

STUDI KOMPUTER TENTANG TRANSIEN PEMBUKAAN PEMUTUS BEBAN PADA SALURAN TRANSMISI

Noor Akhmad Setiawan*, T. Haryono**

ABSTRACT

Opening of a circuit breaker results in an electrical transient. In many cases, it produces overvoltages on electrical components involved. Because the maximum transient over voltage on load that uses the circuit breaker can be predicted, then apparatus damaged can be avoided.

This research is to predict maximum circuit breaker opening transient voltage on apparatus using software that can simulate restriking transient processes. Simplification has been done in computation. Computer program was formulated using Runge-Kutta method differentiation to represent the parameter involved.

Simulation results show that high dielectric strength and high interrupting capability of circuit breaker can reduce the risk of damaged of the apparatus.

PENGANTAR

Pembukaan pemutus beban (*circuit breaker*) pada suatu sumber berbeban peralatan melalui saluran transmisi menimbulkan tegangan transien dengan gelombang yang dipantulkan dan diteruskan. Bila nilai tegangan transien ini melebihi kemampuan nominal tegangan peralatan, dalam jangka panjang akan mempengaruhi umur peralatan. Tegangan transien ini dapat menyebabkan kegagalan sistem proteksi karena pemutus beban praktis membutuhkan waktu memutus dan membuka terminal-terminalnya. Oleh karena itu, perlu dilakukan perhitungan pada rangkaian yang ekuivalen dengan suatu sumber berbeban, untuk mengetahui pengaruh parameter komponen yang berpengaruh dengan pemutus beban terhadap tegangan transien yang muncul. Jika nilai tegangan transien pembukaan pemutus beban dapat diprediksikan terlebih dahulu dengan simulasi, maka timbulnya tegangan transien yang berbahaya bagi peralatan pada pembukaan pemutus beban dapat dicegah dengan memperbaiki nilai parameter komponen yang berpengaruh.

Ketika arus gangguan hubung singkat atau beban lebih diputus oleh pemutus beban, osilasi transien akan muncul melewati pemutus beban yang disebut *transient recovery voltage* (TRV). Apabila TRV yang melewati pemutus beban ini terlalu tinggi, pemutus beban akan gagal untuk memutus arus gangguan. Hal ini disebabkan oleh kekuatan dielektrik pemutus beban lebih kecil dibanding TRV tersebut (Haryono, 1985). Peristiwa tersebut dinamakan *restrike*. Berhentinya *restrike* ini ditentukan oleh kemampuan pemutusan pemutus beban. Jika perubahan arus nol *restrike* pemutus beban kurang dari kemampuan pemutusan yang tergantung dengan nilai kritis perubahan arus pemutus

beban, *restrike* akan berhenti. Setiap pemutus beban yang berbeda tipe mempunyai sifat yang berbeda pula dalam menangani hal tersebut (Greenwood, 1971). Pemutus beban vakum mempunyai kapasitas pemutusan dan kekuatan dielektrik tertinggi. Sedangkan pemutus beban minyak dan gas SF6 mempunyai nilai kritis perubahan arus yang rendah, yaitu 20 A/μs dan 50 A/μs (Haryono, 1985). Metode *Runge-Kutta* efisien untuk perhitungan penyelesaian persamaan diferensial biasa dengan komputer (Chapra, 1990).

Arus cabang induktans dan tegangan cabang kapasitans memiliki persamaan sebagai berikut :

$$\frac{di}{dt} = \frac{v(t)}{L} \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{i(t)}{C} \dots\dots\dots (2)$$

Dengan metode *Runge-Kutta* orde dua , persamaan (1) di atas dapat diubah :

$$i(t) = \frac{v(t)}{2L} \Delta t + i(t - \Delta t) + v(t - \Delta t) \frac{\Delta t}{2L} \dots (3)$$

Persamaan (3) dapat ditulis ulang menjadi

$$i(t) = \frac{v(t)}{R_L} + I_L \dots\dots\dots (4)$$

dengan :

$$I_L = i(t - \Delta t) + \frac{v(t - \Delta t)}{R_L} \dots\dots\dots (5)$$

= nilai arus sebelumnya

$$R_L = \frac{2L}{\Delta t} \dots\dots\dots (6)$$

* Noor Akhmad Setiawan, ST., MT., Staf pengajar Jurusan Teknik Elektro FT UGM
** Ir. T. Haryono, M.Sc., C.Eng., MIEE., Staf pengajar Jurusan Teknik Elektro FT UGM

untuk persamaan (2) :

$$i(t) = \frac{v(t)}{\Delta t} 2C - i(t - \Delta t) - v(t - \Delta t) \frac{2C}{\Delta t} \quad (7)$$

Persamaan (7) dapat ditulis ulang menjadi

$$i(t) = \frac{v(t)}{R_c} + I_c \quad \dots\dots\dots (8)$$

dengan :

$$I_c = -i(t - \Delta t) - \frac{v(t - \Delta t)}{R_c} \quad \dots\dots\dots (9)$$

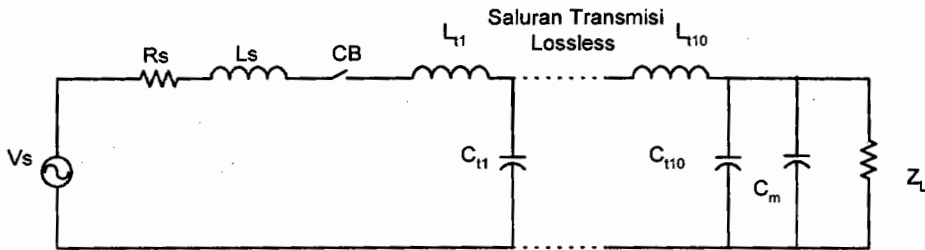
= nilai arus sebelumnya

$$R_c = \frac{\Delta t}{2C} \quad \dots\dots\dots (10)$$

Keterangan :

- $i(t)$ = arus sesaat (A) ,
- $v(t)$ = tegangan sesaat (V),
- t = waktu (sekon) ,
- Δt = inkremen waktu (sekon),
- L = induktans (H),
- C = kapasitans (F)

Rumus-rumus persamaan (1) sampai (10) dapat diimplementasikan pada rangkaian Gambar 1 dengan teorema rangkaian listrik.

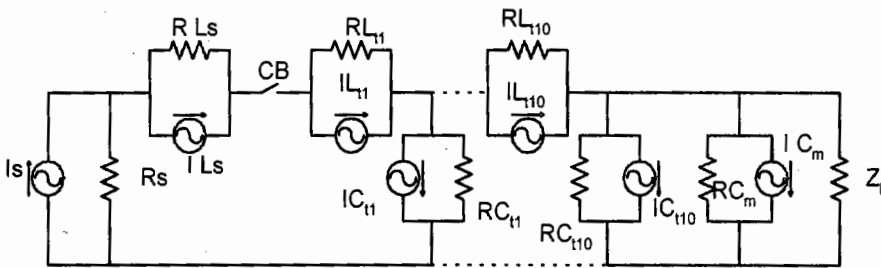


keterangan :

- | | |
|--------------------------------|-------------------------------|
| V_s = tegangan sumber (V) | CB = pemutus beban |
| R_s = resistans sumber (Ohm) | C_m = kapasitans beban (F) |
| L_s = induktans sumber (H) | Z_L = impedans beban (Ohm) |
| C_t = kapasitans saluran (F) | L_t = induktans saluran (H) |

Gambar 1 Contoh skema rangkaian asli dengan beban C_m dan Z_L

Sehingga didapatkan rangkaian ekivalen :



Gambar 2. Rangkaian ekivalen Gambar 1

Keterangan :

- | | |
|---|--|
| I_s = arus sumber (A) | $I_{L_{t1}}$ = arus lampau L_{t1} (A) |
| R_s = resistans sumber (Ohm) | $R_{L_{t1}}$ = resistans semu L_{t1} (Ohm) |
| CB = pemutus beban | $I_{L_{t10}}$ = arus lampau L_{t10} (A) |
| Z_L = impedans beban (Ohm) | $R_{L_{t10}}$ = resistans semu L_{t10} (Ohm) |
| I_{L_s} = arus lampau L_s (A) (lih. Gb.1) | $I_{C_{t1}}$ = arus lampau C_{t1} (A) |
| R_{L_s} = resistans semu L_s (Ohm) (lih. Pers. (6)) | $R_{C_{t1}}$ = resistans semu C_{t1} (Ohm) |
| I_{C_m} = arus lampau C_m (A) (lih. Gb.1) | $I_{C_{t10}}$ = arus lampau C_{t10} (A) |
| R_{C_m} = resistans semu C_m (Ohm) (lih. Pers. (10)) | $R_{C_{t10}}$ = resistans semu C_{t10} (Ohm) |

Kemudian rangkaian Gambar 2 ditentukan persamaan matrik konduktansnya berdasar metode simpul. Matriks konduktans ini kemudian diinvers, lalu hasilnya dikalikan dengan vektor arus simpul untuk memperoleh tegangan simpul. Nilai arus-arus cabang ini digunakan lagi pada iterasi selanjutnya sebagai nilai arus lampu.

CARA PENELITIAN

Prosedur Penelitian

1. Rangkaian dasar dengan tegangan sumber, resistans sumber, induktans sumber, pemutus beban, saluran transmisi tanpa rugi-rugi (*lossless*), kapasitans beban, beban berupa impedans surja transien disimulasikan dengan membuka pemutus beban saat keadaan tunak dengan sudut 90 derajat.
2. Dilakukan variasi nilai kemampuan dielektrik pemutus beban, hasilnya ditampilkan sebagai grafik distribusi tegangan pada beban.
3. Dilakukan variasi nilai kemampuan pemutusan pemutus beban, hasil berupa grafik distribusi tegangan pada beban.
4. Dilakukan variasi nilai impedans beban, hasil diwujudkan dalam grafik distribusi tegangan pada beban.
5. Dilakukan variasi nilai kapasitans beban, hasil ditampilkan dalam grafik distribusi tegangan pada beban.

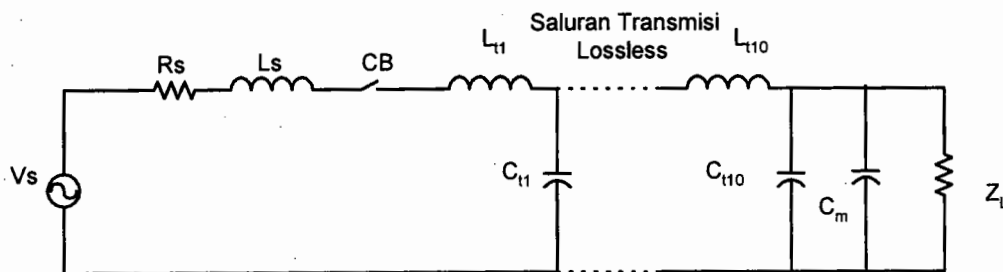
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Perubahan Kekuatan Dielektrik Pemutus Beban

Gambar 4 sampai dengan Gambar 6 menunjukkan bentuk gelombang tegangan pemutus beban (VCB), arus yang melewati pemutus beban (ICB), dan tegangan pada beban (VT) dengan variabel dan parameter yang nilai-nilainya adalah :

Resistans sumber $R_s = 0.00001$ Ohm; frekuensi $f = 50$ Hz; induktans sumber $L_s = 4e-6$ H; induktans saluran transmisi $L_t = 2e-6$ H; kapasitans saluran transmisi $C_t = 0.0064e-6$ F; kapasitor surja pada beban $C_m = 0.002e-6$ F; impedans surja beban $Z_L = 100$ Ohm; tegangan sumber $V_{s(L-L)} = 6600$ V; inkremen $dt = 0.015e-6$ sekon; kemampuan pemutusan $di/dt = 600$ A/mikrosekon.

Pada Gambar 4 dengan kekuatan dielektrik 90 V/mikrosekon terlihat bahwa sampai waktu 30 mikrosekon *restrike* belum berhenti, meskipun pemutus beban telah menghentikan *restrike* sejak awal terjadinya pembukaan pemutus beban. Hal ini disebabkan oleh kekuatan dielektrik pemutus beban yang tidak mampu menahan tegangan pada kontak-kontaknya atau TRV (*Transient Recovery Voltage*) sehingga *restrike* terjadi berulang-ulang. Tegangan maksimum pada beban sebesar 2.5733626 p.u.



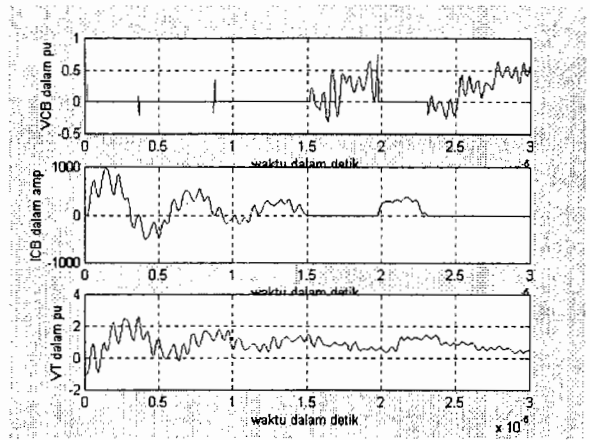
Gambar 3 Rangkaian yang disimulasikan pada point 1

Keterangan :

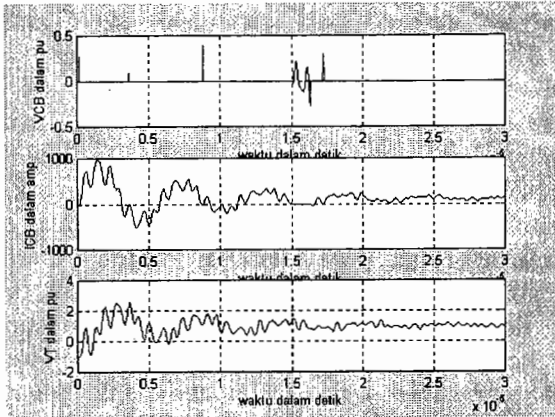
V_s = tegangan sumber (V)
 R_s = resistans sumber (Ohm)
 L_s = induktans sumber (H)
 CB = pemutus beban

$L_{t1} \dots L_{t10}$ = induktans saluran (H)
 $C_{t1} \dots C_{t10}$ = kapasitans saluran (F)
 C_m = kapasitans motor
 Z_L = impedans surja beban

Dengan Gambar 5 diperoleh informasi bahwa pada kekuatan dielektrik pemutus beban sebesar 150 V/mikrosekon terlihat bahwa *restrike* telah berhenti setelah sekitar 23 mikrosekon. Apabila dibandingkan dengan Gambar 6 dengan kekuatan dielektrik 200 V/mikrosekon, *restrike* pada Gambar 5 terjadi lebih sering, karena kemampuan menahan TRV lebih rendah dibanding pemutus beban yang disimulasikan pada Gambar 6. Tegangan maksimum beban untuk Gambar 5 dan Gambar 6 sebesar 2.5733626 p.u. , tidak terjadi perubahan tegangan maksimum pada beban karena besarnya hanya ditentukan pada awal terjadinya pembukaan pemutus beban.



Gambar 6 Grafik simulasi transien pembukaan pemutus beban dengan kekuatan dielektrik 200 V/mikrosekon (Tegangan CB dan Beban, Arus CB)



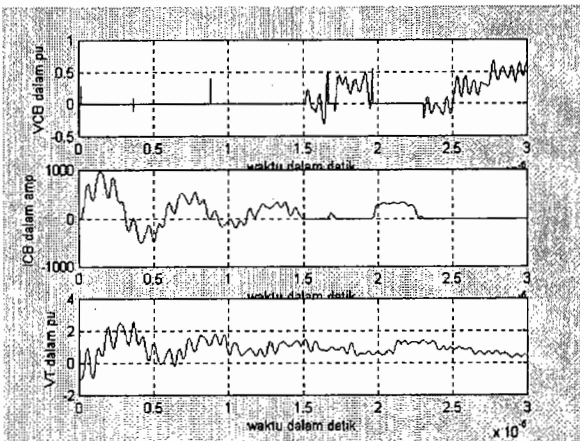
Gambar 4. Grafik simulasi transien pembukaan pemutus beban dengan kekuatan dielektrik 90V/mikrosekon (Tegangan CB dan Beban, Arus CB)

Pengaruh Perubahan Kemampuan Pemutusan Pemutus Beban

Gambar 7 sampai dengan Gambar 9 menunjukkan bentuk gelombang tegangan pemutus beban (VCB), arus yang melewati pemutus beban (ICB), dan tegangan pada beban (VT) dengan variabel dan parameter yang nilai-nilainya sbb:

Resistans sumber $R_s=0.00001$ Ohm; frekuensi $f=50$ Hz; induktans sumber $L_s=4e-6$ H; induktans saluran transmisi $L_t=2e-6$ H; kapasitans saluran transmisi $C_t=0.0064e-6$ F; kapasitor surja pada beban $C_m=0.002e-6$ F ; impedans surja beban $Z_l=100$ Ohm; tegangan sumber $V_{s(L-L)}=6600$ V; inkremen $dt=0.015e-6$ sekon; kekuatan dielektrik $dv/dt=200$ V/mikrosekon.

Pada Gambar 7 terlihat bahwa kemampuan pemutus sebesar 50 A/mikrosekon tidak mampu menghentikan *restrike* sampai waktu 30 mikrosekon, berhentinya *restrike* terjadi pada selang waktu antara 15 sampai 20 mikrosekon. Sedangkan pada Gambar 8 dan Gambar 9, pemutus beban berhasil menghentikan *restrike* karena kemampuan pemutus yaitu 300 dan 600 A/mikrosekon lebih besar dari kecuraman arus nol pada pemutus beban, *restrike* lebih banyak terjadi pada pemutus beban dengan kemampuan pemutus 600 A/mikrosekon karena *restrike* sejak awal telah dihentikan akan tetapi kekuatan dielektrik belum mampu menahan TRV yang terjadi. Tegangan maksimum beban masing-masing 2.5761270, 2.5733626 , 2.5733626 p.u., Hal ini terjadi karena untuk pemutus beban dengan kemampuan pemutus 50 A/mikrosekon tidak terjadi penghentian *restrike* pada awal terjadinya pembukaan pemutus beban.



Gambar 5. Grafik simulasi transien pembukaan pemutus beban dengan kekuatan dielektrik 150 V/mikrosekon (Tegangan CB dan Beban, Arus CB)

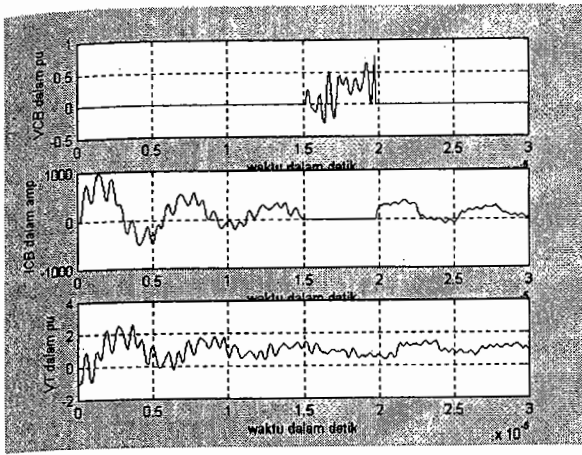
Pengaruh kekuatan dielektrik dan kemampuan pemutus dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Pengaruh kekuatan dielektrik terhadap kemungkinan terjadinya *restrike* dan waktu berhentinya pada CB dengan kemampuan pemutus 600 A/mikrosekon dengan waktu simulasi 30 mikrosekon

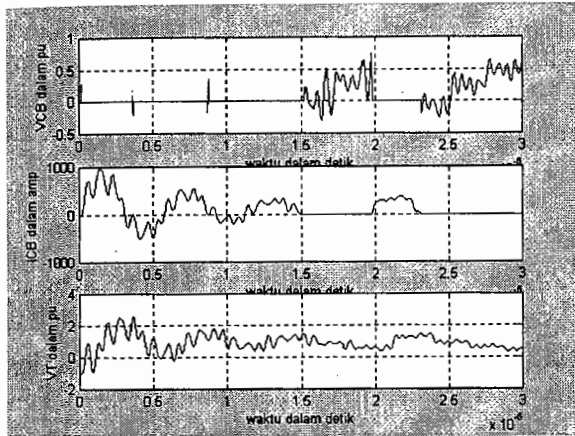
Kekuatan dielektrik (V/mikrosekon)	Jumlah <i>restrike</i> sampai akhir simulasi	Waktu berhentinya <i>restrike</i> sampai akhir simulasi (mikrosekon)
90	5	belum berhenti
150	5	23
200	4	23

Tabel 2. Pengaruh kemampuan pemutus terhadap kemungkinan terjadinya *restrike* dan waktu berhentinya pada CB dengan kekuatan dielektrik 200 V/mikrosekon dengan waktu simulasi 30 mikrosekon

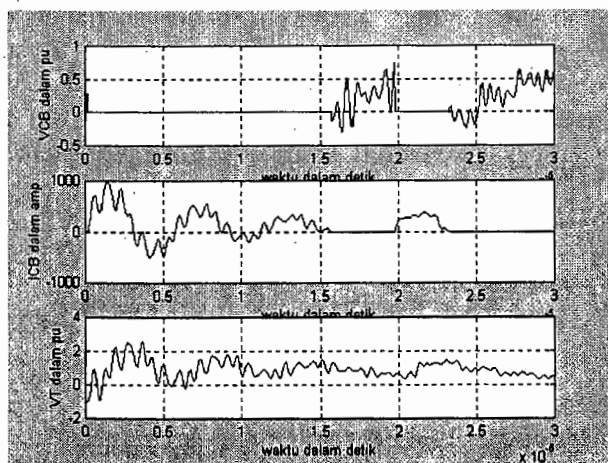
Kemampuan pemutusan (A/mikrosekon)	Jumlah <i>restrike</i> sampai akhir simulasi	Waktu berhentinya <i>restrike</i> sampai akhir simulasi (mikrosekon)
50	2	belum berhenti
300	2	23
600	4	23



Gambar 7. Grafik simulasi transien pembukaan pemutus beban dengan kemampuan pemutusan 50 A/mikrosekon (Tegangan CB dan Beban, Arus CB)



Gambar 8. Grafik simulasi transien pembukaan pemutus beban dengan kemampuan pemutusan 300 A/mikrosekon (Tegangan CB dan Beban, Arus CB)



Gambar 9. Grafik simulasi transien pembukaan pemutus beban dengan kemampuan pemutusan 600 A/mikrosekon (Tegangan CB dan Beban, Arus CB)

KESIMPULAN

1. Kekuatan dielektrik yang semakin tinggi akan semakin mampu menahan TRV sehingga kemungkinan terjadi *restrike* semakin kecil (lihat Tabel 1).
2. Kemampuan pemutusan yang semakin tinggi akan semakin cepat memutus arus nol sehingga *restrike* lebih cepat terhenti (lihat Tabel 2).
3. Pemilihan kekuatan dielektrik dan kemampuan pemutus yang sesuai sangat menentukan keandalan pemutus beban, sebab hanya dengan kemampuan pemutus yang tinggi tanpa disertai kekuatan dielektrik justru menyebabkan *restrike* yang berulang-ulang.

DAFTAR PUSTAKA

- Chapra, Steven C., Raymond P. Canale.,1990. Numerical Methods for Engineer., McGraw-Hill Book Co., Singapore.
- Greenwood, Allan., 1971, Electrical Transients in Power Systems, Wiley-interscience, Toronto.
- Haryono, T., 1985 , A Computer Study of Prestriking Transients in Motor Circuits, Department of Electrical Engineering & Electronics University of Manchester Institute of Science & Technology, Manchester.