

Kajian Generator Impuls Tegangan Rendah Menggunakan *Analysis Transient Program*

Agung Trihasto¹,

¹ Teknik Elektro Untidar

Jln. Kapten Suparman 39 magelang 56511 INDONESIA

Abstrac- An electric motor is one of the tools that can be used normally. One of the parts that need to be considered on the motor is a winding motor. This winding serves as a current conductor to generate a magnetic field on the stator, then used to produce rotation of the rotor. Rotation of this rotor is used to rotate or move other equipment as needed or type of work. How to overcome. However, the winding of the motor can not be accessed directly because it is covered by the motor shroud. Approximately 80% of stator electrical failures are derived from the weakness of the inner circle. To recognize the disturbance condition can be known by applying a surge voltage to the winding. Tests with surge voltages in principle apply a voltage with a fast rise time on the winding, then using Lenz's Law, there will arise a voltage induced between adjacent loops. If the voltage is high enough, then arc will be generated (arc). The process can be known with motor impulse goods ..

Keywords - motor winding, isolation, surge voltage

I. PENDAHULUAN

Penelitian-penelitian yang berhubungan dengan pengaruh tegangan surja pada isolasi mesin sudah dilakukan sejak tahun 1920-an. Pada kurun waktu tersebut, peneliti-peneliti mengakui adanya pengaruh tegangan surja yang tidak wajar dan pengukuran pencegahan yang disarankan (Melfi, 1997). Selama lebih dari 70 tahun, telah dipahami bahwa, tegangan surja yang memiliki waktu naik yang cepat (fast rise time) dari penutupan circuit breaker dapat menyebabkan dadal (breakdown) isolasi lilitan pada belitan stator motor (Campbell, 2000). Jika isolasi lilitan tidak memiliki ketebalan yang cukup atau mengalami penuaan, maka isolasi akan rusak bila terjadi tegangan surja dengan waktu naik yang cepat. Rusaknya isolasi lilitan menyebabkan arus yang relatif tinggi mengalir menuju lilitan yang rusak, lalu lilitan penghantarnya meleleh, sehingga menyebabkan belitan stator mengalami kegagalan (Fenger, 2003).

Kurang lebih 80% kegagalan elektrik stator berasal dari lemahnya isolasi antar lilitan. Kondisi isolasi dapat diketahui dengan menerapkan

tegangan surja pada lilitan. Pengujian dengan tegangan surja pada prinsipnya menerapkan tegangan dengan waktu naik yang cepat pada lilitan, kemudian menggunakan Hukum Lenz, akan timbul tegangan yang diinduksikan antara kalang (loop) yang berdekatan. Jika tegangan yang timbul cukup tinggi, maka akan dibangkitkan busur (arc). Proses tersebut dapat diketahui dengan mengamati tanggapan impuls motor atau dikenal sebagai surge waveform (Grubic, 2007).

Salah satu cara mengamati tanggapan impuls adalah metode impuls tegangan rendah (low voltage impuls method) dan telah digunakan sejak tahun 1973 di Rusia. Pada dasarnya, cara ini menerapkan tegangan rendah (tegangan kurang dari 1000 Volt) pada belitan dan merekam tanggapan impuls yang timbul. Cara ini dianggap cukup memadai untuk mengetahui perubahan mekanik pada belitan (Drobyshevski, 2003).

Motor listrik menjadi salah satu bagian penting yang digunakan pada sistem industri. Salah satu bagian penting dan penyebab utama kegagalan dari motor adalah sistem isolasi belitan stator. Berdasarkan survei, 26 % kegagalan motor berasal dari permasalahan isolasi. Proses yang terhenti tidak terjadwal akibat kegagalan isolasi dapat menambah biaya produksi. Jadi, kelemahan isolasi yang berakibat kegagalan harus diketahui sejak dini, dalam rangka penjadwalan pemeliharaan atau penggantian (Grubic, 2007).

II. DASAR TEORI

A. Tinjauan Pustaka

Motor listrik menjadi salah satu bagian penting yang digunakan pada sistem industri. Satu bagian penting dan penyebab utama kegagalan dari

motor adalah sistem isolasi belitan stator. Berdasarkan survei, 26 % kegagalan motor berasal dari permasalahan isolasi. Proses yang terhenti tidak terjadwal akibat kegagalan isolasi dapat menambah biaya produksi. Jadi, kelemahan isolasi yang berakibat kegagalan harus diketahui sejak dini, dalam rangka penjadwalan pemeliharaan atau penggantian (Grubic, 2007).

Sedangkan Kuffel (2000), menyatakan : Karakteristik utama isolasi adalah tentang pengaruh tegangan merusak (*disruptive discharge*), yang dapat timbul pada saat terjadinya tekanan (*stress*) yang disebabkan oleh tegangan pelepasan. Salah satu bentuk tekanan yang timbul berupa surja (*surge*). Namun demikian, karena proses fisik yang acak (*random*), beberapa kali penerapan tekanan yang sama pada kondisi yang sama pula, tidak selalu menimbulkan tegangan merusak. Selain itu, pelepasan yang terjadi dapat timbul pada waktu yang berbeda. Akan tetapi, penerapan tekanan yang terjadi meskipun tidak menyebabkan timbulnya tegangan merusak, tetapi dapat berakibat pada perubahan karakteristik isolasi

Peneliti lain yaitu Mayadhar swain (2007), menyampaikan bahwa pada umumnya insulation resisten dan indeks polarisasi mengalami perubahan dan kerusakan akibat kelembaban udara, bahkan ditemukan keretakan isolasi dan perubahan bentuk belitan stator kemudian Bonggas (2003), menuliskan tentang jenis pengujian yang dilakukan terhadap mesin–mesin berputar adalah pengujian tahanan isolasi, pengujian ketahanan ac, dan pengujian ketahanan impuls lalu Campbell (2000) menuliskan bahwa selama lebih dari 70 tahun, telah dipahami bahwa, tegangan surja yang memiliki waktu naik yang cepat (*fast rise time*) dari penutupan *circuit breaker* dapat menyebabkan dadal (*breakdown*) isolasi lilitan pada belitan *stator* motor.

Sementara itu, Fenger (2003), menyatakan jika isolasi lilitan tidak memiliki ketebalan yang cukup atau mengalami penuaan, maka isolasi akan rusak bila terjadi tegangan surja dengan waktu naik yang cepat. Rusaknya isolasi lilitan menyebabkan arus yang relatif tinggi mengalir menuju lilitan yang rusak, lalu lilitan penghantarnya meleleh, sehingga menyebabkan belitan stator mengalami kegagalan. Hal tersebut dikuatkan oleh M. Jayaraju & i. Daut

& m. Adzman (2008), melakukan simulasi tentang *impulse model generator* kemudian menyatakan, dalam banyak hal, rise time tegangan impuls menjadi hal yang perlu diperhatikan, untuk itu perlu mengetahui pengaruh pengaturan bentuk gelombang dari gelombang impuls masukan untuk mengetahui gelombang luaran yang tepat. Pengaturan ini dilakukan dengan mengubah besaran nilai resisten dan capacitance.

Peneliti Grubic (2007), menyampaikan kurang lebih 80% kegagalan elektrik stator berasal dari lemahnya isolasi antar lilitan. Kondisi isolasi dapat diketahui dengan menerapkan tegangan surja pada lilitan. Pengujian dengan tegangan surja pada prinsipnya menerapkan tegangan dengan waktu naik yang cepat pada lilitan, kemudian menggunakan hukum lenz, akan timbul tegangan yang diinduksikan antara kalang (*loop*) yang berdekatan. Jika tegangan yang timbul cukup tinggi, maka akan dibangkitkan busur (*arc*). Proses tersebut dapat diketahui dengan mengamati tanggapan impuls motor atau dikenal sebagai *surge waveform* sedangkan drobyshevski (2003) berkesimpulan salah satu cara mengamati tanggapan impuls adalah metode impuls tegangan rendah (*low voltage impuls method*) dan telah digunakan sejak tahun 1973 di rusia. Pada dasarnya, cara ini menerapkan tegangan rendah (tegangan kurang dari 1000 volt) pada belitan dan merekam tanggapan impuls yang timbul. Cara ini dianggap cukup memadai untuk mengetahui perubahan mekanik pada belitan.

B. Landasan Teori

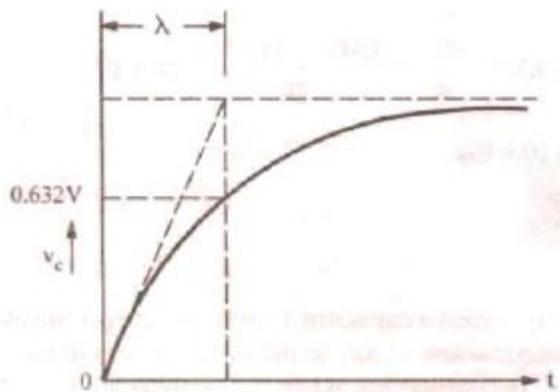
B.1.1 Kapasitor

Kapasitor terdiri dari dua penghantar yang dipisahkan oleh isolator, mempunyai kemampuan menyimpan muatan listrik dengan muatan negatif pada salah satu penghantar dan muatan positif pada penghantar lainnya. Kemampuan menyimpan muatan listrik atau *capacitance* dirumuskan sebagai berikut :

$$C = \frac{q}{V} \dots \dots \dots 2.1$$

B.1.2 Pengisian muatan kapasitor

Kapasitor C diberi muatan melalui resisten R dari batere V.



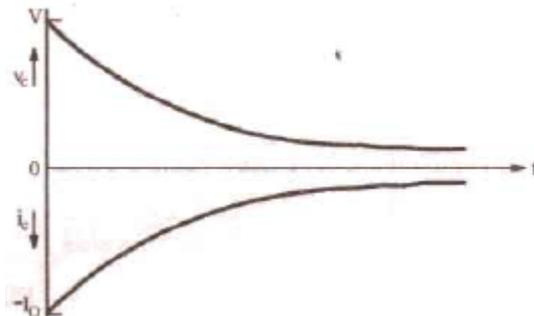
Gambar 2.1 Pengisian dengan variasi waktu

Dengan $V_c = \frac{q}{C}$ dan $V = \frac{Q}{C}$
 maka $q = Q \left(1 - e^{-\frac{t}{\lambda}}\right)$ 2.2

Mengingat $\frac{dq}{dt} = i_c$,
 $i_c = \frac{V}{R} e^{-\frac{t}{\lambda}}$ 2.3

$i_c = i_0 e^{-\frac{t}{\lambda}}$ 2.4

Dengan I_0 adalah arus maksimal.



Gambar 2.2 Arus pelepasan

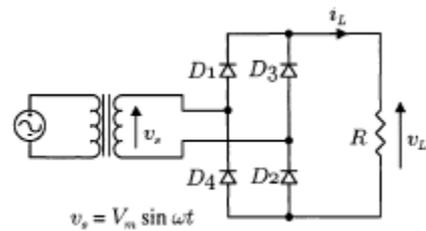
Saat pelepasan, $t=0$,

$\frac{v_c}{v} = e^{-\frac{t}{\lambda}}$ atau $V_c = V e^{-\frac{t}{\lambda}}$ 2.5

$q = Q e^{-\frac{t}{\lambda}}$ dan $i_c = -i_0 e^{-\frac{t}{\lambda}}$ 2.6

$V_R = -V e^{-\frac{t}{\lambda}}$ 2.7

B.1.4 Jembatan Penyearah (Bridge Rectifier)



Gambar 2.3 Jembatan penyearah

Mempergunakan empat diode dapat menghasilkan penyearahan gelombang penuh. Pada saat setengah siklus positif, arus mengalir melalui D1 dan d2, setengah siklus negatif berikutnya arus mengalir melalui D3 dan D4. Harga tegangannya rata-rata adalah ;

$V_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T V_L(t) dt$ 2.6

Untuk $V_L(t) = V_m \sin \omega t$, kedua siklus dapat ditulis:

$V_{dc} = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi V_m \sin \omega t d(\omega T)$ 2.7

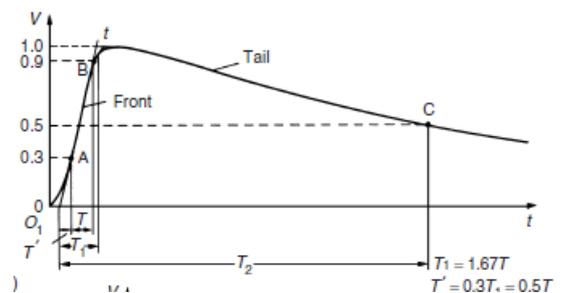
Sehingga,

$V_{dc} \text{ gelombang penuh} = \frac{2V_m}{\pi} = 0,636 V_m$...2.8

B.1.5 Tegangan impuls

Tegangan impuls adalah tegangan yang amplitudo gelombangnya secara relatif cepat mencapai puncak tegangan normal operasinya. Badan standar telah mendefinisikan tegangan impuls sebagai tegangan satu arah yang naik dengan relatif cepat menuju nilai puncaknya kemudian menurun secara relatif perlahan menuju nilai nol (Kuffel, 2000). Secara umum dibedakan menjadi impuls petir (*lightning impulse*) dan impuls pensaklaran (*switching impulse*).

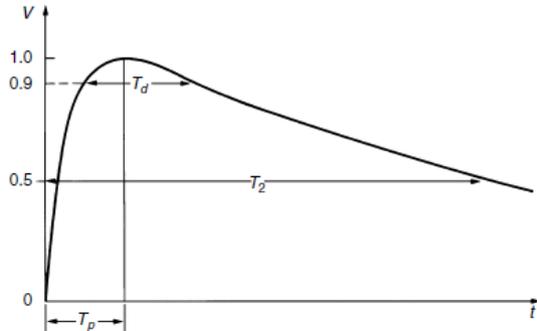
Impuls petir memiliki durasi muka (*front*) berkisar dari kurang dari satu sampai puluhan mikro detik.



Gambar 2.4 Bentuk umum tegangan impuls petir

Waktu muka (*front time*) ditentukan sebagai 1,67 kali besarnya interval T yaitu saat impuls 30 persen dan 90 persen.. Secara umum, waktu muka T1 adalah $1.2 \mu s$ dan waktu ke nilai setengahnya T2 adalah $50 \mu s$ dengan toleransi ± 30 persen untuk T1 dan ± 20 persen untuk T2. Secara umum dituliskan T1/T2 impuls menjadi 1.2/50 impuls.

Bentuk kedua adalah impuls pensaklaran (*switching impulse*). Jenis ini dikenal memiliki waktu ke puncak T_p yang didefinisikan sama dengan waktu menuju nilai setengahnya, T2.



Gambar 2.5 Bentuk umum tegangan impuls pensaklaran

Hal ini dikarenakan sulit memperoleh nilai puncak yang tepat lalu digantikan oleh T_d , yaitu waktu pada 90 persen nilai puncak. Dengan demikian, standar waktu untuk impuls pensaklaran adalah :

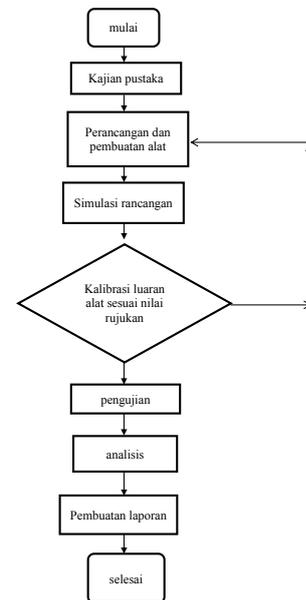
$$T_p = 250 \mu s \pm 20 \%$$

$$T_2 = 2500 \mu s \pm 60 \%$$

Selanjutnya dikenal menjadi 250/2500 impuls.

Sedangkan untuk keperluan pengujian, digunakan impuls yang mempunyai amplitudo di bawah 1000 Volt sehingga dikenal sebagai impuls tegangan rendah (Drobyshevski , 2003). Seperti halnya impuls tegangan tinggi, pada impuls tegangan rendah juga berlaku penanda-penanda untuk muka gelombang dan ekor gelombang mengikuti ketentuan yang telah digunakan pada impuls tegangan tinggi

III. METODOLOGI PENELITIAN

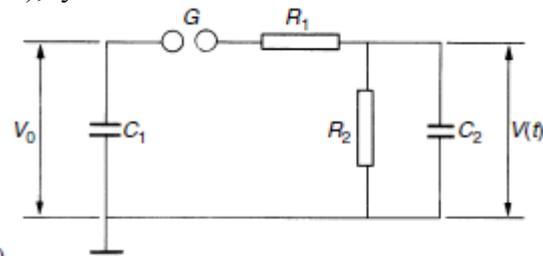


Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian

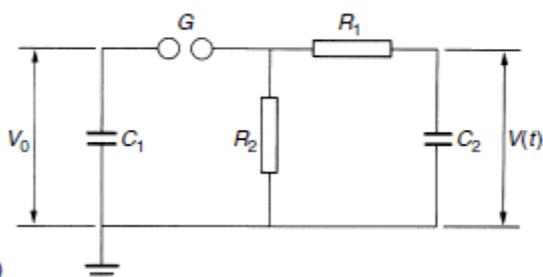
IV. PEMBAHASAN

4.1 Generator impuls satu tingkat

Generator impuls tegangan rendah satu tingkat Berdasarkan dua jenis rangkaian generator (Kuffel, 2000), yaitu :



Gambar 4.1 Generator Impuls Satu Tingkat jenis a



Gambar 4.2 Generator impuls satu tingkat jenis b

Dipilih generator jenis b karena generator jenis b mempunyai nilai efisiensi lebih tinggi dari generator jenis a berdasarkan perbandingan C_2/C_1 (Kuffel, 2000).

Secara umum, upaya menentukan nilai tahanan R_1 dan R_2 untuk C_1 dan C_2 memerlukan langkah yang penting. Generator kapasitas relatif besar biasanya pelepasan kapasitor ditentukan untuk memperoleh efisiensi yang memadai pada daerah beban C_2 . Adapun tahanan-tahanan yang tidak diketahui dapat dihitung dengan persamaan-persamaan di atas. Untuk generator jenis a berlaku :

$$R_1 = \frac{1}{2C_1} \left[\left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right) - \sqrt{\left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^2 - \frac{4(C_1 + C_2)}{\alpha_1 \alpha_2 C_2}} \right] \dots\dots\dots 4.1$$

$$R_2 = \frac{1}{2(C_1 + C_2)} \left[\left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^2 - \frac{4(C_1 + C_2)}{\alpha_1 \alpha_2 C_2}} \right] \dots\dots\dots 4.2$$

sedangkan untuk generator jenis b berlaku :

$$R_1 = \frac{1}{2C_2} \left[\left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right) - \sqrt{\left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^2 - \frac{4(C_1 + C_2)}{\alpha_1 \alpha_2 C_1}} \right] \dots\dots\dots 4.3$$

$$R_2 = \frac{1}{2(C_1 + C_2)} \left[\left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^2 - \frac{4(C_1 + C_2)}{\alpha_1 \alpha_2 C_1}} \right] \dots\dots\dots 4.4$$

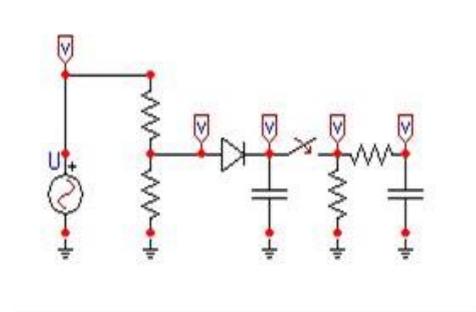
Persamaan-persamaan di atas memiliki tetapan waktu (*time constants*) $1/\alpha_1$ dan $1/\alpha_2$, tergantung pada bentuk gelombang yang digunakan. Namun demikian tidak ada yang secara ringkas menerangkan hubungan antara T_1 , T_2 , dan T_p . Hubungan ini diperoleh menggunakan persamaan analisis untuk memperoleh nilai T_1 , T_2 , dan T_p . Nilai standar untuk T_1 dan T_2 pada kenyataan sulit diperoleh, sehingga toleransi nilai T_1 dan T_2 menjadi diperlukan untuk menentukan harga tahanan.

Usaha menentukan nilai tahanan R_1 dan R_2 untuk C_1 dan C_2 yang sudah diketahui, menjadi langkah penting (Kuffel, 2000). Dengan demikian langkah awal adalah menentukan nilai C_1 dan C_2 . Nilai kapasitas C_1 lebih besar dari nilai kapasitas C_2 . Nilai kapasitas dipilih yang relatif mudah ditemui di pasaran dengan tujuan memudahkan pembuatan dan penggantian bila mengalami kerusakan. Kapasitor dengan kapasitas relatif besar untuk C_1 dipilih kapasitor yang digunakan pada mesin cuci yaitu memiliki penanda sebagai berikut :

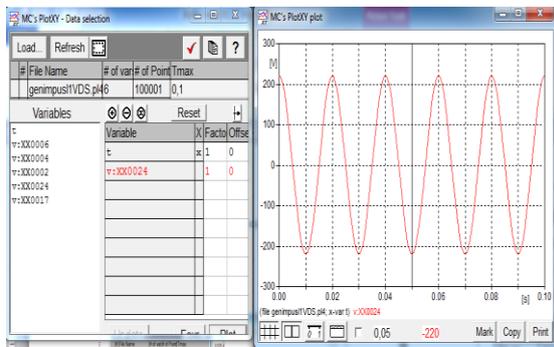
Tabel 4.6 Benda-benda uji dan satuan

Benda	Satuan
Sumber V	220 Volt AC
	$T_{sta} = 0$ detik
	$T_{sto} = 1$ detik
Diode	$I_{hold} = 0$ A
Kapasitor C_1	12 μ F
Kapasitor C_2	6 μ F
Tahanan R_1	16 Ω
Tahanan R_2	174 Ω
Saklar	$T_{cl} = 0$ detik
	$T_{op} = 0.001$ detik
Probe	Volt meter

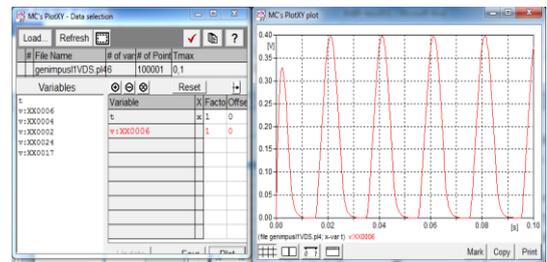
4.2 Generator Impuls



Hasil simulasi rangkaian di atas adalah :



Gambar 4.20 Pilihan Data dan hasil simulasi untuk sumber, $T_{max} = 0.1$ detik



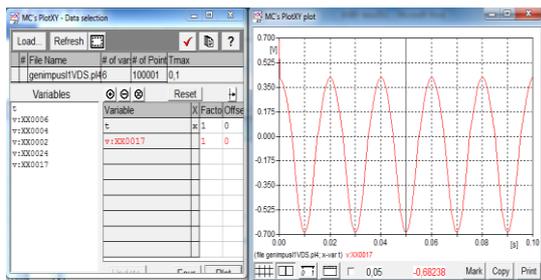
Gambar 4.24 Pilihan Data dan hasil simulasi untuk C_2 , $T_{max} = 0.1$ detik

diketahui bahwa :

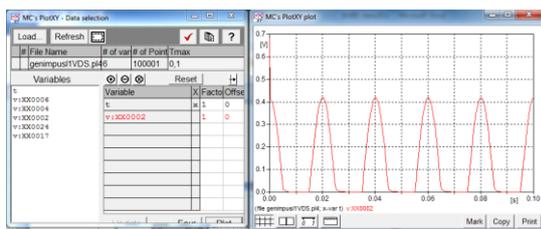
$$P = V \cdot I$$

Untuk tahanan $R_1 = 16 \Omega$, maka $I = \sqrt{\frac{15}{16}}$
 $= 0,9$ amper.

Agar komponen tidak mengalami kerusakan, arus yang melalui masing-masing komponen diusahakan tidak melebihi arus maksimal. Apabila arus maksimal komponen terlampaui, dimungkinkan komponen akan mengalami kerusakan. Hal ini seperti terlihat pada hasil simulasi generator impuls tanpa pembagi tegangan luaran penyearah.



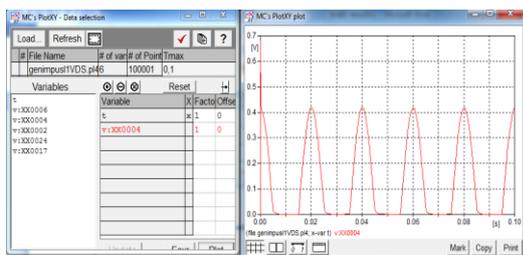
Gambar 4.21 Pilihan Data dan hasil simulasi untuk Pembagi Tegangan, $T_{max} = 0.1$ detik



Gambar 4.22 Pilihan Data dan hasil simulasi untuk Penyearah, $T_{max} = 0.1$ detik

Semestinya luaran penyearah berupa tegangan searah, tetapi pada simulasi nampak terdapat komponen bolak-balik. Hal tersebut terjadi karena tahanan R_1 yang menerima arus pelepasan C_1 hasil penyearahan dari Dioda, tidak mampu menahan tegangan dari sumber sebesar $\sqrt{2} V$ sumber atau $\sqrt{2} \cdot 220 = \pm 313$ Volt. Luaran 313 Volt akan memberikan arus tahanan pada $R_1 16 \Omega$, sebesar 19,56 amper. Akibat yang ditimbulkan adalah kerusakan R_1 yang berpengaruh timbulnya komponen bolak-balik pada hasil luaran Penyearah.

Sebagai pelindung, digunakan pembagi tegangan yang dipasang setelah sumber tegangan. Hal ini dimaksudkan agar tegangan yang memasuki dioda aman tidak merusak dioda dan tahanan R_1 . Tegangan yang memasuki dioda dibatasi menjadi 0.9 volt. Jika dipilih $R_2 = 10 \Omega$, maka R_1 akan menjadi $\pm 3214 \Omega$. Pengaruh penggunaan pembagi tegangan nampak pada simulasi dengan rangkaian generator dengan pembagi tegangan.



Gambar 4.23 Pilihan Data dan hasil simulasi untuk C_1 , $T_{max} = 0.1$ detik

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dapat diambil kesimpulan sementara sebagai berikut:

- Nilai-nilai komponen generator impuls tegangan rendah diperoleh dengan menggabungkan perhitungan dari sumber pustaka serta metode coba-coba.
- Nilai yang diperoleh tidak selalu ada dengan nilai komponen yang dibutuhkan. Oleh karena itu ketidakesesuaian nilai perhitungan dengan nilai sesungguhnya memungkinkan timbulnya perbedaan gejala yang diamati pada benda uji. Perbedaan nilai komponen juga dimungkinkan terjadi karena nilai tertulis pada pengenal benda berbeda dengan nilai yang terukur.
- Program simulasi menjadi alat bantu analisis awal sebelum rancangan dibuat juga dapat digunakan mengetahui kemungkinan terjadinya kerusakan peralatan sehingga upaya-upaya pencegahan dapat dilaksanakan.
- Generator Impuls tegangan rendah merupakan gabungan dari penyearahan dan pembangkitan impuls. Sedangkan pembangkitan gelombang impuls didasari oleh adanya gelombang searah yang memadai sebagai pengisi muatan kapasitor. Namun, penyearahan dari tegangan bolak-balik menjadi searah, tidak menghasilkan bentuk gelombang searah murni. Oleh karena itu perlu evaluasi yang cukup tentang penyearahan yang dilakukan sehingga hasil akhir pembangkitan impuls dapat sesuai dengan yang direncanakan.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan serta dari kesulitan-kesulitan yang ditemui selama melakukan penelitian, maka disarankan untuk melakukan beberapa hal, antara lain :

- Memanfaatkan daftar bahan atau komponen sebagai pilihan mencari bahan atau komponen yang diperlukan.
- Nilai toleransi bahan atau komponen sebaiknya dipilih sekecil mungkin sehingga

selisih nilai tertulis dengan nilai terukur relatif tidak banyak.

- Apabila memungkinkan, lebih baik menggunakan sumber searah murni daripada menyearahkan terlebih dahulu untuk memperkecil kemungkinan terjadinya kesalahan akibat kurang sempurnanya penyearahan yang dilakukan.

REFERENSI

- [1] Campbell, S. R., Stone, G. C., 2000, *Examples of Stator Winding Partial Discharge Due to Inverter Drives*, ISEI 2000, Anaheim.
- [2] Drobyshevski, A. A., 2003, *Assesment of Transformer Winding Mechanical Condition by Low-Voltage Impulse Method*, IEEE Bologna Power Tech Conference, Italy.
- [3] Fenger, M., Steven, R. C., Jan, P., 2003, *Motor Winding Problems Caused by Inverter Drives an Investigation into Stator Winding Failures caused by the Voltage Surge Environment*, IEEE Industry Applications Magazin.
- [4] Grubic, 2007, *A survey of Testing and Monitoring Methods for Stator Insulation Systems In Induction Machines*, Georgia Institute of Technology, Atlanta.
- [5] Jayaraju, M., Daut, I., Adzma, M., 2008, Impulse Voltage Generator Modelling using MATLAB, *World Journal of Modelling and Simulation*, No. 1, Vol. 4, halaman 57-63, ISSN 1746-7233, England, UK.
- [7] Kuffel, 2000, *High Voltage Engineering: Fundamentals*, Butterworth-Heinemann, Newnes, Great Britanian.
- [8] Melfi, M., Jason, S., Sid, B., Gary, S., 1997, *Effect of Surge Voltage Risetime on the Insulation of Low Voltage Machines Fed by PWM Converters*, 07803-4070-1/97/\$10.00 (c) 1997 IEEE.
- [10] Swain, Mayadhar, 2007, *Insulation and Polarization Index Test of Generator and Motor*, Electrical India, no. 1, Vol. 47, halaman 33-45, India .
- [11] Tobing , B. L., 2003, *Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.