembangkit tegangan tinggi yang mampu digunakan untuk membangkitkan plasma lucutan korona yang dapat digunakan untuk pengolahan limbah cair secara portabel dan tidak terlalu memakan banyak tempat, mudah pengoperasiannya dan murah dalam pembuatannya.

### 1.2 Tujuan

Tujuan yang hendak dicapai dari tugas akhir ini adalah membuat suatu alat pembangkit tegangan tinggi impuls yang dapat diaplikasikan untuk mengolah limbah cair industri minuman ringan dalam hal penurunan kadar warna, COD (*Chemical Oxygen Demand*) dan TSS (*Total Suspended Solid*) dengan teknologi plasma lucutan korona.

### 1.3 Batasan Masalah

Pada Tugas Akhir ini, pembahasan dibatasi pada batasan-batasan berikut ini :

1. Pembangkitan tegangan tinggi impuls menggunakan transformator *flyback*.
2. Ruang reaktor plasma lucutan korona dengan elektroda positif jarum terbuat dari kawat tembaga berdiameter 1,5 mm dan elektroda negatif bidang dari lempengan tembaga.
3. Limbah yang digunakan untuk pengujian adalah sampel limbah cair industri minuman ringan (*soft drink*) PT. SINAR SOSRO Ungaran, dengan parameter uji adalah warna, COD dan TSS dari limbah tersebut.

4. Membahas efek penggunaan tegangan tinggi impuls untuk mengolah limbah cair sebagai fungsi besarnya tegangan.
5. Membahas efek penggunaan tegangan tinggi impuls untuk mengolah limbah cair sebagai fungsi banyaknya sirkulasi.
6. Tidak mengukur besarnya nilai konsentrasi ozon yang dihasilkan karena adanya aliran gas oksigen.
7. Tidak membahas pengaruh kecepatan aliran gas oksigen terhadap banyaknya konsentrasi ozon yang terbentuk dan pengaruhnya pada proses pengolahan limbah cair.
8. Tidak membahas secara mendetail reaksi kimia yang terjadi selama proses.

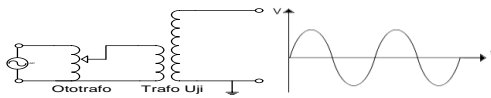
**II. DASAR TEORI**

**2.1 Pembangkit Tegangan Tinggi**

Secara garis besar pembangkit tegangan tinggi terdiri atas pembangkit tegangan tinggi bolak-balik (AC), pembangkit tegangan tinggi searah (DC) dan pembangkit tegangan tinggi impuls.

**2.1.1 Pembangkit Tegangan Tinggi Bolak-Balik (AC)**

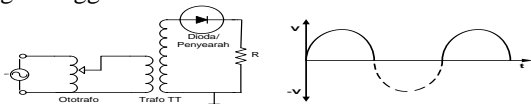
Tegangan tinggi bolak-balik diperoleh dari suatu trafo satu fasa yang biasa disebut trafo uji dengan perbandingan belitan yang jauh lebih besar daripada trafo daya. Rangkaian pembangkitan tegangan tinggi bolak-balik ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Rangkaian pembangkit tegangan tinggi AC dan gelombang keluarannya

**2.1.2 Pembangkit Tegangan Tinggi Searah (DC)**

Tegangan tinggi searah dibangkitkan dengan menyearahkan tegangan tinggi bolak-balik. Rangkaian sama dengan rangkaian penyearah peralatan elektronika, tetapi semua komponen dirancang untuk mampu memikul tegangan tinggi.



Gambar 2.2. Rangkaian Pembangkit tegangan tinggi DC dan gelombang keluarannya

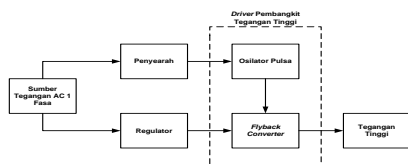
**2.1.3 Pembangkit Tegangan Tinggi Impuls**

Ada tiga bentuk tegangan impuls yang mungkin dialami sistem tenaga listrik yaitu: tegangan impuls petir, tegangan impuls surja hubung, dan tegangan impuls terpotong. Bentuk ketiga jenis tegangan impuls dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. Jenis tegangan impuls

Alat pembangkit tegangan tinggi impuls antara lain adalah generator impuls RLC, generator impuls RC, generator marx, dan generator impuls rangkaian *flyback converter*. Dalam penelitian ini digunakan *flyback converter*, blok diagramnya dapat ditunjukkan pada gambar 2.4 berikut ini :



Gambar 2.4. Blok diagram pembangkit TT impuls dengan *flyback converter*

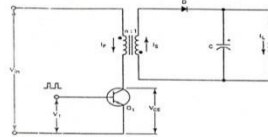
**2.2 Penyearah (Rectifier)**

Rangkaian penyearah adalah suatu rangkaian yang mengubah tegangan bolak-balik (ac) menjadi tegangan searah (dc). Macam-macam penyearah :

1. Penyearah Setengah Gelombang
2. Penyearah Gelombang Penuh Dengan Tap Tengah
3. Penyearah Jembatan (*bridge*)

**2.3 Flyback Converter**

Sebuah *Flyback Converter* dapat dilihat seperti pada gambar 2.5. Rangkaian tersebut terdiri atas sebuah transistor frekuensi tinggi, transformator, sumber tegangan searah, dan sumber tegangan gelombang kotak.



Gambar 2.5. Flyback Converter



Gambar 2.6. Bentuk Gelombang Flyback Converter

Bentuk gelombang masukan dan keluaran dari *Flyback Converter* dapat dilihat seperti pada gambar 2.6 di atas. Pensaklaran transistor dengan menggunakan *Flyback Converter* harus memperhatikan tegangan puncak kolektor pada saat mati dan arus puncak kolektor pada saat hidup.

**2.4 Plasma**

Kata plasma berasal dari bahasa Yunani yaitu *plasma*, yang berarti “*something formed or melded*”. Konsep tentang plasma pertama kali dikemukakan oleh Langmuir dan Tonks pada tahun 1928. Mereka mendefinisikan plasma sebagai gas yang terionisasi dalam lucutan listrik. Secara sederhana plasma didefinisikan sebagai gas terionisasi dan dikenal sebagai fase materi ke empat setelah fase padat, cair dan gas.

Solid	Liquid	Gas	Plasma
Material: H <sub>2</sub> O	Material: H <sub>2</sub> O	Material: H <sub>2</sub> O	Material: H <sub>2</sub> O
Temp: T = 0°C	Temp: T = 100°C	Temp: T = 100°C	Temp: T = 1000000°C
Material: Found in Lakes	Material: Found in Rivers	Material: Found in Atmosphere, Large Spaces	Material: Found in Stars, Planets, Interplanetary Space

Gambar 2.7. Ilustrasi Fase Materi Keempat Setelah Padat, Cair dan Gas Beberapa proses yang terjadi dalam plasma:

- a. Ionisasi
- b. Rekombinasi
- c. Dissosiasi
- d. Eksitasi

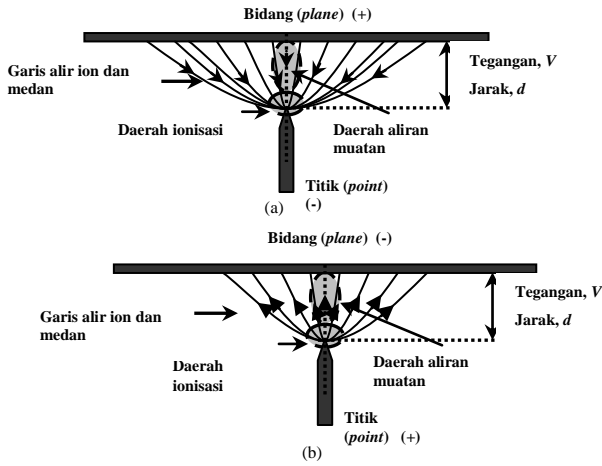
**2.5 Lucutan Korona sebagai Pembangkit Plasma**

Lucutan korona bisa terjadi dalam medan listrik tak seragam yang intensitas medannya cukup besar tetapi belum mampu mengakibatkan terjadinya keadaan arc (*arc discharge*) pada gas. Pijaran korona bisa terjadi pada ujung elektroda aktif. Lucutan pijar korona dapat terjadi diawali oleh lucutan *Townsend* kemudian diikuti oleh lucutan pijar (*glow discharge*) atau korona (*corona discharge*) dan berakhir dengan lucutan arc. Lucutan korona ini termasuk jenis plasma *non thermal*.



Gambar 2.8. Ilustrasi dari (a) Plasma lucutan korona (b) Lucutan arc

Pada gambar 2.9 ditunjukkan daerah dalam lucutan pijar korona antara dua elektroda dengan konfigurasi geometri *hyperboloid*-bidang yang merupakan pendekatan terhadap geometri titik-bidang.



Gambar 2.9. Ilustrasi daerah antara dua elektroda pada lucutan korona titik bidang: (a) polaritas negatif pada elektroda titik (b) polaritas positif pada elektroda titik

Penerapan lucutan korona di bidang komersial dan industri adalah :

- Pembuatan ozon, sterilisasi air kolam, menghilangkan berbagai organik teruap yang tak diinginkan, seperti pestisida kimia, pelarut atau bahan kimia dari atmosfer.
- Pengion udara yang baik buat kesehatan.
- Fotografi Kirlian menggunakan foton yang dihasilkan oleh lucutan untuk mengekspos film fotografik.
- Laser nitrogen.
- Ionisasinya cuplikan gas untuk analisa subsekuen dalam sebuah spektrometer massa maupun spektrometer mobilitas ion.

**2.6 Ozon (O<sub>3</sub>)**

Ozon adalah molekul triatomik. Ozon terletak di stratosfer yaitu pada ketinggian antara 15 sampai 30 km dari permukaan air laut yang biasa dikenal dengan lapisan ozon. Ozon dapat terbentuk melalui dua proses yang berbeda, yaitu melalui proses tumbukan dan melalui proses penyerapan cahaya.

Tabel 2.1 Struktur alotropik ozon

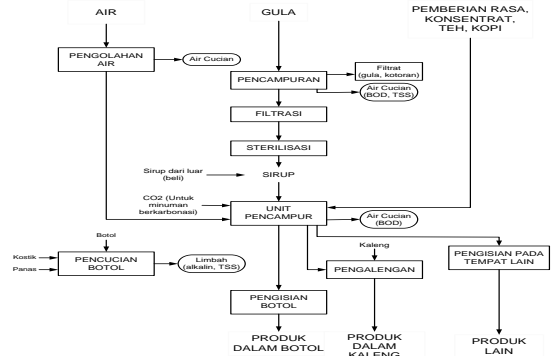
No	Keterangan	
1	Nama Sistematis	Trioxxygen
2	Formula Molekul	O <sub>3</sub>
3	Penampakan	gas berwarna kebiru-biruan
4	Kepadatan	2.144 g·L <sup>-1</sup> (0 °C),
5	Bentuk zat	gas
6	Daya larut dalam air	0.105 g·100mL <sup>-1</sup> (0 °C)
7	Titik beku	80.7 K, -192.5 °C
8	Titik didih	161.3 K, -111.9 °C
9	Standar entalpi (ΔfH°)solid	+142.3 kJ·mol <sup>-1</sup>
10	Standar entropi (S°)solid	237.7 J·K <sup>-1</sup> ·mol <sup>-1</sup>

Pemanfaatan ozon untuk pengolahan limbah menghasilkan senyawa yang diterima oleh lingkungan. Dalam bidang perindustrian, ozon dapat digunakan untuk :

- Membasmi kuman sebelum dikemas (antiseptik).
- Menghilangkan pencemaran dalam air (sterilisasi).
- Membantu kepada proses *flocculation* (proses pengabungan molekul dan membantu penapis menghilangkan besi dan arsenik).
- Mencuci, dan memutihkan kain.
- Membantu pewarnaan plastik.
- Sebagai bahan pengawet makanan.

**2.7 Industri Minuman Ringan**

Industri minuman ringan adalah industri yang menghasilkan minuman yang tidak mengandung alkohol, merupakan minuman olahan dalam bentuk bubuk atau cair yang mengandung bahan makanan dan / atau bahan tambahan lainnya baik alami maupun sintetik yang dikemas dalam kemasan siap untuk dikonsumsi. Proses Pembuatan minuman ringan dapat dilihat pada gambar berikut:

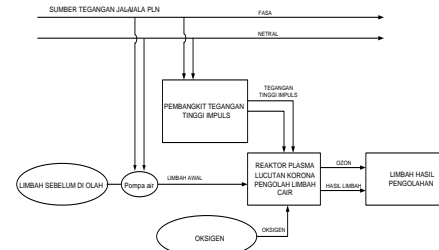


Gambar 2.10. Proses produksi minuman ringan

Dari proses-proses yang terjadi pada industri, air limbahnya banyak mengandung substansi yang berpengaruh besar pada kadar BOD, COD, TSS, pH, warna dan kandungan minyak dan lemak. Setiap proses dalam industri menghasilkan tingkat pencemaran yang berbeda.

**III. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT**

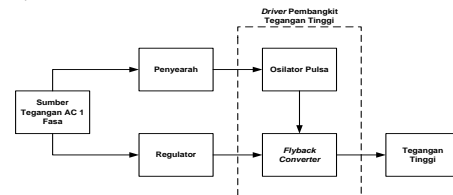
Perancangan pembangkit tegangan tinggi impuls untuk aplikasi pengolahan limbah cair industri minuman ringan dengan teknologi plasma lucutan korona ini terdiri dari pembangkitan tegangan tinggi impuls, reaktor plasma lucutan korona pengolah limbah cair, pompa air aquarium dan oksigen.



Gambar 3.1. Blok diagram alat

**2.4 Pembangkit Tegangan Tinggi Impuls**

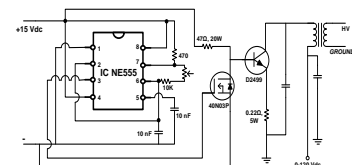
Pembangkit tegangan tinggi impuls yang dibuat secara umum terbagi menjadi tiga bagian yaitu penyearah (*rectifier*), regulator tegangan dan *driver* pembangkit tegangan tinggi impuls. Diagram bloknya dapat dilihat pada gambar 3.2 berikut ini :



Gambar 3.2. Blok diagram pembangkit tegangan tinggi

**3.1.1 Driver Pembangkit Tegangan Tinggi Impuls**

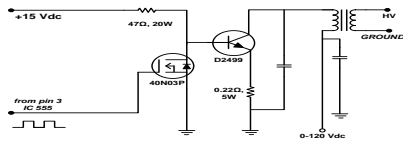
*Driver* pembangkit tegangan tinggi impuls yang dibuat terdiri dari dua bagian utama yaitu rangkaian daya dengan menggunakan rangkaian *flyback converter* dan rangkaian kontrol yaitu osilator pulsa dengan menggunakan IC NE555. Skema rangkaian dapat dilihat seperti gambar 3.3 di bawah ini :



Gambar 3.3. Skema rangkaian driver pembangkit tegangan tinggi

**a. Flyback Converter**

Skema rangkaian dari *flyback converter* dapat diperlihatkan pada gambar 3.4 di bawah ini :

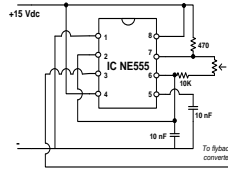


Gambar 3.4. Skema rangkaian flyback converter

Flyback converter yang dipakai menggunakan trafo flyback dengan sumber tegangan masukan tegangan searah yang dapat divariasikan dari 0 sampai 120 volt, mosfet 40N03P dan transistor D2499. Mosfet 40N03P berfungsi sebagai penegas sinyal kotak yang dihasilkan dari keluaran kaki 3 dari IC NE555, sedangkan transistor D2499 berfungsi sebagai saklar yang bekerja sangat cepat.

**b. Rangkaian Osilator Pulsa**

Rangkaian osilator pulsa yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.5 di bawah ini :

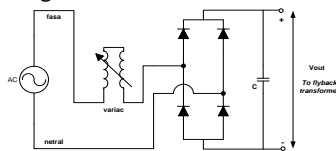


Gambar 3.5. Rangkaian osilator pulsa

Rangkaian osilator pulsa ini menggunakan IC NE555. IC NE555 adalah IC yang bisa digunakan untuk membangkitkan sinyal kotak. Rangkaian osilator pulsa ini berfungsi menghasilkan sinyal kotak dengan *duty cycle* 50% frekuensi 6246 Hz – 6811 Hz yang digunakan untuk memicu transistor D2499.

**3.1.2 Regulator Tegangan**

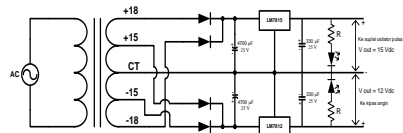
Regulator tegangan berfungsi untuk suplai tegangan searah (DC) ke trafo flyback. Rangkaian regulator tegangan ini menggunakan variac dengan kapasitas 500 VA yang disearahkan dengan penyearah tipe jembatan dan diberikan filter kapasitor. Skema dari rangkaian regulator tegangan ini dapat dilihat pada gambar 3.6 di bawah ini :



Gambar 3.6. Skema rangkaian regulator tegangan

**3.1.3 Penyearah (Rectifier)**

Penyearah (*Rectifier*) berfungsi untuk mengubah tegangan bolak-balik (AC) menjadi tegangan searah (DC). Pada alat pembangkit tegangan tinggi impuls ini, penyearah berfungsi sebagai penyedia suplai tegangan DC untuk rangkaian osilator pulsa dan kipas angin. Untuk suplai rangkaian osilator pulsa diperlukan +15 Vdc dan untuk kipas angin diperlukan +12Vdc.

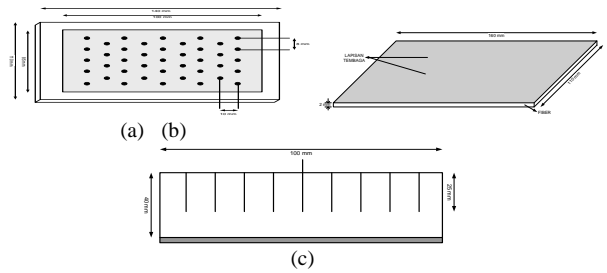


Gambar 3.7. Skema rangkaian penyearah tegangan

Agar tegangan konstan +15 Vdc dan +12 Vdc maka digunakan IC regulator LM7815 dan LM7812.

**3.2 Reaktor Plasma Lucutan Korona Pengolah Limbah Cair**

Reaktor plasma lucutan korona pengolah limbah cair menggunakan konfigurasi elektroda jarum-bidang (*needle to plate electrode*) yang diberi jarak sela udara. Bentuk dan gambar elektroda pada reaktor plasma lucutan korona ini dapat dilihat pada gambar 3.8 berikut ini :

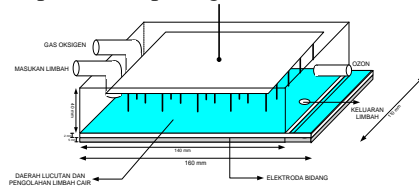


Gambar 3.8. Konfigurasi elektroda reaktor plasma lucutan korona

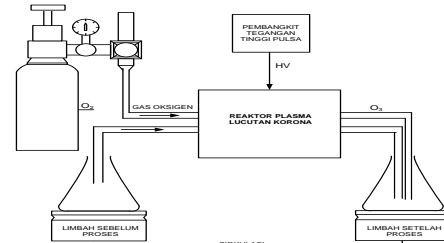
- (a) Elektroda positif / jarum
- (b) Elektroda negatif / bidang
- (c) Bentuk elektroda tampak dari samping

Jarum yang digunakan sebagai elektroda positif terbuat dari kawat tembaga dengan diameter 15 mm dan panjang 25 mm yang masing-masing dipisahkan dengan jarak 8 mm dan 10 mm. Sedangkan untuk elektroda negatif yang berupa bidang terbuat dari bahan tembaga dengan panjang 160 mm dan lebar 110 mm. Antara elektroda jarum dan bidang diberikan sela udara dengan jarak 15 mm yang berfungsi sebagai daerah lucutan korona, aliran gas oksigen dan limbah cair.

Skematik reaktor plasma lucutan korona pengolah limbah cair dapat dilihat pada gambar 3.9 berikut ini :



Gambar 3.9. Reaktor plasma lucutan korona elektroda jarum – bidang Secara lengkap skema peralatan ditunjukkan pada gambar 3.10 berikut ini :



Gambar 3.10. Skema reaktor plasma lucutan korona pengolah limbah cair

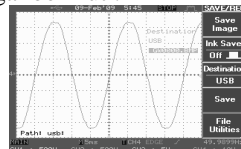
**IV. PENGUJIAN DAN ANALISA**

Pengujian dan analisa peralatan meliputi pengukuran pembangkit tegangan tinggi dan aplikasinya untuk pengolahan limbah cair industri minuman ringan dengan teknologi plasma lucutan korona.

**4.1 Pengukuran Pembangkit Tegangan Tinggi Impuls**

**4.1.1 Pengukuran Tegangan Jala-Jala PLN**

Pengukuran pertama yang dilakukan yaitu mengukur nilai sumber tegangan jala – jala PLN satu fasa. Bentuk dan besarnya tegangan dapat dilihat seperti pada gambar 4.1 sebagai berikut :



$$V_p = 3,2 \text{ div} \times 10\text{V/div} \times 10 = 320 \text{ Volt}$$

$$f = 1/T = 1/20\text{ms} = 50 \text{ Hz}$$

Gambar 4.1 Tegangan Jala-jala PLN 10 V/div, 5 ms/div, probe x 10 Dan apabila dihitung tegangan rata-ratanya adalah

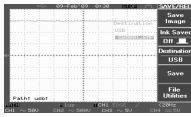
$$V_{rms} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} = \frac{320}{\sqrt{2}} = 226\text{Volt} \quad (4.1)$$

Dari gambar 4.1 terlihat bahwa 1 gelombang penuh sebesar 4 div sehingga dapat dihitung besarnya frekuensi

tegangan jala-jala PLN 20 ms. Sehingga didapat besarnya frekuensi adalah 50 Hz.

**4.1.2 Pengukuran Penyearah Tegangan ( Rectifier ).**

Tegangan keluaran dari IC regulator LM7815 dapat dilihat pada gambar 4.2 di bawah ini :



$$V_{dc} = 3 \text{ div} \times 5V/\text{div} = 15 \text{ volt}$$

Gambar 4.2. Tegangan keluaran IC LM7815, Probe X1, 5 Volt/div

Tegangan keluaran dari IC regulator LM7812 dapat dilihat pada gambar 4.3 di bawah ini :

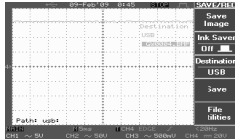


$$V_{dc} = 2,4 \text{ div} \times 5V/\text{div} = 12 \text{ volt}$$

Gambar 4.3. Tegangan keluaran IC LM7812, Probe X1, 5 Volt/div

**4.1.3 Pengukuran Tegangan Pada Regulator Tegangan**

Tegangan keluarannya dapat dilihat pada gambar 4.4 di bawah ini :



Gambar 4.4. Tegangan keluaran penyearah tipe jembatan pada regulator tegangan, Probe X1, 20Volt/div

Dari gambar 4.4 terlihat bahwa bentuk gelombang keluaran regulator tegangan adalah DC murni. Hal ini menunjukkan penyearah jembatan dan filter kapasitor yang dipakai bekerja dengan baik.

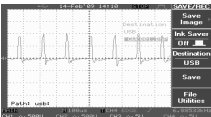
**4.1.4 Pengukuran pada Transformator Flyback**

Pengukuran yang dilakukan sebanyak tiga kali dengan tegangan keluaran yang berbeda yaitu :



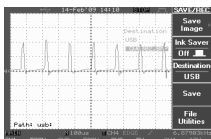
$$V_p = 1 \text{ div} \times 1V/\text{div} \times 1000 = 1000 \text{ Volt} = 1 \text{ kV}$$

Gambar 4.5. Tegangan keluaran trafo flyback pada pengukuran pertama, Probe X1000, 1 Volt/div



$$V_p = 2 \text{ div} \times 5V/\text{div} \times 1000 = 10000 \text{ Volt} = 10 \text{ kV}$$

Gambar 4.6. Tegangan keluaran trafo flyback pada pengukuran kedua, Probe X1000, 5 Volt/div



$$V_p = 2 \text{ div} \times 10V/\text{div} \times 1000 = 20000 \text{ Volt} = 20 \text{ kV}$$

Gambar 4.7. Tegangan keluaran trafo flyback pada pengukuran ketiga, Probe X1000, 10 Volt/div

**4.2 Karakteristik Plasma Lucutan Korona terhadap Tegangan**

Plasma yang dihasilkan pada reaktor ini adalah lucutan korona berbentuk streamer atau glow. karakteristiknya adalah memiliki banyak plasma channel namun energi pada masing – masing channel relatif kecil. Bentuk lucutan korona streamer/glow dipilih karena lebih efektif dalam memungkinkan kontak antara spesies aktif dengan seluruh permukaan sampel limbah cair pada waktu yang bersamaan.



Ket : Warna hijau kekuningan menunjukkan filamen lucutan korona yang sebenarnya berwarna ungu

Gambar 4.8. Plasma lucutan korona yang terbentuk pada (a) tegangan 16 kV, (b) tegangan 17 kV, (c) tegangan 18 kV

Dari gambar 4.8 dapat dilihat dari bentuk lucutan korona, semakin besar energi yang dimiliki, maka bentuk lucutan koronanya terlihat semakin panjang dan filamennya semakin besar. Tegangan maksimum yang digunakan pada penelitian ini adalah 18 kVolt. Penggunaan tegangan lebih dari 18 kVolt pada reaktor yang telah dialiri limbah akan menyebabkan terbentuknya fase breakdown atau spark discharge. Fenomena ini terjadi karena energi yang diberikan terlalu besar, sehingga lucutan korona glow berubah menjadi lucutan arc yang dapat mencapai elektroda berlawanan (ground). Bentuk arc dapat menghasilkan intensitas UV yang lebih tinggi dibanding dengan glow, namun seluruh energi yang ada terfokus pada satu titik (channel). Dalam penelitian ini bentuk tersebut tidak efektif karena plasma lucutan korona akan terfokus pada satu titik saja, sedangkan sampel limbah cair mengalir diseluruh bidang yang berbentuk kotak. Kondisi ini akan membuat kontak plasma lucutan korona dengan seluruh sampel limbah cair pada waktu yang bersamaan menjadi sulit terjadi.

**4.3 Analisa Karakteristik Awal Limbah Cair Industri Minuman Ringan**

Analisa karakteristik awal sampel limbah cair industri minuman ringan PT. SINAR SOSRO Ungaran dilakukan sebelum sampel limbah diolah. Parameter yang dianalisa mengacu pada Peraturan Daerah Propinsi Jawa Tengah No. 10 tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Limbah Industri Minuman Ringan (Softdrink).

Tabel 4.1. Hasil analisa karakteristik awal sampel limbah cair industri minuman ringan

No	Parameter Analisa	Satuan	Baku Mutu	Hasil Analisa Awal	Perlu Pengolahan
1	pH		6,0-9,0	8,00	Tidak
2	COD	mg/L	300	6715,60	Ya
3	TSS	mg/L	90	7320,23	Ya
4	Minyak dan Lemak	mg/L	9	3,44	Tidak
5	Warna	PtCo	—	10025,00	Ya

**4.4 Analisa Karakteristik Akhir Limbah Cair Industri Minuman Ringan**

Data hasil uji karakteristik akhir sampel limbah cair industri minuman ringan setelah diolah menggunakan teknologi plasma lucutan korona dengan variabel tegangan (16, 17 dan 18 kVolt) dan banyaknya sirkulasi (sirkulasi ke-1, ke-2, ke-3, ke-4, ke-5 dan ke-6), dengan menggunakan flowrate gas oksigen murni 0,5 L/menit serta kecepatan aliran limbah pada reaktor 20 ml/menit.

Tabel 4.2. Data hasil uji karakteristik akhir sampel limbah cair industri minuman ringan

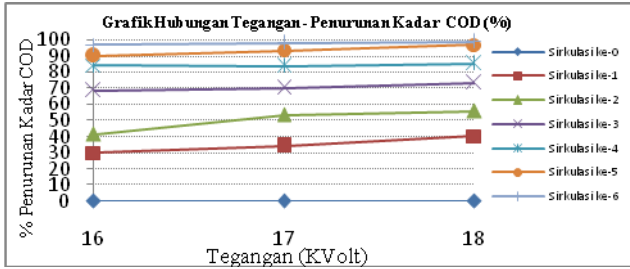
V	Parameter	Nilai pH, COD (mg/L), TSS (mg/L) dan Warna (PtCo)						
		Sirkulasi ke-0	Sirkulasi ke-1	Sirkulasi ke-2	Sirkulasi ke-3	Sirkulasi ke-4	Sirkulasi ke-5	Sirkulasi ke-6
16 kV	pH	8,00	7,60	7,40	7,00	7,20	7,00	7,00
	COD	6715,60	4690,12	3930,90	2113,15	1079,67	678,90	226,89
	TSS	7320,23	4880,20	4008,13	2380,36	1124,59	688,90	267,89
	Warna	10025,00	8135,00	5070,00	2725,00	1105,00	855,00	390,00
17 kV	pH	8,00	7,00	7,80	7,70	7,00	7,00	7,20
	COD	6715,60	4413,30	3128,85	2010,43	1097,37	442,78	145,89
	TSS	7320,23	4560,10	3345,67	2109,80	1125,44	565,78	167,56
	Warna	10025,00	7805,00	5605,00	2140,00	1005,00	740,00	215,00
18 kV	pH	8,00	7,00	7,20	7,00	7,40	7,00	7,00
	COD	6715,60	4007,55	2960,90	1800,85	987,80	220,13	85,80
	TSS	7320,23	4112,12	3076,90	1877,33	1004,17	269,95	98,12
	Warna	10025,00	3080,00	2245,00	1580,00	990,00	385,00	95,00

**4.4.1 Pengaruh Tegangan**

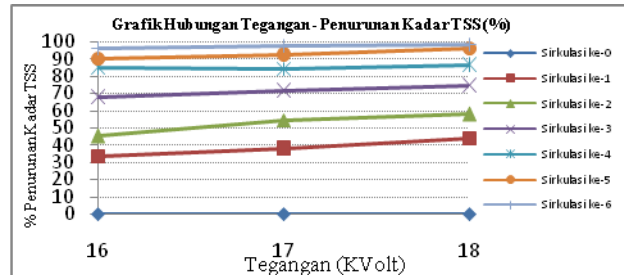
Pengaruh tegangan terhadap persentase penurunan kadar COD, TSS dan warna limbah cair industri minuman ringan pada tiap tegangan, dapat dilihat tabel 4.3 sehingga dapat digambarkan pada gambar 4.9 sampai gambar 4.11 berikut ini :

Tabel 4.3 Perhitungan Persentase penurunan kadar limbah cair thd tegangan

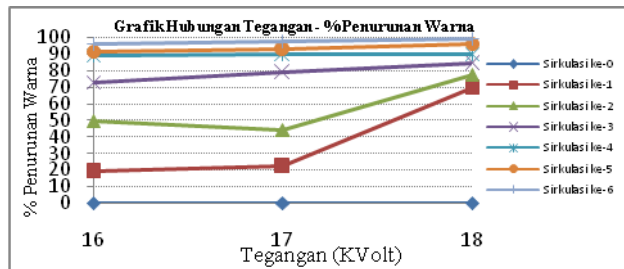
Tegangan (kVolt)	Parameter	Persentase Penurunan Kadar (%)						
		Sirkulasi ke-0	Sirkulasi ke-1	Sirkulasi ke-2	Sirkulasi ke-3	Sirkulasi ke-4	Sirkulasi ke-5	Sirkulasi ke-6
16	COD	0,00	30,16	41,47	68,53	83,92	89,89	96,62
17		0,00	34,28	53,41	70,06	83,66	93,41	97,83
18		0,00	40,32	55,91	73,18	85,29	96,72	98,72
16	TSS	0,00	33,33	45,25	67,48	84,64	90,59	96,34
17		0,00	37,71	54,30	71,18	84,63	92,27	97,71
18		0,00	43,83	57,97	74,35	86,28	96,31	98,66
16	Warna	0,00	18,85	49,43	72,82	88,98	91,47	96,11
17		0,00	22,14	44,09	78,65	89,98	92,62	97,86
18		0,00	69,28	77,61	84,24	90,12	96,16	99,05



Gambar 4.9. Hubungan tegangan terhadap persentase penurunan kadar COD



Gambar 4.10. Hubungan tegangan terhadap persentase penurunan kadar TSS



Gambar 4.11. Hubungan tegangan terhadap persentase penurunan warna

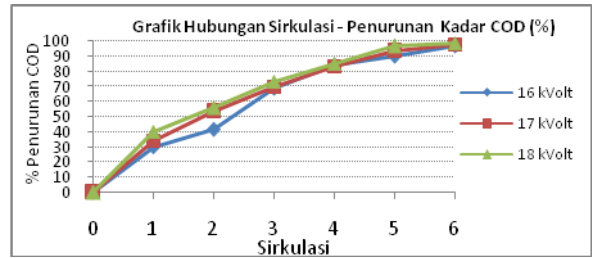
Dari gambar 4.9 sampai gambar 4.11 di atas menunjukkan kecenderungan peningkatan persentase penurunan kadar COD, TSS dan warna limbah cair industri minuman ringan sebanding dengan peningkatan tegangan yang diterapkan. Persentase penurunan kadar COD, TSS dan warna terbesar terlihat pada tegangan 18 kVolt. Hasil akhir persentase penurunan kadar COD, TSS dan warna terbesar dicapai pada tegangan 18 kVolt setelah sirkulasi keenam yaitu COD sebesar 98,72 % (dari 7320,23 mg/l menjadi 85,80 mg/l), TSS sebesar 98,66 % (dari 6175,60 mg/l menjadi 98,12 mg/l), dan warna sebesar 99,05 % (dari 10025 menjadi 95).

**4.4.2 Pengaruh Sirkulasi**

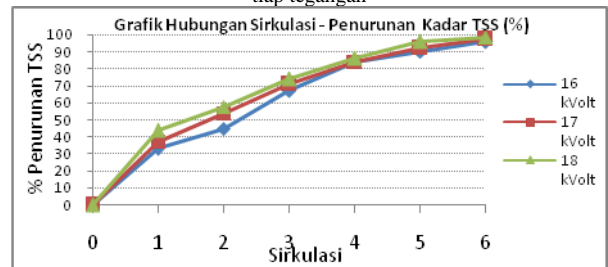
Pengaruh sirkulasi terhadap persentase penurunan kadar COD, TSS dan warna limbah cair industri minuman ringan pada tiap tegangan, dapat dilihat pada tabel 4.4 sehingga dapat digambarkan pada gambar 4.12 sampai gambar 4.14 berikut ini :

Tabel 4.4. Perhitungan persentase penurunan kadar limbah cair terhadap penambahan sirkulasi

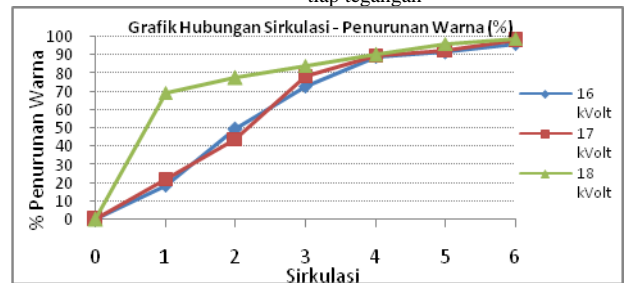
Tegangan (kVolt)	Parameter	Persentase Penurunan Kadar (%)		
		16 kVolt	17 kVolt	18 kVolt
Sirkulasi ke-0	COD	0	0	0
Sirkulasi ke-1		30,16	34,28	40,32
Sirkulasi ke-2		41,47	53,41	55,91
Sirkulasi ke-3		68,53	70,06	73,18
Sirkulasi ke-4		83,92	83,66	85,29
Sirkulasi ke-5		89,89	93,41	96,72
Sirkulasi ke-6		96,62	97,83	98,72
Sirkulasi ke-1	TSS	33,33	37,71	43,83
Sirkulasi ke-2		45,25	54,30	57,97
Sirkulasi ke-3		67,48	71,18	74,35
Sirkulasi ke-4		84,64	84,63	86,28
Sirkulasi ke-5		90,59	92,27	96,31
Sirkulasi ke-6		96,34	97,71	98,66
Sirkulasi ke-1	Warna	18,85	22,14	69,28
Sirkulasi ke-2		49,43	44,09	77,61
Sirkulasi ke-3		72,82	78,65	84,24
Sirkulasi ke-4		88,98	89,98	90,12
Sirkulasi ke-5		91,47	92,62	96,16
Sirkulasi ke-6		96,11	97,86	99,05



Gambar 4.12. Hubungan sirkulasi terhadap persentase penurunan COD pada tiap tegangan



Gambar 4.13. Hubungan sirkulasi terhadap persentase penurunan TSS pada tiap tegangan



Gambar 4.14. Hubungan sirkulasi terhadap persentase penurunan warna pada tiap tegangan

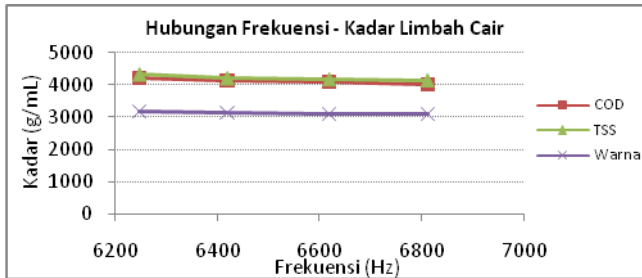
Dari gambar 4.12 sampai gambar 4.14 di atas dapat dilihat peningkatan persentase penurunan kadar COD, TSS dan Warna limbah cair industri minuman ringan sebanding dengan penambahan jumlah sirkulasi. Peningkatan persentase penurunan kadar menunjukkan bahwa kadar yang dapat diuraikan dari limbah cair semakin besar. Persentase penurunan kadar paling besar didapatkan pada tegangan 18 kV setelah sirkulasi keenam. Persentase penurunan kadar COD sebesar 98,72%, persentase penurunan kadar TSS sebesar 98,66 % dan persentase penurunan warna sebesar 99,05 %.

**4.4.3 Pengaruh Frekuensi**

Frekuensi tegangan tinggi impuls yang digunakan adalah 6246 Hz, 6418 Hz, 6618 Hz dan 6811 Hz. Hasil pengujian ditunjukkan pada tabel 4.3 berikut ini :

Tabel 4.5. Hasil uji pengaruh frekuensi tegangan tinggi terhadap kadar limbah cair industri minuman ringan

Tegangan	Parameter	Awal	Frekuensi (Hertz)			
			6246	6418	6618	6811
18 kVolt	pH	8,00	7,60	7,50	7,60	7,40
	COD	6715,60	4200,00	4126,51	4087,35	4017,55
	TSS	7320,23	4325,52	4210,00	4175,60	4142,12
	Warna	10025,00	3180,00	3150,00	3105,00	3095,00



Gambar 4.15. Hubungan frekuensi tegangan tinggi terhadap penurunan kadar limbah cair industri minuman ringan

Dari gambar 4.15 di atas dapat dilihat hubungan antara penurunan kadar limbah cair industri minuman ringan dengan frekuensi tegangan tinggi impuls pada frekuensi 6246 Hz sampai 6811 Hz adalah hampir sama (perubahan yang terjadi tidak signifikan).

## V. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perancangan, pengujian dan analisa yang telah dilakukan pada penelitian ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Tegangan keluaran pembangkit tegangan tinggi berupa tegangan tegangan impuls dengan tegangan puncak bervariasi antara 0 Volt sampai dengan 20 kilo Volt dengan frekuensi antara 6246 Hz sampai 6811 Hz.
2. Perubahan tegangan dan jumlah sirkulasi mempengaruhi persentase penurunan kadar COD, TSS dan warna sampel limbah cair industri minuman ringan.
3. Persentase penurunan terbesar kadar COD, TSS dan warna sampel limbah cair industri minuman ringan diperoleh pada tegangan 18 kilo Volt setelah sirkulasi keenam. Nilainya secara berturut – turut adalah 98,72 %, 98,66 % dan 99,05 %.
4. Perubahan frekuensi tegangan tinggi impuls (6246 Hz – 6811 Hz) tidak berpengaruh signifikan terhadap penurunan kadar COD, TSS dan warna limbah cair industri minuman ringan.

### 5.2 Saran

Untuk kepentingan pengembangan tugas akhir ini, maka dapat diberikan saran-saran sebagai berikut:

1. Dapat mengganti transformator *flyback* dengan *ignition coil* sepeda motor atau *ignition coil* mobil untuk membangkitkan tegangan tinggi impuls.
2. Untuk mengetahui pengaruh konfigurasi elektroda terhadap prosentase penurunan limbah cair industri minuman ringan dapat dilakukan dengan perubahan konfigurasi elektroda, misal kawat-silinder, spiral – silinder, bidang – bidang atau dengan DBD (*Dielectric Barrier Discharge*).
3. Untuk mengetahui pengaruh sumber gas pada reaktor terhadap prosentase penurunan kadar limbah cair industri minuman ringan dapat dilakukan dengan mengganti sumber gas oksigen dengan udara bebas, gas argon atau gas nitrogen.
4. Dapat dilakukan pengujian dengan menggunakan sampel limbah cair industri yang lain, misal industri tekstil.
5. Untuk meningkatkan faktor keamanan, sebaiknya kerangka peralatan yang terbuat dari logam perlu

diketanahkan, agar tidak timbul gradien tegangan antar peralatan dengan tanah yang dapat menyebabkan mengalirnya arus ke tanah jika terjadi kesalahan sentuh.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abduh, S., *Teknik Tegangan Tinggi Dasar Pembangkitan dan Pengukuran*, Salemba Teknika, Jakarta, 2003.
- [2] Tobing, B.L., *Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*. PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2003.
- [3] Rashid, M. H., *Power Electronics: Circuits and Application*, Edisi kedua, Prentice International, New Delhi, India, 1996.
- [4] Chrysis, G, *High-Frequency Switching Power supplies: Theory and Design*, second edition, McGraw-Hill Publishing Company, New York, 1989.
- [5] Rashid Muhammad H., *Power Electronics: Circuits, Devices and Application*, Prentice-Hall International Inc, Second Edition, New Jersey, 1993.
- [6] Yusuf, Baharudin, *Tugas Akhir : Aplikasi Tegangan Tinggi Impuls Pada Pembuatan Reaktor Ozon (O<sub>3</sub>)*, Universitas Diponegoro, 2008.
- [7] Anggoro, Tugas Akhir: *Sistem Pembangkit Plasma Lucutan Pijar Korona yang Terintegrasi dengan Sistem Tenaga Sepeda Motor*, Universitas Diponegoro, 2006.
- [8] Lukes, Petr., Ph.D Thesis : *Water Treatment by Pulsed Streamer Corona Discharge*, Prague, 2001.
- [9] Riandini, Yoel Migei, Tugas Akhir : *Penggunaan Teknologi Plasma Pada Permukaan Air Dengan Sistem Non-Contact Electrode Untuk Menurunkan Warna, pH, TSS dan COD Dalam Limbah Cair Industri Pencelupan Tekstil*, Universitas Diponegoro, 2006.
- [10] Indrassarimmawarti, Tugas Akhir : *Penurunan Warna, COD dan TSS Limbah Cair Industri Tekstil Menggunakan Teknologi Dielectric Barrier Discharge Dengan Variasi Tegangan dan Flowrate Oksigen*, Universitas Diponegoro, 2008.



Fajar Arifin (L2F004475), Dilahirkan di Boyolali Juni 1986. Menempuh pendidikan SD Kateguhan II Byl, SLTP N 1 Solo, Smara Catur (SMA N 4 Solo) , dan sekarang sedang menempuh pendidikan di Universitas Diponegoro Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro, Konsentrasi Ketenagaan.

Mengetahui,  
Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. Agung Warsito, DHET  
NIP. 131 668 485

Abdul Syakur, ST, MT  
NIP. 132 231 132