

Penggunaan SFCL untuk membatasi arus gangguan pada jaringan distribusi terintegrasi dengan pembangkit energi baru terbarukan

Lauhil Mahfudz Hayusman¹, Noor Saputera², Eddy Robinson Sampe³

e-mail: hayusman@poliban.ac.id, noor.saputera@poliban.ac.id, eddyrobinsonsampe@gmail.com

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Banjarmasin, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diterima 7 Maret 2021

Direvisi 14 April 2021

Diterbitkan 29 April 2021

Kata kunci:

Arus gangguan
Superconducting Fault Current Limiter
Pembangkit listrik energi baru terbarukan

ABSTRAK

Integrasi pembangkit listrik energi baru terbarukan ke jaringan listrik yang sudah ada dapat menyebabkan kenaikan arus gangguan, mengakibatkan peralatan proteksi yang ada tidak mampu untuk menanganinya. Hal ini tentunya dapat menyebabkan kerusakan peralatan-peralatan listrik yang dilewati arus gangguan tersebut dan dapat mengakibatkan kegagalan dalam sistem penyaluran daya listrik. Pada penelitian ini dilakukan studi penggunaan peralatan superconducting fault current limiter/SFCL untuk membatasi arus gangguan yang timbul pada jaringan tenaga listrik. Dengan cara memanfaatkan impedansi yang dimiliki oleh SFCL untuk menggerakkan mechanical switch (fast switch) sehingga arus gangguan akan melewati current limiting reactor yang terhubung paralel dengan superconductor yang dapat bekerja kurang dari setengah siklus setelah terjadinya gangguan. Pengujian sistem dilakukan dengan beberapa skenario yaitu: 1. sistem tanpa integrasi pembangkit listrik energi baru terbarukan; 2. sistem dengan integrasi pembangkit listrik energi baru terbarukan; 3. sistem dengan integrasi pembangkit listrik energi baru terbarukan dan superconducting fault current limiter. Hasil pengujian skenario 3 menunjukkan adanya penurunan arus gangguan yang semula sebesar $I = 1,007$ kA menjadi $I = 0,278$ kA dan nilai tegangan sistem yang semula turun sebesar $V_{rms} = 0,856$ pu naik menjadi $V_{rms} = 0,96$ pu.

ABSTRACT

The integration of new and renewable energy power plants into existing power grids can cause an increase in fault currents, rendering existing protective equipment unable to cope. This of course can result in damage to electrical equipment through which the disturbance current passes and can result in failure in the electrical power distribution system. This research will conduct a study on the use of superconducting fault current limiter equipment to limit the fault currents that appear in the power grid, by utilizing a very high impedance to drive the mechanical switch (fast switch) so that the fault current will pass through the current limiting reactor which is connected parallel to the superconductor. which can work for less than half a cycle after the disturbance. System testing is carried out with several scenarios, namely: 1. systems without integration of new renewable energy power plants, 2. systems with integration of new renewable energy power plants, 3. systems with integration of new renewable energy power plants and superconducting fault current limiter. The test results of scenario 3 showed a decrease in the fault current by the original $I = 1,007$ kA to $I = 0.278$ kA and the value of the system voltage that originally decreased by $V_{rms} = 0.856$ pu rose to $V_{rms} = 0.96$ pu

Keywords:

Fault current
Superconducting Fault Current Limiter
Renewable energy power plant

Penulis Korespondensi:

Lauhil Mahfudz Hayusman

Jurusan Teknik Elektro,

Politeknik Negeri Banjarmasin

Jl. Brigjen H. Hasan Basri Kayu Tangi, Banjarmasin, Kalimantan Selatan, Indonesia.

Email: hayusman@poliban.ac.id

1. PENDAHULUAN

Beberapa tahun terakhir pembangkit listrik yang bersumber dari energi baru terbarukan (EBT) sudah banyak diterapkan di Indonesia, mulai dari pembangkit listrik berskala kecil sampai dengan pembangkit listrik berskala besar. Pembangunan pembangkit listrik EBT dimaksudkan guna memenuhi permintaan listrik yang terus meningkat setiap tahunnya [1]. Penerapan pembangkit listrik EBT juga sebagai upaya mengantisipasi menipisnya ketersediaan sumber energi fosil yang masih digunakan sebagai sumber energi utama untuk pembangkit listrik konvensional [2].

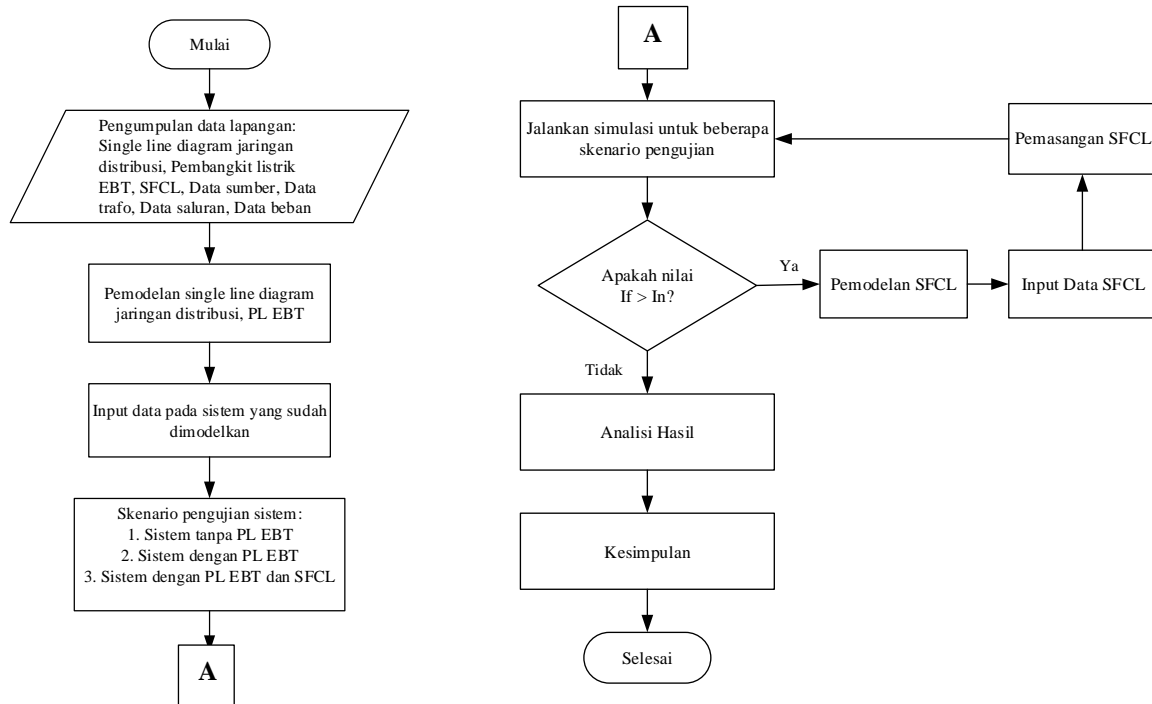
Tidak hanya pembangunan pembangkit listrik EBT yang terus harus digalakan, namun integrasi pembangkit listrik EBT ke dalam jaringan juga perlu ditingkatkan karena memiliki beberapa kelebihan antara lain dapat mengurangi polusi udara, meningkatkan kualitas daya, mengurangi rugi-rugi daya pada jaringan dan memperbaiki profil tegangan [3]. Pembangunan pembangkit listrik EBT dekat dengan konsumen juga dapat mengurangi biaya pembangunan jaringan listrik [4]. Namun integrasi pembangkit listrik EBT ke dalam jaringan listrik juga memiliki kelemahan, yaitu dapat meningkatkan nilai arus gangguan diluar kapasitas peralatan proteksi yang sudah terpasang disamping itu stabilitas sistem dan kualitas tegangan juga akan ikut terganggu [5]. Lonjakan arus gangguan juga dapat menimbulkan permasalahan yang jauh lebih besar, yaitu bekerjanya peralatan proteksi relai arus lebih menyebabkan lepasnya *circuit breaker*, akibatnya aliran daya listrik dari sumber menuju ke beban terputus [6].

Salah satu peralatan proteksi yang dapat melindungi peralatan dari kenaikan arus gangguan adalah *circuit breaker* yang bekerja berdasarkan sinyal dari relai arus lebih, dimana peralatan tersebut membutuhkan waktu dua atau tiga siklus dari terjadinya arus gangguan awal untuk mulai bekerja [7]. Berdasarkan hal tersebut, maka diperlukan peralatan alternatif yang dapat bekerja kurang dari dua siklus untuk mulai bekerja dalam membatasi arus gangguan yang terjadi. *Superconducting fault current limiter (SFCL)* dapat bekerja untuk membatasi arus gangguan dengan cepat (*fast switching*) dalam waktu setengah siklus dengan memanfaatkan impedansi tinggi untuk mengalihkan arus gangguan menuju *current limiting reactor (CLR)* dengan bantuan *mechanical switch* seperti *vacuum interrupter, short bar, driving coil* [8]

Pada penelitian ini dilakukan pemodelan *SFCL* yang digunakan untuk membatasi arus gangguan yang timbul akibat integrasi pembangkit listrik EBT kedalam jaringan distribusi. Pemodelan dan simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak PSCAD 4.5.

2. METODE PENELITIAN**2.1. Alur Penelitian**

Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini dimulai dari pengumpulan data lapangan berupa data diagram segaris sistem distribusi 20 kV Kalimantan Selatan: Data sumber; data transformator: kapasitas trafo (kVA), rasio tegangan trafo (kV), dan impedansi trafo; data penghantar: panjang penghantar (kms), luas penampang penghantar (mm^2), dan jenis penghantar; data pembeban: daya aktif (kW), daya reaktif (kVAR), Arus (ampere), faktor daya dan tegangan (kV). Selanjutnya melakukan pemodelan diagram segaris sistem distribusi 20 kV Kalimantan Selatan dan pembangkit listrik energi baru terbarukan dalam hal ini pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Untuk data dan model PLTS diambil dari *example software PSCAD*. Melakukan input data pada sistem yang sudah dimodelkan. Pada penelitian ini, sistem yang sudah dimodelkan akan diuji dengan beberapa skenario pengujian yaitu: 1. Sistem tanpa integrasi pembangkit listrik energi baru terbarukan (PLEBT); 2. Sistem dengan integrasi PLEBT; 3. Sistem dengan integrasi PLEBT dan *SFCL*. Selanjutnya membandingkan hasil pengujian dari beberapa skenario yang dilakukan, apabila nilai arus gangguan (I_f) lebih kecil dari arus nominal sistem (I_n) lakukan analisis hasil dan menarik kesimpulan. Gambar 1 diperlihatkan alur penelitian

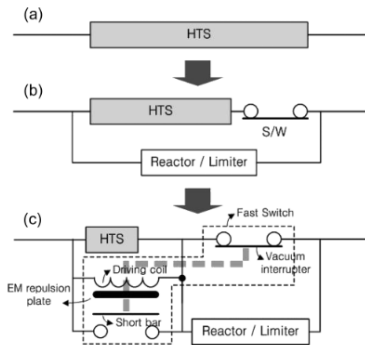


Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.2. Superconducting fault current limiter (SFCL)

1. Resistive SFCL

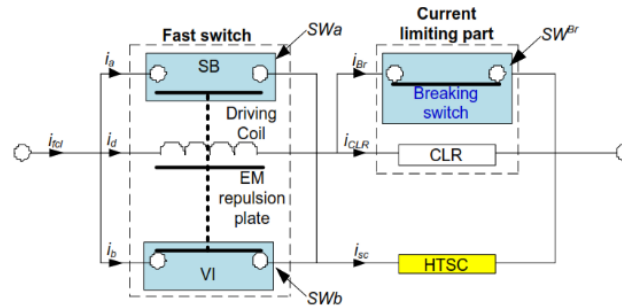
Resistive superconductor fault current limiter dengan high temperature superconductor (HTS). Komponen HTS merupakan komponen utama dari resistive SFCL, dimana komponen HTS terdiri dari superconductor dan cryostat (pendingin). Resistive SFCL awalnya hanya terdiri dari komponen HTS, seiring dengan perkembangan teknologi berkembang menjadi hybrid SFCL dengan breaker konvensional dan hybrid SFCL dengan fast switching seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Perkembangan resistive SFCL [9]

Kemajuan teknologi pada hybrid SFCL adalah komponen superconductor tidak digunakan sebagai pembatas arus hubung singkat namun hanya berfungsi sebagai sensing arus hubung singkat dan pengalih arus gangguan menuju current limiting reactor (CLR). Fast switch dapat beroperasi karena adanya gaya elektromagnetik yang dibangkitkan oleh arus gangguan itu sendiri bukan dari arus eksternal lainnya. Struktur kompleks hybrid SFCL menggunakan fast switch (FS), yang terdiri dari dua saklar mekanis yaitu vacuum interrupter (VI) dan short bar (SB). Untuk menghindari kegagalan pemakaian dari fast switch akibat timbulnya busur api ketika pemadaman, maka perlu memasang peralatan tambahan superconductor yaitu driving coil dan electromagnetic repulsion plate (EMP). Pada hybrid SFCL, fast switch dimodelkan menjadi saklar dua arah (SWa dan SWb). SWa atau SB bekerja menutup berdasarkan perintah dari rangkaian pengontrol ketika arus dari HTSC dialihkan menuju driving coil ketika terjadi arus gangguan. Begitu pula SWb atau VI bekerja membuka berdasarkan perintah dari rangkaian pengontrol ketika arus dari HTSC dialihkan menuju driving coil ketika terjadi arus gangguan. Bagian pembatas arus terdiri dari saklar pemutus SWBr dan current limiting

reactor (CLR). Untuk mencapai arus yang cukup pada *driving coil* setelah HTSC mengalami peningkatan resistansi, SWBr tetap dalam kondisi menutup hingga arus mencapai setting dan menuju *driving coil*. Setelah SWa menutup dan SWb membuka maka SWBr diperintahkan untuk membuka

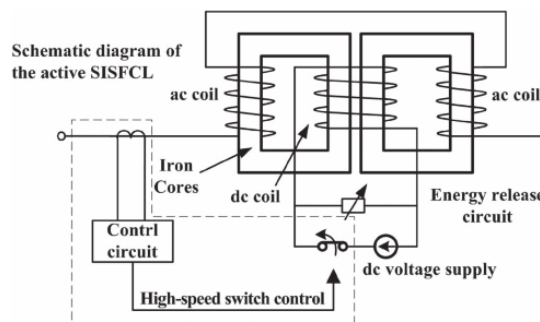


Gambar 3. Hybrid SFCL [10]

2. Saturated ironcore SFCL

Saturated ironcore SFCL adalah salah satu jenis induktif SFCL yang memiliki prinsip kerja dari inti besi konvensional. *Saturated ironcore SFCL* mendeteksi adanya gangguan hubung singkat dalam waktu 1 ms, membatasi arus gangguan selama 5 ms dan kembali ke keadaan *recovery* atau keadaan normal sekitar beberapa ratus milidetik.

Konsep *saturated ironcore SFCL* terdiri dari 4 bagian utama, yaitu: kumparan bias superkonduktor, sumber tegangan DC, saklar kecepatan tinggi dan rangkaian pelepasan energi seperti yang terlihat pada Gambar 4. Sumber tegangan menyediakan arus konstan kumparan DC untuk memagnetisasi pada inti. Sumber tegangan DC berasal dari tegangan AC 3 fasa yang akan disearahkan dengan *rectifier* dan menghasilkan tegangan searah sebesar 50 V untuk operasi normal dan tegangan 500 V untuk operasi magnetisasi yang cepat. Pada saat operasi normal, sumber DC menyediakan arus magnetisasi konstan dengan cepat, sumber DC memberikan sumber tegangan yang tinggi sebesar 550 V kepada kumparan DC, dan selama proses tersebut saklar akan menyala.



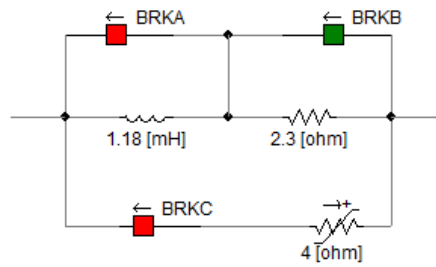
Gambar 4. Saturated ironcore SFCL [11]

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pemodelan *superconducting fault current limiter (SFCL)*

Untuk memodelkan *superconducting fault current limiter (SFCL)*, *fast switch* pada Gambar 3 dimodelkan menggunakan *breaker* (BRKA dan BRKC). BRKA dimodelkan menjadi *switch short bar (SB)*. Sedangkan BRKC dimodelkan menjadi *switch vacuum interrupter (VI)*, dan BRKC dimodelkan menjadi *current limiting reactor (CLR)* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5.

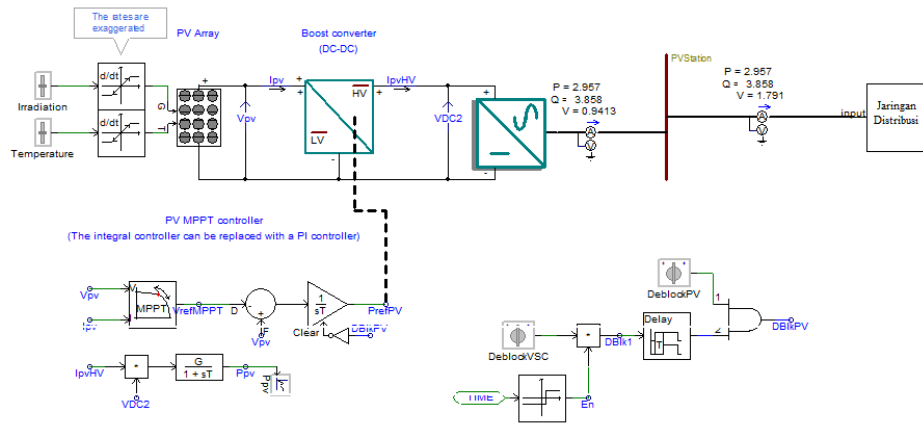
Pada kondisi normal, temperatur operasi *superconductor* dijaga pada keadaan 77 kelvin. Pada kondisi ini *high temperature superconductor (HTSC)* memiliki impedansi sebesar 0 ohm. Arus gangguan yang mengalir melalui HTSC dan menghasilkan panas mengakibatkan nilai resistansi *high temperature superconductor (HTSC)* meningkat mengakibatkan arus gangguan berganti arah menuju *drive coil* dan *breaking switch*. Ketika arus pada *drive coil* mencapai batas setting tertentu, maka kuat medan magnet yang dihasilkan *coil* akan mendorong *switch short bar (SB)* yang semula *open* menjadi *close* dan *switch vacuum interrupter (VI)* yang semula *close* menjadi *open*. Sehingga arus gangguan akan mengalir melalui *switch short bar (SB)* dan *current limiting reactor (CLR)*. Arus gangguan yang melalui *current limiting reactor (CLR)* dibatasi sebelum 1/2 cycle pertama.



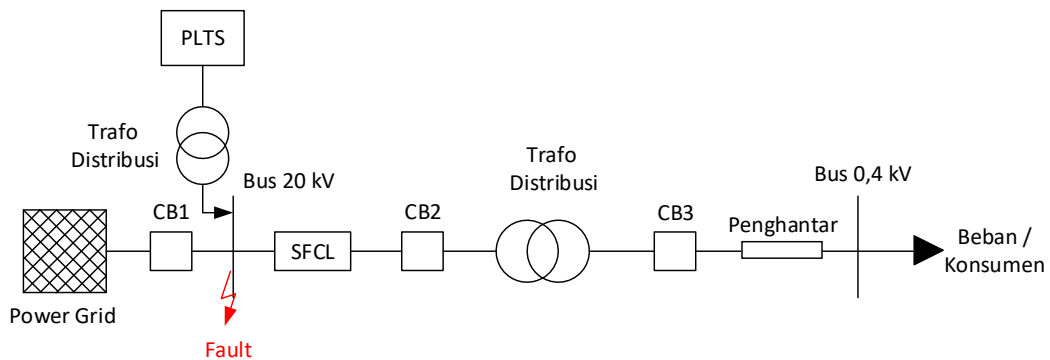
Gambar 5. Pemodelan SFCL pada software PSCAD

3.2. Pemodelan pembangkit listrik energi baru terbarukan (PLEBT)

PLEBT yang digunakan pada penelitian ini merupakan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dengan kapasitas sebesar 2 MWp. Dimana listrik yang dihasilkan oleh PLTS merupakan listrik DC yang dirubah menjadi listrik AC menggunakan inverter. Penggunaan PV MPPT Controller bertujuan untuk mendapatkan nilai tegangan (V_{pv}) dan arus (I_{pv}) yang optimal sehingga daya keluaran PLTS bisa maksimal. Gambar 6 diperlihatkan Model pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Sedangkan Gambar 7 diperlihatkan lokasi injeksi PLTS dan penempatan SFCL pada jaringan distribusi.



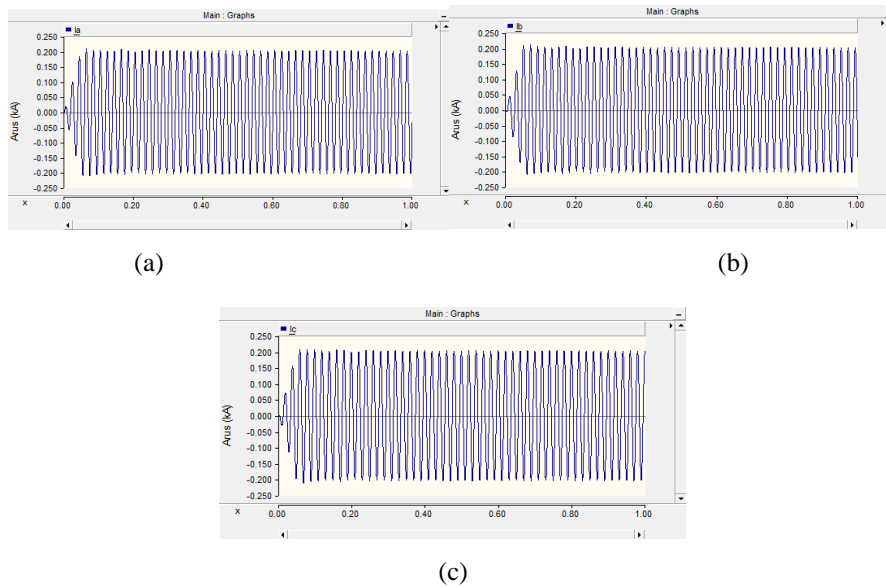
Gambar 7. Pemodelan pembangkit listrik tenaga surya pada software PSCAD



Gambar 8. Lokasi injeksi PLTS dan penempatan SFCL pada jaringan distribusi.

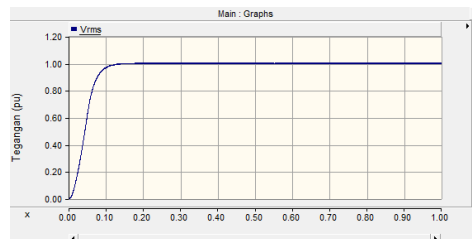
3.3. Kondisi sistem Sebelum Integrasi PLEBT

Bentuk gelombang arus sistem pada masing-masing fasa sebelum integrasi PLEBT diperlihatkan pada Gambar 8. Pada kondisi tersebut, arus masing-masing fasa bernilai $I = 0.203 \text{ kA}$ atau $I = 203 \text{ A}$.



Gambar 8. Gelombang arus masing-masing fasa sebelum integrasi PLEBT

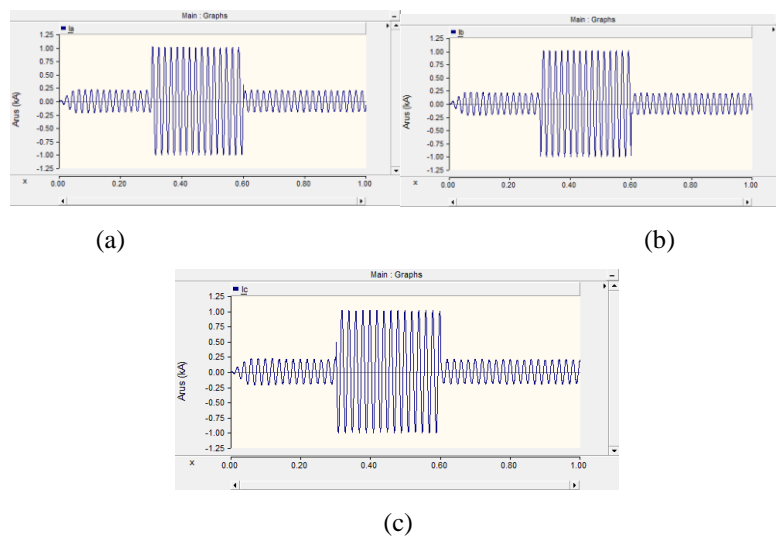
Sedangkan Gambar 9 diperlihatkan bentuk gelombang tegangan (rms) sebelum integrasi PLEBT yang bernilai $V_{rms} = 1.0$ pu atau setara dengan $V = 20$ kV.



Gambar 9. Gelombang tegangan sistem sebelum integrasi PLEBT

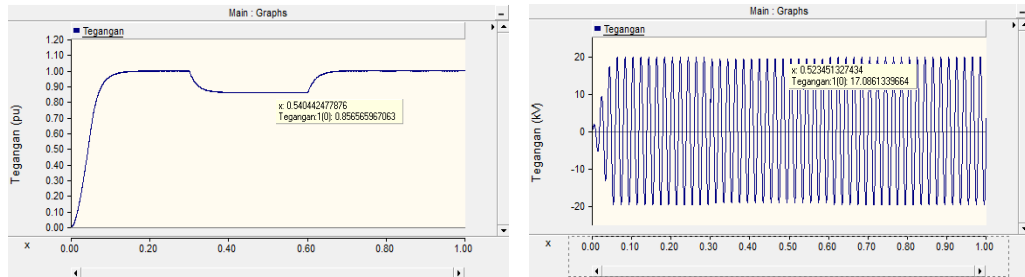
3.4. Kondisi Sistem Terintegrasi dengan PLEBT

Hasil simulasi pada saat integrasi pembangkit listrik PLEBT ketika terjadi gangguan 3 fasa sebelum dilakukan pemasangan *superconducting fault current limiter (SFCL)* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 10. Terlihat adanya kenaikan arus pada masing-masing fasa yang semula bernilai $I = 0,203$ kA naik menjadi $I = 1,007$ kA.



Gambar 10. Gelombang arus sistem saat integrasi PLEBT ketika terjadi gangguan 3 fasa

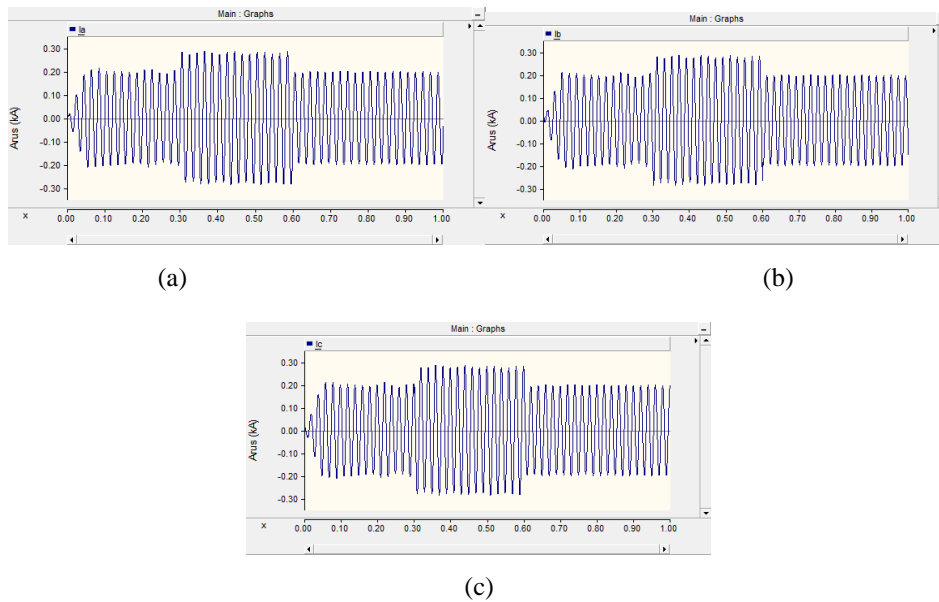
Sedangkan Gambar 11 diperlihatkan bentuk gelombang tegangan (dalam satuan pu dan kV) pada saat integrasi PLEBT ketika terjadi gangguan 3 fasa. Dimana nilai tegangan sistem yang semula $V_{rms} = 1.0$ pu atau $V = 20$ kV turun menjadi $V_{rms} = 0.856$ pu atau $V = 17,1$ kV.



Gambar 11. Gelombang tegangan sistem saat integrasi PLEBT

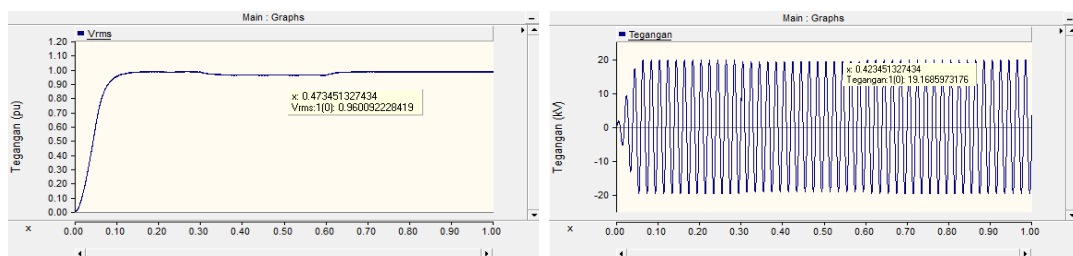
3.5. Kondisi Sistem Terintegrasi dengan PLEBT dan SFCL

Hasil simulasi pada saat integrasi PLEBT dan SFCL pada jaringan distribusi diperlihatkan pada Gambar 12. Terlihat adanya penurunan arus gangguan pada masing-masing fasa yang semula $I = 1,007$ kA turun menjadi $I = 0,278$ kA.



Gambar 12. Gelombang arus sistem pada saat integrasi PLEBT dan SFCL

Sedangkan Gambar 13 diperlihatkan bentuk gelombang tegangan (dalam satuan pu dan kV) saat integrasi PLEBT dan SFCL pada jaringan distribusi. Dimana nilai tegangan sistem yang semula turun sebesar $V_{rms} = 0.856$ pu atau $V = 17,1$ kV, kembali naik menjadi $V_{rms} = 0,960$ pu atau $V = 19,2$ kV



Gambar 13. Gelombang tegangan sistem pada saat integrasi PLEBT dan SFCL

4. KESIMPULAN

Penggunaan SFCL untuk membatasi arus gangguan pada jaringan distribusi terintegrasi dengan pembangkit energi baru terbarukan (Lauhil Mahfudz, Hayusman)

Penggunaan *superconducting fault current limiter (SFCL)* dapat memperkecil arus gangguan yang disebabkan oleh integrasi pembangkit listrik energi baru terbarukan pada jaringan distribusi. Nilai arus gangguan yang semula sebesar $I = 1.007$ kA dapat diredam menjadi $I = 0,278$ kA dan nilai tegangan sistem yang semula turun sebesar $V_{rms} = 0.856$ pu kembali naik menjadi $V_{rms} = 0.960$ pu.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Pusat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (P3M) melalui dana DIPA Politeknik Negeri Banjarmasin yang telah membiayai kegiatan Penelitian skema Penelitian Pengembangan Dosen Tahun Anggaran 2020.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Desai, R. A, Bongale, M. R dan Jadhav, H.T. 2015. Analysis of Optimal Location of Superconducting Fault Current Limiter for the Smart Grid. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 10(4), 1955-1959.
- [2] Hidayat, T, Hayusman, L. M dan Setiawan, R. 2018. Integrasi Distributed Generation (DG) pada Sistem Distribusi 20 kV sebagai Upaya Mengurangi Losses dan Meningkatkan Profil Tegangan. *Jurnal Industri Inovati*, 8(2), 22-26.
- [3] Alex, M dan Josephine, A. A. 2013. Impact due to the application Location of a Dispersed Generation on the Distribution System Protection with SFCL Application using PSCAD. *International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability*, 1225-1229.
- [4] Pina, J. M, Neves, M. V dan Alvarez, A. 2010. High Temperature Superconducting Fault Current Limiters as Enabling Technology in Electrical Grids with Increased Distributed Generation Penetration. *Doctoral Conference on Computing electrical and Industrial Systems*, 427-434.
- [5] Ye, L dan Lin, L. Z. 2010. Study of Superconducting Fault Current Limiters for System Integration of Wind Farms. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 22(3), 1233-1237.
- [6] Cakal, G, Bagriyanik, F. G, Bagriyanik, M. 2013. The Effect of Fault Current Limiters on Distribution Systems with Wind Turbine Generators. *International Journal of Renewable Energy Research*, 3(1), 148-154.
- [7] Kuncoro, E, Suyono, H, Hasanah, R. N dan Mokhlis, H. 2017. Pemodelan dan Analisis Fault Current Limiter sebagai Pembatas Arus Hubung Singkat pada GI Sengkaling Malang. *Jurnal Electrics Electronics Communications Controls Informatics*, 11(1), 9-13.
- [8] You, II. K, Lim, S. H dan Kim, J. C. 2011. Operational Characteristics of Hybrid SFCL with First Half Cycle Non-Limiting Operational Considering its Design Parameter. *IEEE Transactions on Applied Superconductiv*, 21(3), 1271-1274.
- [9] Hyun, Ok-Bae, Park, Kwon-Bae, Sim, J, Kim, Hye-Rim, Yim, Seong-Woo dan Oh, II-Sung. 2009. Introduction of a Hybrid SFCL in KEPCO Grid and Local Points at Issue. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 19(3), 1946-1949.
- [10] Sa'adah, M, Pujiantara, M dan Soedibjo. 2016. Analisa penggunaan Hybrid Superconducting Fault Current Limiter (SFCL) pada Sistem Proteksi Tenaga Listrik di Kawasan Tursina. *Jurnal Teknik POMITS*, 1(1), 1-6.
- [11] Li, B, Li, C dan Guo, F. 2015. Application Studies on the Active SISFCL in Electric Transmission System and Its Impact on Line Distance Protection. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*. 25(2)