ANALISIS UNJUK KERJA INVERTER FREKUENSI TINGGI DAN TEGANGAN TINGGI DENGAN PSIM 4.1

Aliim Waspodo[*], Ir. Agung Warsito, DHET[**], Mochammad Facta, ST, MT[**]
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang, 50275

Abstrak *- Saat ini, peralatan konverter daya yang banyak digunakan untuk melakukan pengaturan tegangan tinggi bolak-balik adalah inverter, yaitu pengubah tegangan searah menjadi tegangan bolak-balik. Salah satu aplikasi inverter tegangan tinggi ini adalah untuk sistem pembangkitan ozon dengan menggunakan tabung pembangkitan ozon atau ozonizer. Konsentrasi gas ozon yang dihasilkan oleh tabung pembangkitan ozon ini sebanding dengan nilai tegangan pada tabung pembangkitan ozon tersebut. Sehingga jumlah konsentrasi gas ozon yang diinginkan dapat diperoleh dengan melakukan pengaturan tegangan keluaran inverter..*

Dalam tugas akhir ini disimulasikan menggunakan PSIM (Power Simulator) 4.1 mengetahui karakteristik elektrik suatu catu daya sebuah sistem pembangkitan ozon yang menggunakan inverter tegangan tinggi dan frekuensi tinggi dengan tabung pembangkitan ozon diasumsikan sebagai beban elektrik berupa rangkaian resonan RLC. Untuk mendapatkan tegangan tinggi yang diperlukan oleh sistem, tegangan keluaran inverter dinaikkan melalui sebuah transformator satu fasa. Pengujian dilakukan dengan melakukan pengaturan frekuensi inverter untuk frekuensi inverter lebih kecil daripada frekuensi resonan, frekuensi inverter sama atau mendekati frekuensi resonan, serta frekuensi inverter lebih besar daripada frekuensi resonan. Dilakukan pula pengaturan duty cycle dan juga variasi jumlah tabung pembangkitan ozon.

Dari simulasi ditunjukkan bahwa tegangan puncak untuk beban berupa satu buah tabung pembangkitan ozon diperoleh saat frekuensi inverter sebesar sekitar 88 kH, untuk beban berupa dua buah tabung pembangkitan ozon diperoleh saat frekuensi inverter sebesar sekitar 60 kHz dan untuk beban berupa tiga buah tabung pembangkitan ozon diperoleh saat frekuensi inverter sekitar 50 kHz. Dari hasil simulasi juga menunjukkan pada frekuensi inverter tersebut, nilai tegangan pada beban dapat diatur dengan mengatur duty cycle inverter yang digunakan.

Kata kunci:Inverter frekuensi tinggi dan tegangan tinggi, frekuensi resonan, pembangkitan ozon

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Selama ini upaya pembangkitan tegangan tinggi banyak dilakukan secara konvensional, yaitu dengan menggunakan transformator tegangan tinggi dengan frekuensi 50 Hz, sementara penelitian dan simulasi tentang hal ini masih kurang sehingga perlu dilakukan adanya studi dan simulasi pembangkitan tegangan tinggi menggunakan peralatan elektronika daya. Selain itu saat ini, penelitian tentang penggunaan tegangan tinggi lebih banyak menggunakan pembangkitan menggunakan tegangan tinggi searah (DC) dan impuls, seperti yang dilakukan oleh Koudriavtsev[12], sementara penelitian menggunakan tegangan tinggi AC masih kurang.

Salah satu peralatan elektronika daya yang banyak digunakan saat ini adalah inverter, yaitu alat pengubah tegangan searah menjadi tegangan bolak balik. Salah satu keuntungan penggunaan inverter adalah kemudahan dalam pengaturan tegangan keluaran. Salah satu penerapan penggunaan inverter dengan tegangan tinggi dan frekuensi tinggi adalah untuk tabung pembangkitan ozon atau *ozonizer* sebagai sarana menghasilkan gas ozon.

Tetapi penggunaan tabung pembangkit ozon ini ternyata juga banyak dihindari karena efisiensi daya yang rendah serta membutuhkan ongkos yang tinggi[12], sehingga diperlukan perancangan sistem pembangkit ozon yang berfungsi secara optimal. Salah satu caranya adalah melakukan simulasi catu daya yang membantu perancangan untuk melakukan pengaturan pada konverter daya yang digunakan dalam proses pembangkitan ozon, di mana tabung pembangkitan ozon dimodelkan sebagai sebuah beban elektrik. Dengan demikian dapat diketahui unjuk kerja konverter daya untuk berbagai variasi beban.

1.2. Tujuan

Tujuan pembuatan tugas akhir ini adalah untuk menganalisis unjuk kerja konverter daya berupa inverter tegangan tinggi dan frekuensi tinggi dengan beban berupa tabung pembangkitan ozon melalui pembuatan simulasi, sehingga diperoleh nilai parameter imverter saat mencapai hasil maksimal melalui pembuatan simulasi perangkat lunak untuk elektronika daya yakni PSIM 4.1"

1.3. Batasan Masalah

Dalam tugas akhir ini penulis membatasi permasalahan sebagai berikut :

1. Analisis dilakukan melalui proses simulasi rangkaian pembangkitan ozon
2. Konverter daya yang disimulaskan berupa penyearah satu fasa jembatan penuh, inverter jembatan penuh satu fasa tegangan tinggi dan frekuensi tinggi, dan transformator frekuensi tinggi
3. Pembuatan simulasi dilakukan dengan perangkat lunak bantu PSIM 4.1
4. Dalam proses simulasi, rangkaian diasumsikan dalam kondisi ideal
5. Tugas akhir tidak membahas pronsip kerja maupun proses kimiawi yang terjadi di dalam tabung pembangkitan ozon
6. Tugas akhir tidak membahas perhitungan harmonisa yang timbul

*) Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Undip
**) Staf Pengajar Teknik Elektro Undip

II. Dasar Teori

2.1 Inverter

Inverter meru[akan alat yang digunakan untuk mengubah tegangan searah menjadi tegangan bolak-balik.

Untuk melakukan pensaklaran (*switching*), ada beberapa jenis transistor daya yang sering digunakan., yaitu *Bipolar-junction transistor* (BJT), *Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor* (MOSFET), I*nsulated-Gate Bipolar Transistor* (IGBT).

2.1.1 Inverter Jembatan Penuh Satu Fasa

Sebuah inverter jembatan satu fasa (*single-phase bridge inverter*) ditunjukkan oleh gambar 1(a) Inverter tersebut terdiri atas empat *chopper.* Apabila transistor Q_1 dan transistor Q_2 diaktifkan secara bersamaan, maka tegangan masukan V_s akan melintasi beban. Apabila transistor Q_4 dan Q_4 diaktifkan, secara bersamaan tegangan yang melintasi beban akan terbalik yaitu $-V_s$.

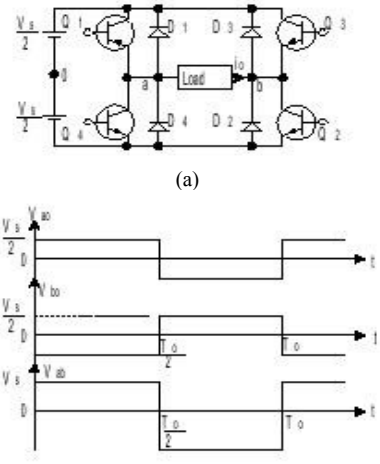
Tegangan rms keluaran dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan

$$V_o = \left(\frac{2}{T_o} \int_0^{To/2} V_s^2 \right)^{1/2} = V_s \quad \text{.....(1)}$$

dan tegangan keluaran sesaat dapat diperoleh dengan menggunakan deret *Fourier*

$$V_o = \sum_{n=1,3,5,\ldots}^{\infty} \frac{4V_s}{n\pi} \sin n\omega t \quad \text{.....(2)}$$

Bentuk rangkaian ditunjukkan oleh Gambar 1(a) dan bentuk gelombang tegangan keluaran ditunjukkan oleh gambar 1(b)



(a)

(b)

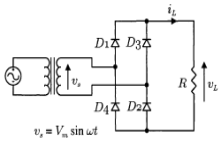
Gambar 1 Inverter jembatan penuh satu fasa
(a) Rangkaian (b) Bentuk gelombang

2.2 Penyearah

Sebuah penyearah merupakan rangkaian yang mengonversikan sinyal bolak balik (AC) menjadi sinyal satu arah (DC). Komponen yang banyak digunakan adalah dioda. Secara umum, ada dua jenis penyearah, yaitu penyearah setengah gelombang dan penyearah gelombang penuh.

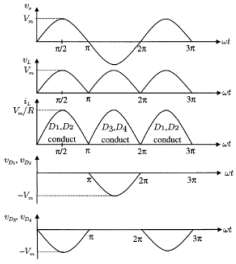
2.2.1 Penyearah gelombang penuh jembatan satu fasa

Pada penyearah jembatan satu fasa digunakan empat buah dioda, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.



Gambar 2 Penyearah jembatan penuh satu fasa

Prinsip kerja penyearah jembatan ini yaitu selama tegangan masukan mengalami setengah siklus positif, daya disalurkan ke beban melalui dioda D_1 dan D_2. Pada saat siklus negatif, daya disuplai ke beban melalui dioda D_3 dan D_4. Sehingga bentuk gelombangnya akan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Bentuk gelombang penyearah jembatan satu fasa

2.3 Transformator

Transformator atau trafo adalah peralatan yang digunakan untuk memindahkan energi listrik dari satu rangkaian ke rangkaian yang lain melalui sebuah medan magnet.

2.3.1 Prinsip Kerja

Transformator bekerja berdasarkan dua prinsip kerja. Pertama, arus listrik akan mengakibatkan medan magnet dan yang kedua, perubahan arus pada rangkaian pertama atau primer akan mengakibatkan perubahan medan magnet dalam kumparan yang kemudian menghasilkan tegangan induksi pada kumparan tersebut. Dengan mengubah arus pada kumparan primer, medan magnetnya akan berubah. Karena kumparan sekunder juga berada dalam medan magnet yang sama, maka terjadi juga tegangan induksi pada kumparan sekunder

Tegangan induksi di kumparan sekunder dapat dihitung berdasarkan hukum Faraday, yaitu

$$V_S = N_S \frac{d\Phi}{dt} \quad \text{.....(3)}$$

dengan V_S adalah tegangan seketika, N_S adalah jumlah belitan dalam kumparan sekunder dan Φadalah keseluruhan fluks magnetik yang melewati kumparan.

Karena fluks magnet yang sama juga melewati kumparan sekunder, maka dalam tegangan seketika kumparan primer pada transformator ideal adalah

$$V_P = N_P \frac{d\Phi}{dt} \quad \text{.....(4)}$$

Dengan demikian perbandingan antar tegangan kumparan primer dan sekunder menjadi

$$\frac{V_S}{V_P} = \frac{N_S}{N_P} \quad \text{.....(5)}$$

*) Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Undip
**) Staf Pengajar Teknik Elektro Undip

2.4 Penggunaan Inverter Tegangan Tinggi dan Frekuensi Tinggi untuk Rangkaian Pembangkitan Ozon

2.4.1 Frekuensi resonan[2]

Resonansi elektrik terjadi saat sebuah rangkaian listrik berada dalam frekuensi resonan tertentu, yaitu ketika impedansi di antara masukan dan keluaran rangkaian mencapai minimum.

2.4.1.1 Resonansi dengan kapasitor (C) dan induktor (L)[2]

Resonansi sebuah rangkaian yang terdiri atas kapasitor dan induktor terjadi karena medan magnet induktor yang membangkitkan arus listrik di dalam belitannya. Hal ini membuat terjadinya pengisian muatan pada kapasitor. Saat terjadi pelepasan muatan pada kapasitor, terjadi pula arus listrik yang mengakibatkan medan magnet pada induktor. Proses ini terjadi secara berulang dan terus menerus.

Saat terjadi resonansi, impedansi seri kapasitor dan induktor memiliki nilai minimum sedangkan impedansi paralelnya memiliki nilai maksimum. Dengan demikian, resonansi dapat terjadi dengan mengatur nilai kapasitansi dan induktansi sebuah rangkaian.

Nilai frekuensi resonan ini dapat ditentukan berdasarkan persamaan nilai reaktansi induktif dan nilai reaktansi kapasitif

$$X_L = \omega L. \quad \text{.....(6)}$$

$$X_c = 1/\omega C \quad \text{.....(7)}$$

dimana

$$X_L = X_C. \quad \text{.....(8)}$$

sehingga dari persamaan (4) dan (5) diperoleh

$$\omega L = 1/\omega C \quad \text{.....(9)}$$

$$\omega^2 = \frac{1}{LC} \quad \text{.....(10)}$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{.....(11)}$$

di mana

$$\omega = 2\pi f$$

dengan

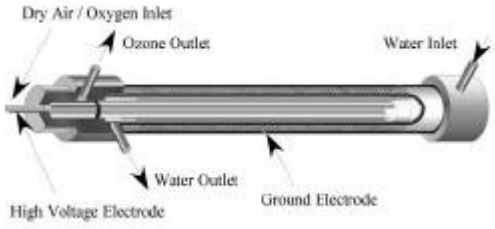
f = frekuensi resonan

atau dengan kata lain frekuensi resonan suatu rangkaian adalah sebesar

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \text{.....(12)}$$

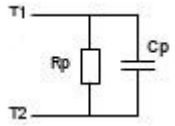
2.4.2 Pemodelan tabung pembangkitan ozon

Bentuk dari tabung pembangkitan ozon ditunukkan oleh gambar 4.



Gambar 4 Tabung pembangkitan ozon

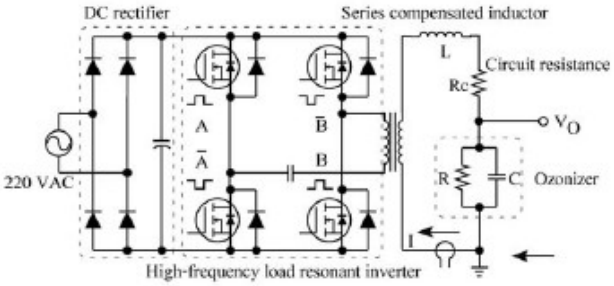
Dari model tabung pembangkitan ozon yang terdapat dalam gambar 4, dapat dibuat rangkaian ekuivalen dari tabung ozon, yaitu berupa kapasitor yang terpasang paralel dengan resistor, seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5 Rangkaian ekuivalen dari tabung pembangkitan ozon

2.4.3 Rangkaian sistem pembangkitan ozon secara keseluruhan[17]

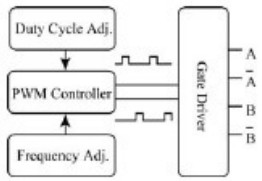
Gambar 6 menunjukkan hubungan rangkaian konversi daya frekuensi tinggi untuk pembangkit ozon.



Gambar 6 Rangkaian inverter tegangan tinggi untuk tabung pembangkitan ozon

Rangkaian tersebut terdiri atas penyearah satu fasa, modul inverter jembatan penuh yang menggunakan saklar berupa IGBT, dan beban tabung pembangkitan ozon dengan induktor kompensasi seri. Keluaran inverter dihubungkan ke beban dengan induktor resonan kompensasi seri melalui transformator frekuensi dan tegangan tinggi.

Sumber tegangan yang di gunakan berasal dari tegangan bolak-balik 220 V dengan frekuensi 50 Hz yang disearahkan dan disalurkan ke inverter jembatan penuh. Pensaklaran transistor yang digunakan (dalam hal ini bisa menggunakan MOSFET atau IGBT) dikendalikan secara sinkron oleh sinyal gelombang kotak seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Pengaturan tegangan dan frekuensi untuk saklar inverter

III. Perancangan dan Pembuatan Perangkat Lunak Simulasi

3.1 Perancangan Simulasi Secara Umum

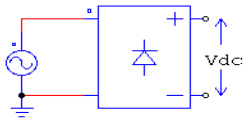
Peralatan yang disimulasikan terdiri dari sumber tegangan AC tiga fasa, peneyarah tiga fasa, inverter satu fasa, transformator *step-up* dan rangkaian tabung pembangkitan ozon. Blok diagram dari sistem yang disimulasikan ditunjukkan pada gambar 8.

Gambar 8 Blok diagram sistem yang disimulasikan

*) Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Undip
**) Staf Pengajar Teknik Elektro Undip

3.2 Perancangan Simulasi Penyearah Satu Fasa

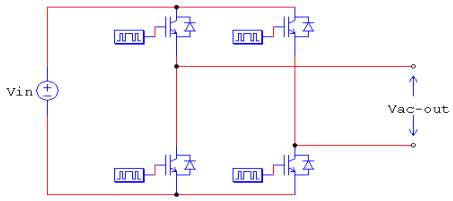
Dalam membuat simulasi penyearah satu fasa, digunakan penyearah satu fasa jembatan penuh, untuk menghasilkan sumber tegangan DC yang diterapkan pada inverter. Modul penyearah jembatan penuh ditunjukkan pada gambar 9.



Gambar 9 Modul penyearah jembatan penuh satu fasa dalam PSIM

3.3 Perancangan Simulasi Inverter

Inverter yang digunakan adalah inverter jembatan satu fasa jenis *square* , yaitu inverter dengan keluaran tegangan berupa gelombang kotak. Sumber tegangan dc untuk inverter diperoleh dari tegangan keluaran penyearah tiga fasa.. Dengan transformator dan tabung pembangkitan ozon sebagai beban, maka inverter yang digunakan menjadi inverter dengan tipe beban resonan. Saklar yang digunakan adalah IGBT.



Gambar 10 Rangkaian inverter jembatan satu fasa

3.4 Perancangan Simulasi Transformator

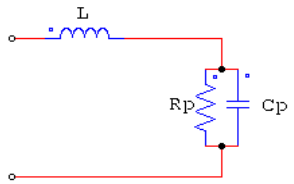
Transformator yang disimulasikan adalah transformator satu fasa ideal dengan mengabaikan induktansi bocor dan induktansi magnetisasi, sehingga tegangan keluaran lebih mendekati murni sinusoidal. Sumber tegangan ac untuk trafo diperoleh dari tegangan keluaran inverter. Perbandingan kumparan primer dan skunder adalah sebesar 22:1.000.

3.5 Perancangan simulasi tabung pembangkitan ozon

Tabung pembangkitan ozon ini digunakan sebagai sebuah beban dari rangkaian inverter dan trasnsformator. Dengan demikian tabung pembangkitan ozon ini harus diasumsikan sebagai sebuah beban berupa rangkaian listrik.

3.5.1 Gambaran umum

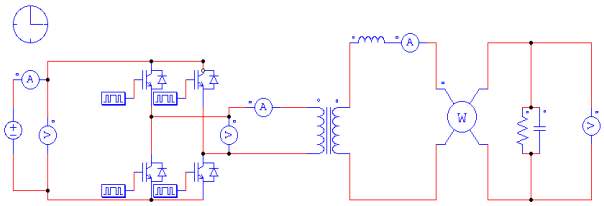
Bentuk dari rangkaian ekuivalen dari tabung pembangkitan ozon ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11 Rangkaian pembangkitan ozon sebagai beban resonan inverter

3.5.2 Perancangan rangkaian sistem pembangkitan ozon secara keseluruhan

Rangkaian inverter untuk sistem pembangkitan ozon secara keseluruhan terlihat seperti uang ditunjukkan pada Gambar 12.



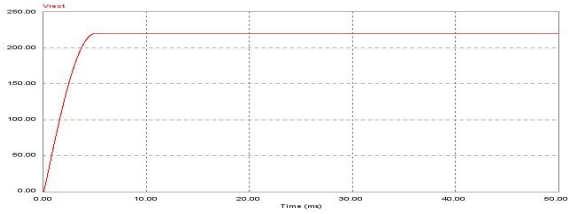
Gambar 12 Rangkaian inverter untuk sistem pembangkitan ozon secara keseluruhan

IV. Pengujian dan Analisis

4.1 Pengujian Rangkaian Penyearah

4.1.1 Pengujian tegangan keluaran penyearah

Bentuk gelombang keluaran dari penyearah tiga fasa dengan filter kapasitor ditunjukkan pada gambar 13. Tegangan masukan yang diberikan adalah tegangan satu fasa sebesar 220 V.

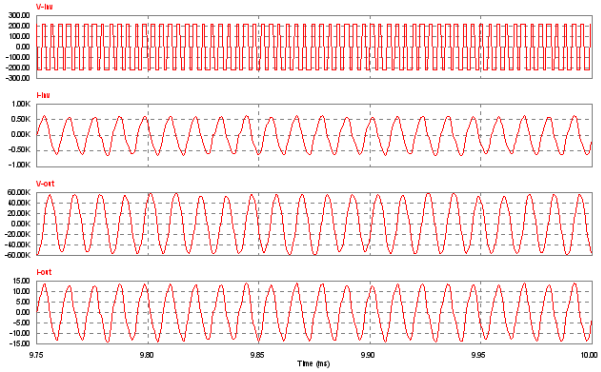


Gambar 13 Bentuk gelombang keluaran penyearah satu fasa

4.2 Pengujian inverter satu fasa

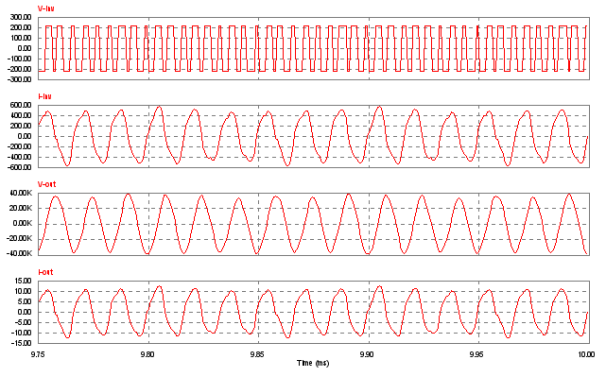
4.2.1 Pengujian dan pengamatan tegangan dan arus keluaran

4.2.1.1 Pengamatan pada beban berupa satu buah tabung pembangkitan ozon



Gambar 14 Gelombang keluaran pada beban berupa satu buah tabung pembangkitan ozon dengan frekuensi 88 kHz dan *duty cycle* 20 %

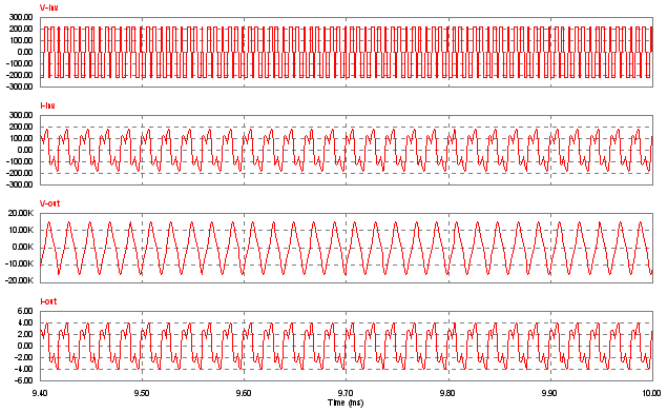
4.2.1.2 Pengamatan pada beban berupa dua buah tabung pembangkitan ozon



Gambar 15 Gelombang keluaran pada beban berupa dua buah tabung pembangkitan ozon dengan frekuensi 60 kHz dan *duty cycle* 20 %

*) Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Undip
**) Staf Pengajar Teknik Elektro Undip

4.2.1.3 Pengamatan pada beban berupa tiga buah tabung pembangkitan ozon

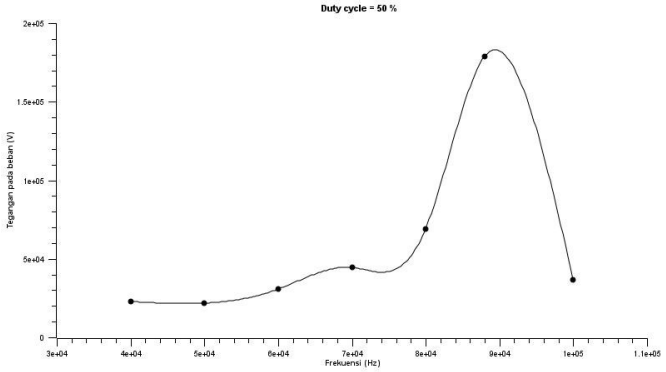


Gambar 16 Gelombang keluaran pada beban berupa tiga buah tabung pembangkitan ozon dengan frekuensi 50 kHz dan *duty cycle* 20 %

4.2.2 Pengukuran arus dan tegangan

4.2.2.1 Pengukuran pada beban berupa satu buah tabung pembangkitan ozon

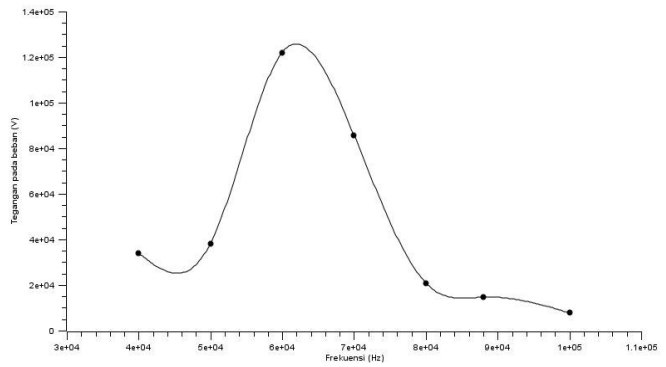
Dari hasil pengukuran untuk beban berupa satu buah tabung pembangkitan ozon, diperoleh grafik hubungan frekuensi inverter terhadap tegangan pada beban seperti yang ditunjukkan pada Gambar 17.



Gambar 17 Grafik hubungan frekuensi inverter terhadap tegangan pada beban untuk beban berupa satu buah tabung pembangkitan ozon

4.2.2.2 Pengukuran pada beban berupa dua buah tabung pembangkitan ozon

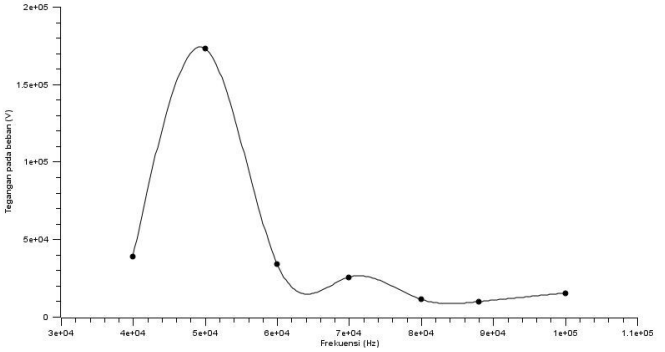
Dari hasil pengukuran untuk beban berupa dua buah tabung pembangkitan ozon, diperoleh grafik hubungan frekuensi inverter terhadap tegangan pada beban seperti yang ditunjukkan pada Gambar 18.



Gambar 18 Grafik hubungan frekuensi inverter terhadap tegangan pada beban untuk beban berupa dua buah tabung pembangkitan ozon

4.2.2.3 Pengukuran pada beban berupa tiga buah tabung pembangkitan ozon

Dari hasil pengukuran untuk beban berupa satu buah tabung pembangkitan ozon, diperoleh grafik hubungan frekuensi inverter terhadap tegangan pada beban seperti yang ditunjukkan pada Gambar 19.



Gambar 19 Grafik hubungan frekuensi inverterterhadap tegangan pada beban untuk beban berupa tiga buah tabung pembangkitan ozon

4.2.3 Pengukuran daya aktif

Dari pengukuran daya aktif, diperoleh hasil yang menunjukkan bahwa daya aktif pada beban berbanding lurus dengan nilai tegangan pada beban. Dengan kata lain, nilai daya aktif akan naik saat tegangan pada beban naik. Hasil yang optimal diperoleh saat frekuensi inverter sama dengan nilai frekuensi resonan.

4.2.4 Perhitungan faktor daya dan sudut fasa

Hasil perhitungan faktor daya dan sudut fasa menunjukkan nilai faktor daya yang sangat kecil. Perbedaan sudut fasa antara arus dan tegangan cukup besar, yaitu berada dalam kisaran 89° - 90°. Hasil perhitungan juga menunjukkan saat *duty cycle* dinaikkan, nilai faktor daya akan naik.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dalam tugas akhir ini dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. a. Semakin tinggi frekuensi inverter, tegangan keluaran pada beban akan naik, namun pada frekuensi tertentu, yaitu saat frekuensi inverter sama dengan nilai frekuensi resonan mencapai nilai tegangan puncak.
   b. Saat frekuensi inverter dinaikkan melebihi frekuensi resonan maupun diturunkan hingga lebih kecil daripada frekuensi resonan, nilai tegangan pada beban akan semakin turun.
2. a. Pada pembebanan dengan satu buah tabung pembangkitan ozon, nilai tegangan mencapai puncak saat frekuensi inverter sekitar 88 kHz.
   b. Pada frekuensi inverter 88 kHz, nilai tegangan pada beban semakin tinggi saat *duty cycle* diperbesar.
3. a. Pada pembebanan dengan dua buah tabung pembangkitan ozon, nilai tegangan mencapai puncak saat frekuensi inverter sekitar 60 kHz.
   b. Pada frekuensi inverter 60 kHz, nilai tegangan pada beban semakin tinggi saat *duty cycle* diperbesar.

*) Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Undip
**) Staf Pengajar Teknik Elektro Undip

4. a. Pada pembebanan dengan tiga buah tabung pembangkitan ozon, nilai tegangan mencapai puncak saat frekuensi inverter sekitar 50 kHz.
   b. Pada frekuensi inverter 50 kHz, nilai tegangan pada beban semakin tinggi saat *duty cycle* diperbesar
5. Bentuk gelombang tegangan keluaran semakin mendekati bentuk sinuosidal pada frekuensi inverter yang semakin tinggi.
6. Semakin tinggi nilai *duty cycle,* bentuk gelombang tegangan keluaran semakin mendekati sinusoidal
7. Semakin banyak jumlah beban berupa tabung pembangkitan ozon, bentuk gelombang keluaran memiliki riak yang lebih kecil.

5.2 Saran

Adapun saran dari penulis yang dapat ditindaklanjuti dari penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Tugas akhir ini dapat dilanjutkan dengan melakukan simulasi dengan menggunakan versi yang lebih baru dari PSIM.
2. Simulasi dapat dilanjutkan dengan penambahan modul koreksi faktor daya (*Power Factor Correction*)
3. Tugas akhir ini juga dapat dilanjutkan dengan pembuatan perangkat keras.

DAFTAR PUSTAKA

[1] .....; *Direct Current Discharge*, http://en.wikipedia.org.

[2] .....; *Electrical Resonance*, http://en.wikipedia.org.

[3] .....; *Inverter,* http://en.wikipedia.org.

[4] .....; *Silent Discharge,* http://www.answers.com.

[5] .....; *PSIM User Manua*l, PowerSim Technologies, 1999.

[6] .....; Transformers, http://en.wikipedia.org.

[7] Alonso, J.M., A.J. Calleja, J. Ribas, M.Valdes, *Analysis and Design of A Low-Power High-Voltage High-Frequency Power Supply for Ozone Generation.*

[8] Berkovich, Yevich, Gregory Ivensky, Sam Ben-Yaakov, *A Resonant Inverter As A Controlled Reactance.*

[9] Bingham, Richard P., *Harmonics – Understanding The Facts.*

[10] Chun, Byung-Joon, Hwang-Jig Song, Kwang Sik Lee, I*mprovement of Yield by a Multi-Discharge Type Ozonizer Using Superposition of Silent Discharge Plasma, Journal of The Korean Physical Society, Vol. 44, No. 5, May 2004, pp. 1182~1188.*

[11] Dugan, Roger C., Mark F. McGranaghan, H. Wayne Beaty, *Electrical Power Systems Quality*, McGraw-Hill, New York, 1996.

[12] Hu, Aiguo Patrick, Grant A.Covic, John T. Boys, *Direct ZVS Start-Up of a Current Fed Resonant Inverter*, IEEE Transaction on Power Electronics, Vol.21, No. 3, May 2006

[13] Kogelschatz, Ulrich, *Silent Discharges for The Generation of Utraviolet and Vacuum Ultraviolet Excimer Radiation, Pure&Appl. Chem., Vol.62, No. 9, pp. 1667-1674*, IUPAC, 1990..

[14] Koudriavtsev, Oleg, Shengpei Wang, Yoshikiro Konishi, and Mutsuo Nakaoka, *A Novel Pulse-Densiti-Modulated High Frequency Inverter for Silent- Discharge-Type Ozonizer*, IEEE Transactions on Industry Applications. Vol. 38. No.2 March/April 2002.

[15] Liu, Y., He, X. *PDM and PFM Hybrid Control of a Series-Resonant Inverter for Corona Surface Treatment*, IEE Proc. Electr. Power Appl. Vol. 152, No. 6, November 2005

[16] Mecke, R. Rathge, C., *High Frequency Resonant Inverter for Contactless Energy Transmission Over Large Air Gap.*

[17] Nisoa, M., D. Srinoum, P. Kerdthongmee, *Development of High Voltage High Frequency Resonant Inverter Power Supply for Atmospheric Surface Glow Barrier Discharges.*

[18] Nugroho, Andy, *Aplikasi Inverter Lenze 9325 untuk Sinkronisasi Motor 3 Fasa, Laporan Kerja Praktek*, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Semarang, 2003..

[19] Rashid, Muhammad Harunnur, *Power Electronics: Circuits, Device, and Applications*, Prentice – Hall International Inc, New Jersey, 1988.

[20] Rashid, Muhammad H., *Power Electronics Handbook*, Academic Press, San Diego, 2001.

[21] Poleto, Darko, Marinko Stojkov, Kruno Trupinic, *Determination of Specific Electricity Consumers Which Have Great Impact on Harmonic Distortion of Voltage Waveform,* 19th International Conference on Electricity Distribution, Paper 0850, Vienna, 2007.

BIODATA PENULIS

Aliim Waspodo (L2F707001), lahir di Jepara, 4 Juli 1982. Saat ini sedang menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro dengan mengambil konsentrasi Ketenagaan. Penulis memiliki minat dalam bidang Elektronika Daya dan Aplikasi Komputer dalam Sistem Tenaga. Penulis dapat dihubungi melalui alamat e-mail awas41@gmail.com.

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II
Ir. Agung Warsito, DHET	Mochammad Facta, ST. MT
NIP. 132 231 134	NIP. 131 668 485

*) Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Undip
**) Staf Pengajar Teknik Elektro Undip