

Simulasi Busur Api (ARC) Pada Pemutus Daya (Circuit Breaker) Dengan Menggunakan Program Matlab Simulink

Osea Zebua¹ dan Henry B.H. Sitorus¹

1. Dosen Jurusan Teknik Elektro FT Universitas Lampung
Jl. Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung

Abstrak--Pada saat CB (*circuit breaker*) melakukan pemutusan arus, akan terjadi busur api. Sebelum arus terputus, arus gangguan mengalir antara kontak-kontak circuit breaker. Akibat resistansi kecil dari kanal circuit breaker, arus mengakibatkan tegangan baru pada kontak-kontak CB yang disebut tegangan busur api. Busur api bertindak sebagai resistansi nonlinier. Pada makalah ini dibahas simulasi busur api yang terjadi pada CB dengan menggunakan program Matlab Simulink.

Fenomena busur api dimodelkan dengan menggunakan model Schavemaker dan sebagai pembandingan digunakan model Mayr. Simulasi dilakukan dengan nilai daya pemadaman $P_0=10$ MW, konstanta waktu $\tau=1.10^{-5}$ detik, konduktansi awal $g(0)=1.104$ Siemens, konstanta daya pemadaman $P_1=0,995$ pemisahan kontak (kontak terbuka pada waktu 0 detik dan nilai tegangan busur api sebelum kontak dibuka atau dipisah U_{arc} adalah nol.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa kondisi zero crossing didapat sebelum setengah dari periode gelombang arus yakni 0,0098 detik (50 Hz = 0,02 detik). Simulasi dilakukan untuk waktu buka CB yang berbeda-beda. Semakin cepat atau semakin lama CB dibuka dalam waktu setengah periode menghasilkan nilai puncak tegangan busur api atau tegangan pulih transien yang semakin besar. Hal ini mesti diperhatikan dalam pendisainan kontrol waktu buka CB.

Kata Kunci : *circuit breaker, arc model, arc interaction.*

Abstract--When circuit breaker interrupt the current then the arc would occur. Before current interrupted, the fault current flows between contactors of circuit breaker. Because the small of resistance value of circuit breaker channel and then as a consequence the current results a new voltage at contactors of circuit breaker which is called the arc voltage. The arc acts a non linier resistance.

This paper discuss arc simulation which is occurs on CB with using Matlab Simulink Program. The arc phenomenon had been modelled with using Schavemaker models and Mayr model used as a comparison. The simulation is performed with extinction power value $P_0 = 10$ MW, time constant $\tau = 1 \times 10^{-5}$ second, initial conductance $g(0) = 1 \times 10^4$ Siemens, extinction power constant $P_1 = 0.995$, contact separation at 0 second and arc voltage before contact opened (U_{arc}) is zero. The simulation result shows that zero crossing condition is obtained before a half of current wave's cycle which is at 0,0098 second (50 Hz = 0,02 second). The simulation ran for different circuit breaker opening time. More faster CB opened in a half cycle time results more bigger peak value of arc voltage or transient recovery voltage. This case must be taken into account designing of CB opening time.

Key words : *circuit breaker, arc model, arc interaction.*

A. Pendahuluan

Model busur api sudah dibuat untuk memberi pengertian yang lebih baik dari proses interupsi arus pada circuit breaker tegangan tinggi dan untuk keperluan disain dari saluran pemutusnyanya. Fenomena fisik selama pemutusan arus adalah sangat kompleks sehingga pemakaian model busur api tidak terlalu baik untuk disain busur api. Pemakaian yang paling berguna adalah interaksi busur api rangkaian. Untuk tujuan ini, model busur mensimulasikan perilaku non-linear dari busur api circuit breaker. Karena perilaku tidak linier dan konstanta waktu yang sangat kecil, perlakuan numeris yang sesuai sangat penting, sehingga perangkat lunak MATLAB dengan Toolbox Simulink dan Power System Blockset-nya sangat sesuai untuk menghitung proses transien dari fenomena non linear.

Naskah ini diterima pada tanggal 23 September 2007, direvisi pada tanggal 7 Nopember 2007 dan disetujui untuk diterbitkan pada tanggal 1 Desember 2007

B. Matlab Power System Blockset (PSB)

MATLAB SIMULINK adalah perangkat lunak yang digunakan untuk pemodelan, simulasi dan analisis system dinamis. Perangkat lunak ini mempunyai antarmuka grafis (*graphical user interface*) bagi pengguna untuk keperluan membuat model sebagai diagram blok. Pustaka blok (*block library*) dari PSB mengandung blok Simulink yang menyatakan komponen yang umum dan peralatan dari sistem tenaga listrik. Blok pengukuran (*measurement block*) dan sumber terkontrol (*controlled source*) pada pustaka blok PSB bertindak sebagai penghubung (*link*) antara sinyal listrik (tegangan dan arus) dan blok Simulink.

Pensaklaran (Switching) Dari Circuit Breaker Dan Pemodelan Busur Api

Aksi pensaklaran, fungsi dasar dari circuit breaker, berhubungan dengan perubahan status dari konduktor ke isolator pada level tegangan tertentu. Sebelum interupsi arus, arus gangguan mengalir antara kontak-kontak circuit breaker. Akibat resistansi kecil dari kanal circuit breaker, arus mengakibatkan tegangan baru pada kontak-kontak CB yang disebut tegangan busur api. Busur api bertindak sebagai resistansi nonlinier. Jika busur api telah habis pada saat arus busur menuju nol, CB dapat memutuskan arus dan daya listrik pada kanal busur api adalah nol. Selama pemutusan arus, resistansi busur api naik dari nol sampai nilai tak terhingga dalam beberapa mikrodetik. Setelah pemutusan arus, tegangan pemulihan transien (*transient*

recovery voltage) dibangkitkan di antara kontak.

Fenomena busur api di atas telah dimodelkan oleh Schavemaker [2] dengan persamaan berikut :

$$\frac{1}{g} \frac{dg}{dt} = \frac{d \ln g}{dt} = \frac{1}{\tau} \left(\frac{ui}{\max(U_{arc}|i|, P_0 + P_1ui)} - 1 \right) \quad (1)$$

dimana,

g = konduktansi busur api

u = tegangan busur api

i = arus busur api

τ = konstanta waktu busur api

P_0 = konstanta daya pemadaman awal

P_1 = konstanta pemadaman akhir; dapat diset ke nol

U_{arc} = tegangan busur api yang konstan pada daerah arus yang besar

Model Schavemaker ini, memodifikasi model Mayr dengan parameter konstanta waktu τ dan daya listrik pemadaman busur api sebagai fungsi dari daya listrik input. Parameter U_{arc} dapat digunakan untuk mencapai tegangan busur api pada interval arus yang besar.

Implementasi Model Busur Api Pada Matlab Simulink

Persamaan model busur api di atas diselesaikan dengan solusi persamaan diferensial, yakni :

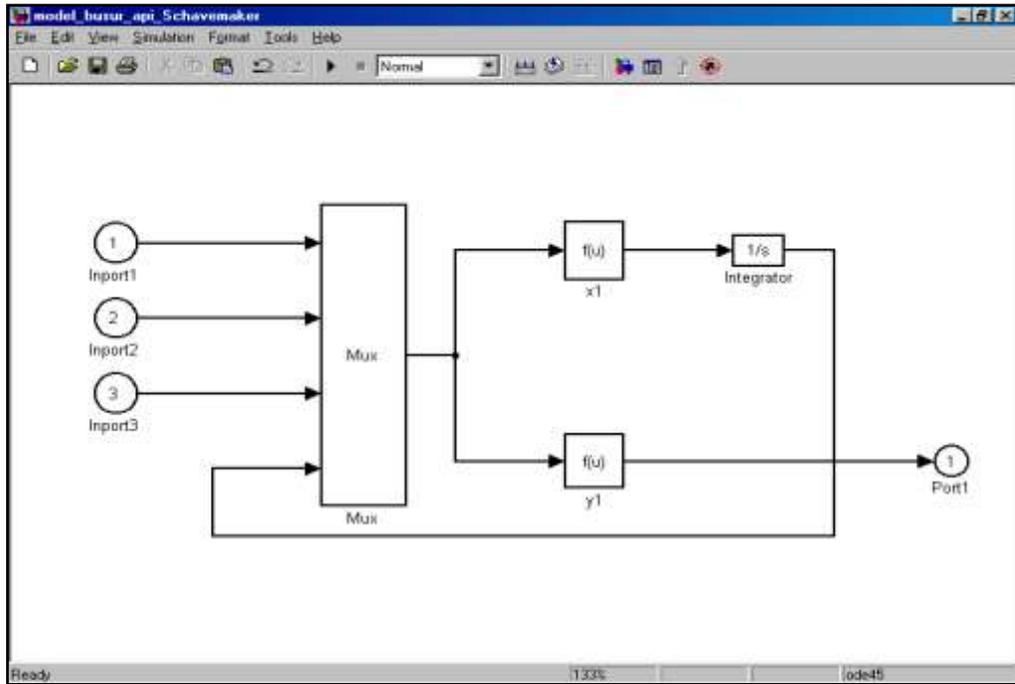
$$\frac{du(1)}{dt} = u(3) \frac{1}{\tau} \left(\frac{e^{u(4)} u(1)^2}{\max(P_0 + u(2)e^{u(4)} u(1)^2, U_{arc} |e^{u(4)} u(1)^2 P_0 + u(2)e^{u(4)} u(1)^2 + P_0 + u(2)e^{u(4)} u(1)^2|, U_{arc} |e^{u(4)} u(1)| \cdot U_{arc} |e^{u(4)} u(1)|)} - 1 \right) \quad (2)$$

dengan solusi umumnya :

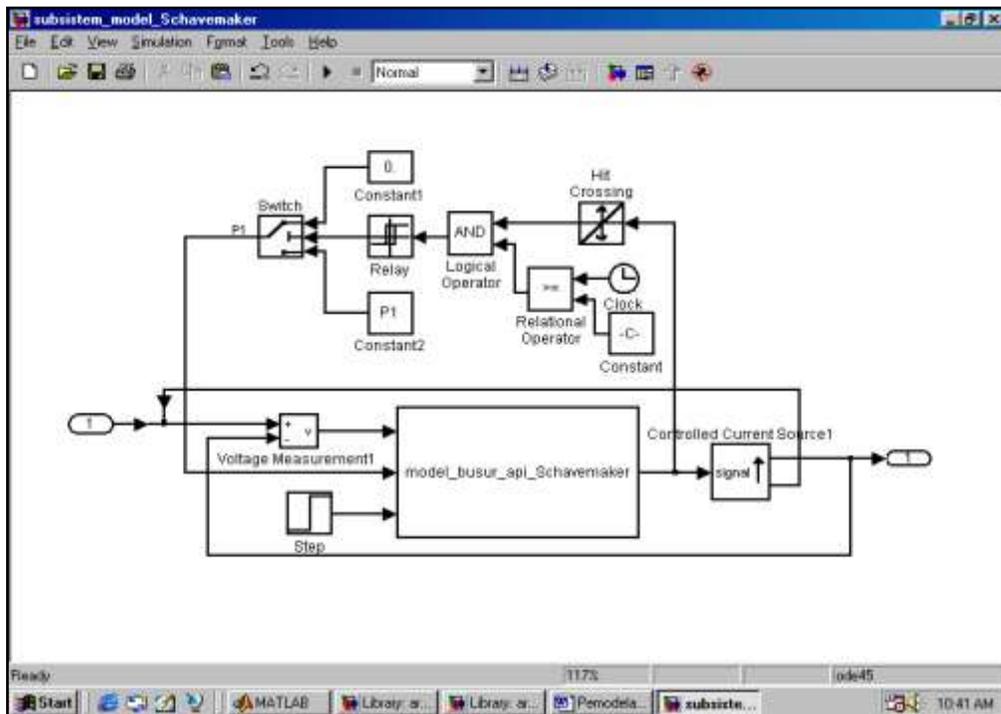
$$i = e^{u(4)} u(1) \quad (3)$$

dimana $u(1)$ adalah tegangan busur api, $u(2)$ adalah daya listrik pemadaman dan $u(3)$ adalah posisi dimana kontak tertutup atau terbuka dan $u(4)$ adalah nilai konduktansi busur api.

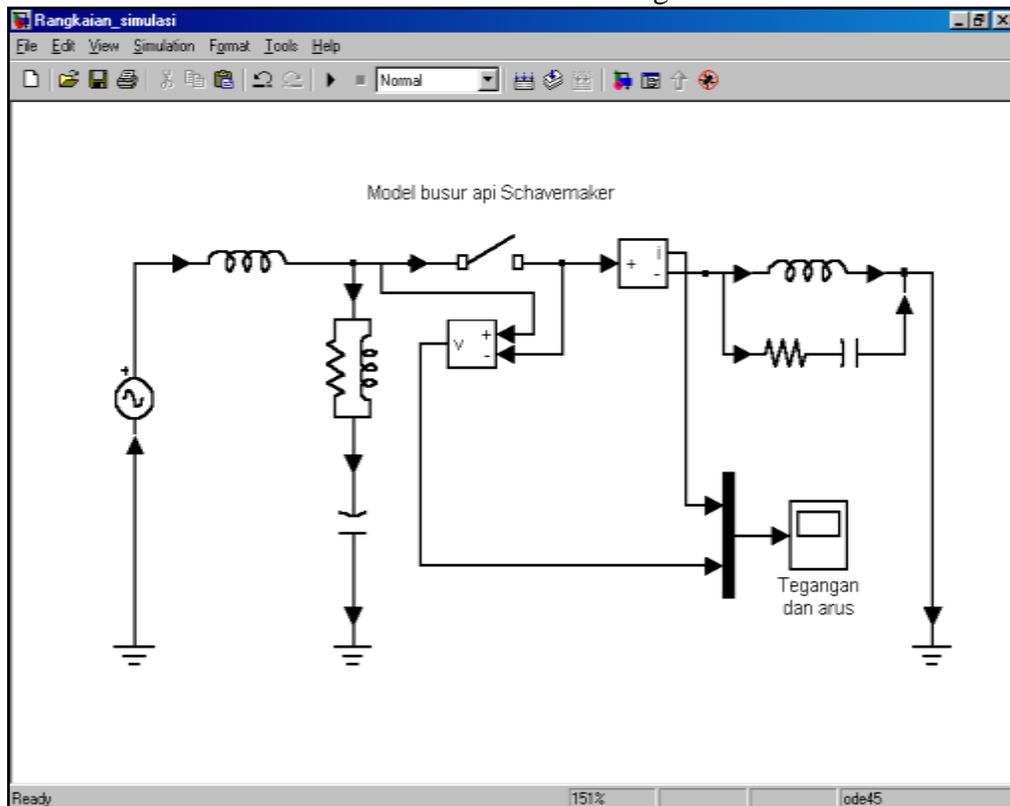
Implementasi program pada Matlab Simulink adalah membuat blok dengan mengambil blok Fcn dan menuliskan persamaan 2 dan 3 pada blok tersebut, seperti gambar 1 dan 2:



Gambar 1 Blok simulink model busur api



Gambar 2 Model subsistem untuk rangkaian simulasi



Gambar 3 Rangkaian simulasi

Untuk menghindari adanya nilai simulasi yang melintasi nilai nol, maka blok Simulink “*Hit crossing*” digunakan. Hal ini berguna ketika nilai tegangan dan arus yang keduanya bernilai nol akan menghasilkan nilai resistansi nonlinier tertentu. Sedangkan pemakaian blok *logical operator* digunakan melihat nilai yang terbesar dari persamaan (2) di atas. Blok Simulink “*Step*” digunakan untuk mengontrol waktu pemisahan circuit breaker. Bila kontak tertutup, maka nilai $u(3)$ adalah nol, sehingga persamaan (2) menjadi :

$$\frac{du(1)}{dt} = \frac{d \ln g}{dt} = 0$$

C. Simulasi Dan Analisis Hasil

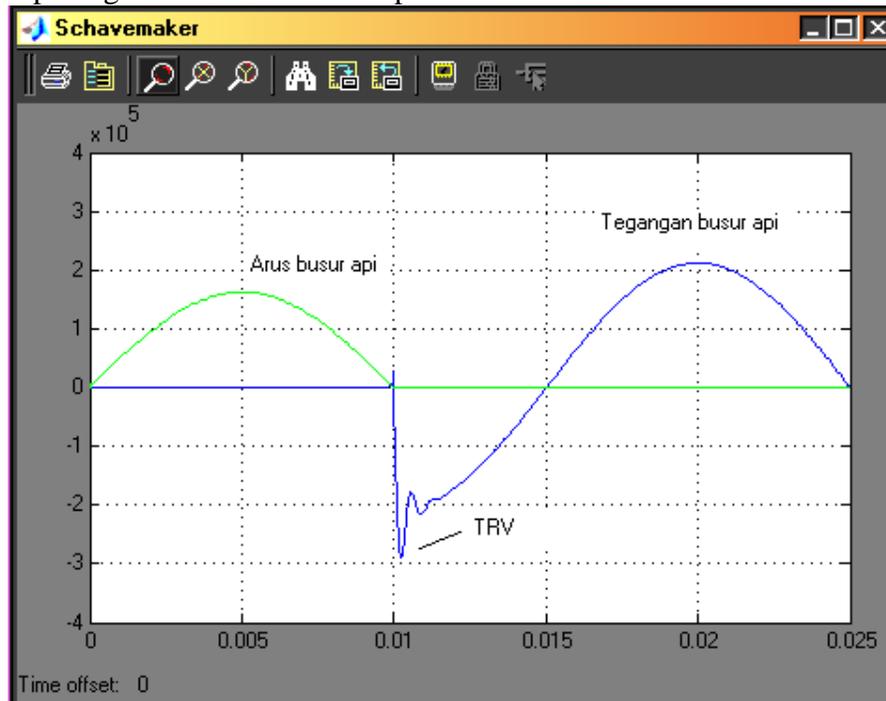
Rangkaian untuk simulasi dibuat dengan mengambil komponen sistem tenaga listrik

dari pustaka blok PSB seperti pada gambar 3. Parameter simulasi diset dengan penyelesai (*solver*) ode23tb, karena kondisi rangkaian penuh dengan persamaan yang nonlinear.

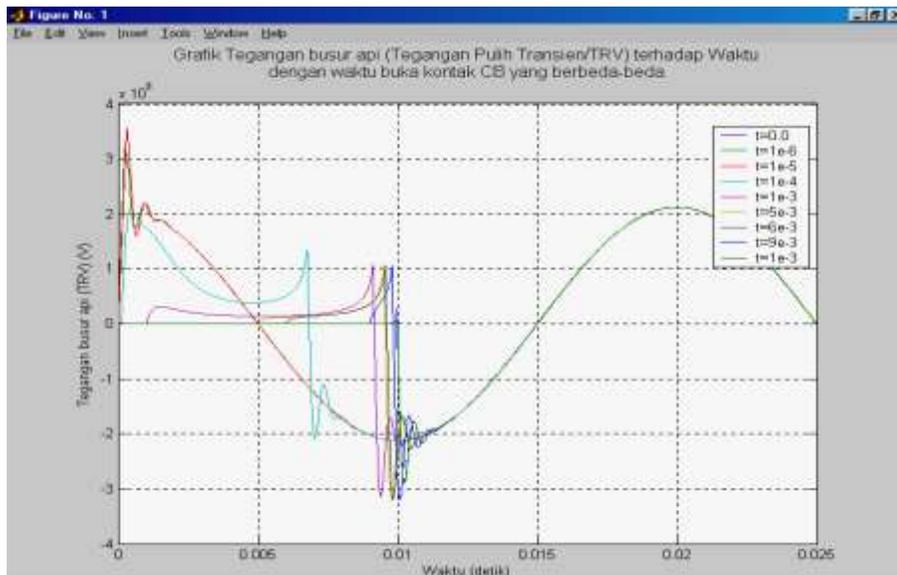
Simulasi dilakukan dengan nilai daya pemadaman $P_0=10$ MW, konstanta waktu $\tau=1.10^{-5}$ detik, konduktansi awal $g(0)=1.10^4$ Siemens, konstanta daya pemadaman $P_1=0,995$ pemisahan kontak (kontak terbuka pada waktu 0 detik dan nilai tegangan busur api sebelum kontak dibuka atau dipisah U_{arc} adalah nol. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kondisi *zero crossing* didapat sebelum setengah dari periode gelombang arus yakni 0,0098 detik (50 Hz = 0,02 detik) seperti ditunjukkan pada gambar 4.

Simulasi dilakukan untuk waktu buka CB yang berbeda-beda dan hasilnya

ditunjukkan pada gambar 5. Semakin cepat atau semakin lama CB dibuka dalam waktu



Gambar 4 Bentuk gelombang arus dan tegangan model busur api Schavemaker

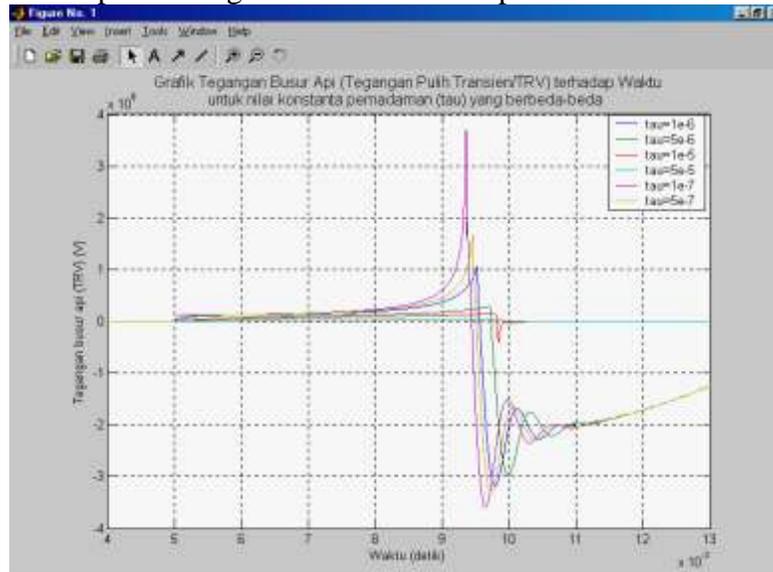


Gambar 5 Grafik tegangan busur api (tegangan pulih transien/TRV) terhadap waktu untuk waktu buka CB (gambar a) yang berbeda-beda

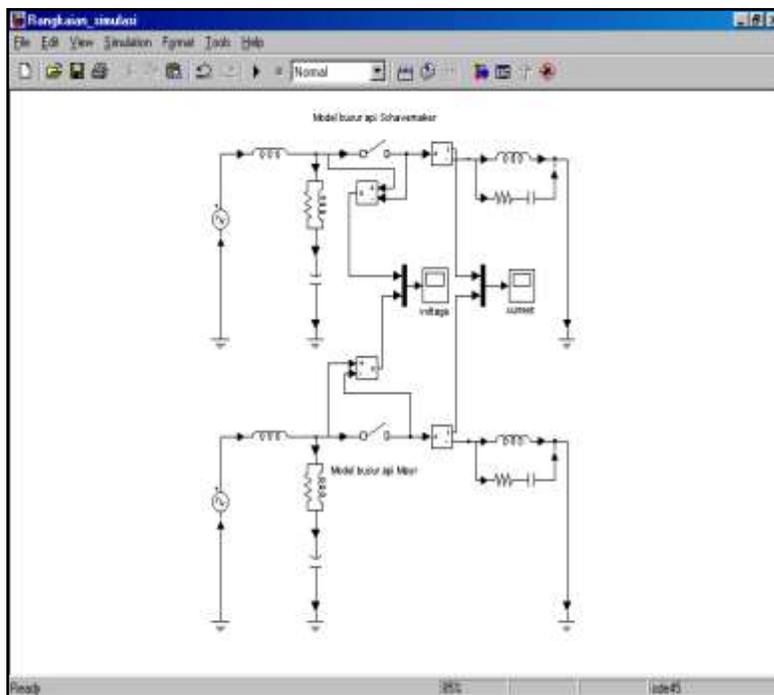
setengah perioda menghasilkan nilai puncak tegangan busur api atau tegangan pulih transien yang semakin besar. Hal ini mesti diperhatikan dalam pendisainan kontrol waktu buka CB. Gambar 6 menunjukkan

bahwa semakin kecil nilai konstanta busur api (τ), semakin besar nilai tegangan pulih transien yang terjadi. Tegangan pulih transien yang terjadi akibat proses pensaklaran sebuah CB menjadi satu hal

yang penting untuk dipertimbangkan dalam disain pembuatan CB.



Gambar 6 Grafik tegangan busur api (tegangan pulih transien/TRV) terhadap waktu untuk konstanta τ yang berbeda-beda

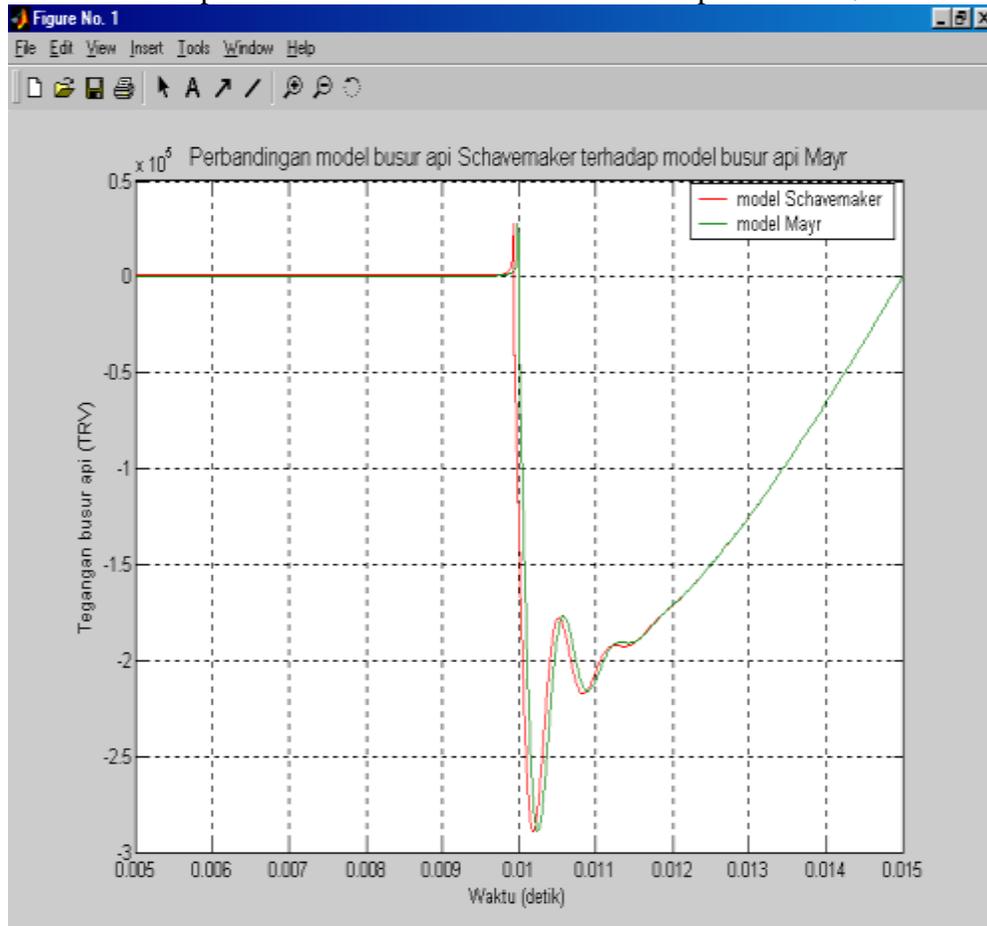


Gambar 7 Rangkaian simulasi untuk perbandingan model busur api

Kemudian model busur api Schavemaker ini dibandingkan dengan model busur api yang dibuat oleh Mayr dengan rangkaian simulasi ditunjukkan pada gambar 7. Dengan waktu pemisahan kontak dimulai pada waktu 0,005 detik, didapat bahwa

model busur api Schavemaker hampir sama dengan model busur api Mayr, hanya saja model busur api Schavemaker mempunyai nilai tegangan awal busur api U_{arc} yang dapat dirubah, sehingga bila nilai tegangan awal ada hasil simulasi menunjukkan

bahwa model busur api Schavemaker lebih dahulu mencapai kondisi *zero crossing*.



Gambar 8 Grafik tegangan busur api atau tegangan pulih transien terhadap waktuantara model busur api Schavemaker dan model busur api Mayr

D. Kesimpulan

Model busur api yang dibuat oleh Schavemaker mempunyai karakteristik yang hampir sama dengan model busur api Mayr, dengan keuntungan beberapa variabel dapat diubah sesuai dengan keinginan, seperti daya pemadaman awal dan besar tegangan busur api awal. Keuntungan ini dapat digunakan dalam disain suatu *circuit breaker* (CB).

Model busur api yang dibuat oleh Schavemaker ini dapat disimulasikan dengan MATLAB Simulink dengan catatan bahwa penyelesaian simulasi menggunakan ode23tb atau penyelesaian lain yang lebih kaku (*stiff*) seperti ode 15s, karena adanya rangkaian yang bersifat nonlinier. Jika

digunakan penyelesaian yang bersifat diskret (*discrete*) atau kontiniu (*continuous*), maka persamaan busur api yang berbentuk differensial dapat diubah ke bentuk keadaan ruang (*state-space*).

Referensi

- [1]. O. Mayr, "Über die Theorie des Lichtbogens und seiner Löschung", *Elektrotechnische Zeitschrift*, Jahrgang 64, Heft 49/50, 16 Desember 1943, pp.645-652.
- [2]. P.H. Schavemaker, "An Improved Mayr-Type Arc Model Based on Current-Zero Measurement", *IEEE Transaction on Power Delivery*, vol.15, no.2, April 2000, pp.580-584.

- [3]. "*MATLAB Simulink User's Guide*",
The Mathworks Int