

Studi Pemutus Arus Searah Berbasis Hybrid untuk Transmisi Arus Searah

Zulfiana Safitri Majid¹

¹Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar, Indonesia
zulfianasafitri@poliupg.ac.id

Abstract: *In improving the electrical transmission system, a stable and reliable integration system is needed. Based on research, direct current transmission systems are believed to be more efficient in distributing electrical energy, especially over long distances between power plant and electricity consumers. When direct current transmission is applied, the direct current breaker system will also be more crucial. For this reason, in this research, a more in-depth study was carried out regarding a hybrid-based direct current breaker system which can cut off the fault current very quickly for about 250 μ s and reduce commutation losses from semiconductor components.*

Keywords: *DC Hybrid Circuit Breaker, High Voltage Direct Current, Integration*

Abstrak: Dalam meningkatkan sistem penyaluran energi listrik dibutuhkan sistem integrasi yang stabil dan andal. Berdasarkan penelitian sistem transmisi arus searah sudah dipercaya lebih efisien dalam menyalurkan energi listrik utamanya dalam jarak yang terpaut jauh antara sumber pembangkitan dan konsumen listrik. Ketika transmisi arus searah diaplikasikan maka sistem pemutus arus searah juga akan lebih krusial. Untuk itu pada penelitian ini dilakukan kajian yang lebih mendalam mengenai sistem pemutus arus searah berbasis hybrid yang dapat memutus arus dengan sangat cepat yaitu sekitar 250 μ s dan mengurangi rugi-rugi komutasi dari komponen semikonduktor.

Kata kunci: Pemutus Arus Searah Hybrid, Transmisi Arus Searah, Integrasi

Pendahuluan

Konsumsi energi listrik di Indonesia terus bertambah utamanya konsumsi energi listrik untuk industri. Hal ini dikarenakan industri berupaya untuk memenuhi kebutuhan masyarakat Indonesia yang taraf hidupnya semakin meningkat. Selain itu, pertumbuhan penduduk juga bertambah setiap tahunnya sehingga kebutuhan listrik yang telah menjadi kebutuhan pokok juga mengalami peningkatan.

Untuk mengantisipasi masalah tersebut, maka perlu dilakukan peningkatan dalam pembangunan sarana pembangkit tenaga listrik. Namun, hal ini menghadapi kendala bagi pulau-pulau yang memiliki sumber energi primer yang minim seperti pulau Jawa, Bali, Nusa Tenggara Timur, Nusa Tenggara Barat. Disisi lain, terdapat pulau yang memiliki sumber energi primer yang melimpah seperti Kalimantan, Sumatera, dan Sulawesi. Untuk itu diperlukan sistem interkoneksi sistem tenaga listrik antara pulau-pulau yang melimpah sumber energi primernya dengan pulau-pulau yang sumber energi primernya minim.

Untuk mendukung interkoneksi sistem tenaga listrik yang lebih luas, maka gagasan mengenai pemanfaatan transmisi arus searah perlu untuk dikaji lebih dalam. Beberapa penelitian

telah membahas mengenai transmisi arus searah ini, seperti kajian mengenai proses konversi sumber AC menjadi DC dengan menggunakan rectifier satu fasa dan untuk menaikkan tegangan DC dengan menggunakan *boost converter* yang dimonitoring secara *real time* dan terhubung ke *Internet Of Things* atau IOT (NST, Hermawan, & Denis, 2020). Selain itu analisis perbandingan efisiensi antara sistem kelistrikan arus bolak balik dan arus searah telah dilakukan (Sudarmanto, 2018) dimana hasilnya menunjukkan bahwa untuk kondisi ideal meski arus bolak balik sedikit lebih unggul namun sistem arus searah dapat dikatakan lebih stabil. Tidak hanya itu, analisis mengenai keuntungan desain transmisi arus searah telah diulas (Ginarsa, Nrartha, & Muljono, 2020), dimana hasilnya menunjukkan bahwa dengan desain menggunakan insulated Gate Biolar Transistor (IGBT) membuat transmisi arus searah lebih mudah dan murah untuk diwujudkan. Berdasarkan penelitian yang sudah ada, belum ada yang membahas mengenai sistem pemutus searah pada sisi transmisi arus searah, mengingat sebuah proteksi untuk sistem arus searah akan lebih berbahaya utamanya pada sistem tegangan yang tinggi karena arus akan lebih atraktif. Untuk itu pada penelitian ini akan dibahas rancangan sistem interkoneksi Transmisi arus searah yang andal dan stabil dengan penggunaan pemutus arus searah tegangan tinggi berbasis hybrid.

Metode

Sudah banyak literatur yang membahas mengenai transmisi arus searah dengan beberapa pendekatan aspek teknologi maupun efisiensi. Beberapa penelitian review berfokus pada komponen system secara individu baik itu converter, inverter, maupun desain [Ginarsa, 2020 #11; NST, 2020 #8; Sitompul, 2020 #21]. Di lain pihak sudah ada pula yang melakukan review untuk penelitian mengenai kelebihan transmisi arus searah dibandingkan dengan system transmisi arus bolak balik [Franck, 2011 #14; Halder, 2013 #24; Meah, 2007 #23]. Namun belum ada yang melakukan penelitian dengan pendekatan pada sistem proteksi secara komprehensif. Padahal jika menelaah lebih jauh sistem proteksi khususnya pada sistem pemutus arus pada sisi transmisi arus searah merupakan hal yang sangat krusial untuk dibahas mengingat karakteristik arus searah yang berbeda dengan arus bolak balik terlebih saat terjadinya kegagalan sistem. Pada sistem arus searah, *fault current* akan sangat berbahaya mengingat gelombang arus yang ditimbulkan tidak akan melewati fase nol sehingga nilainya akan jauh lebih besar dan lebih berbahaya.

Untuk itu pada penelitian ini penulis menggunakan metode review dengan pendekatan aspek pemutus arus searah pada sistem transmisi arus searah tegangan tinggi. Metode yang digunakan ini adalah merupakan studi literatur yang di ambil dari publikasi yang diterbitkan dalam kurun waktu 10 tahun terakhir. Kontribusi utama pada penelitian ini dirangkum

berdasarkan karakteristik berikut ini:

- a. Review komprehensif dari sistem pemutus arus searah pada transmisi arus searah tegangan tinggi berdasarkan proyek nyata yang telah dikerjakan dan assessment kritikal dari literatur yang telah ada
- b. Membedah secara intensif sistem dan metode kerja dari setiap komponen yang ada pada sistem pemutus arus searah dan menyajikannya secara lebih aktual dengan dilengkapi gambar dan penjelasan
- c. Menelaah lebih mendalam mengenai peran semikonduktor pada sistem pemutus arus searah dan menempatkan kelebihan utama pada komponen tersebut agar menjadi pertimbangan dalam produksi sistem pemutus arus searah dikemudian hari.

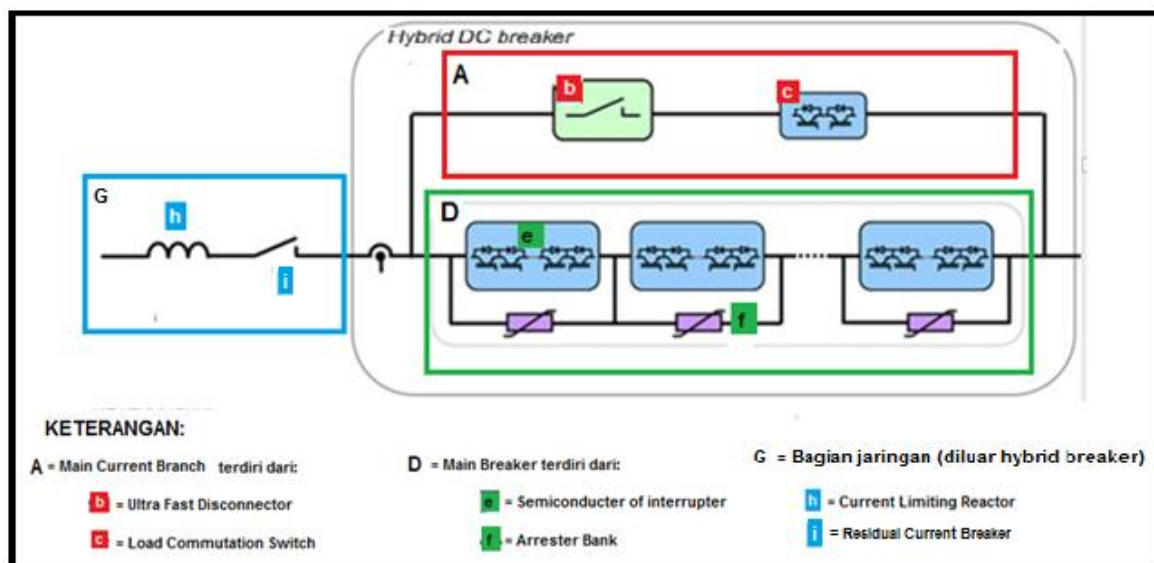
Hasil dan Pembahasan

Pada transmisi arus searah rugi-rugi daya aktif lebih rendah dan rugi-rugi daya reaktif nol jika dibandingkan dengan transmisi arus bolak balik tegangan tinggi. Keuntungan ini menyebabkan jaringan transmisi arus searah lebih atraktif. Hal ini dikarenakan impedansi yang relatif rendah pada jaringan transmisi arus searah akan menjadi tantangan ketika terjadi gangguan hubung singkat, karena penanggulangannya harus lebih cepat. Akibatnya, dibutuhkan pemutus daya yang sangat cepat dan handal untuk mengisolasi arus gangguan hubung singkat serta untuk menghindarkan jatuh tegangan pada jaringan yang berkelanjutan.

Sistem pemutus arus pada sistem transmisi arus searah masih ada yang menggunakan saklar mekanik dimana masih menggunakan tipe saklar konvensional dengan menggunakan komponen Resistor dan Induktor. Kelemahan dari pemutus ini adalah kurun waktu pemutusannya lama/panjang yaitu sekitar 35 milisekon dan arus gangguan hanya ditransfer tidak dihilangkan. Untuk mengatasi hal tersebut dibutuhkan pemutus daya yang dapat bekerja dengan kecepatan tinggi dan dapat mematikan arus (Meyer & Rufer, 2006).

Untuk mengatasi masalah kecepatan pemutus arus yang lama oleh saklar mekanik, telah diciptakan saklar untuk arus searah tegangan tinggi yang berbasis semikonduktor. Saklar semikonduktor ini dapat dengan mudah mengatasi kurun waktu pemutusan yang lama karena dapat memutus arus dalam waktu beberapa mikrosekon (μs) (Franck, 2011). Teknologi ini merupakan teknologi yang baru diciptakan seiring dengan kemajuan teknologi transistor IGBT. Sehingga belum banyak tipe pemutus daya semikonduktor lain yang digunakan mengingat kelemahannya adalah menghasilkan rugi-rugi daya penyaluran yang besar. Untuk mengatasi kelemahan pada pemutus daya semikonduktor ini, saat ini telah dihasilkan pemutus daya pada transmisi arus searah tegangan tinggi yang berbasis *hybrid* yang menggabungkan pemutus

mekanik dengan pemutus semikonduktor (Trainer et al., 2010). Pemutus daya arus searah berbasis hybrid ini menjadi inovasi baru dari perkembangan transmisi arus searah tegangan tinggi khususnya pada teknologi VSC (Callavik, Blomberg, Häfner, & Jacobson, 2012). Hal ini dikarenakan keunggulannya dalam memutus arus hubung singkat dengan kecepatan tinggi sekaligus mampu mengurangi rugi-rugi komutasi pada saklar sehingga dapat mempertahankan keandalan dan kestabilan. Berikut ini adalah gambaran pemutus listrik arus searah berbasis hybrid

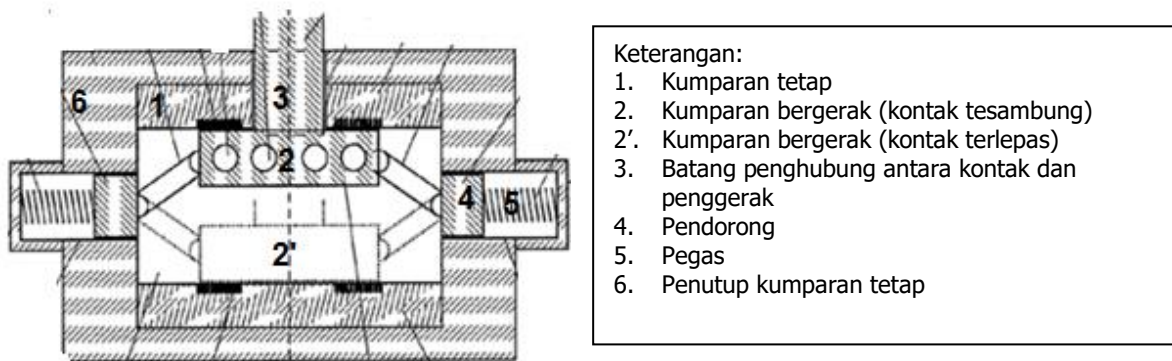


Gambar 1. Pemutus listrik arus searah berbasis *hybrid*

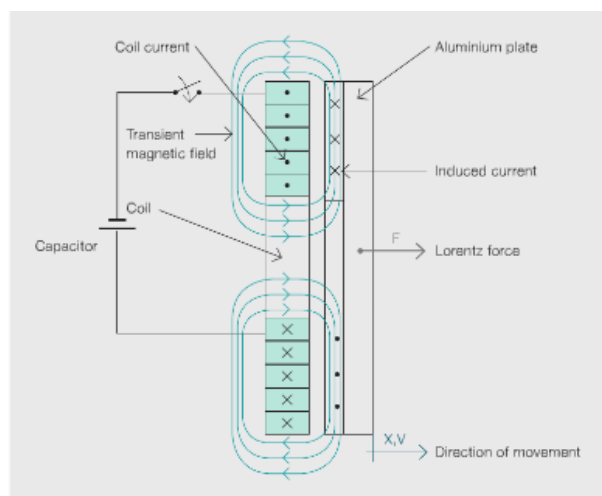
Seperti yang terlihat pada Gambar 1 Sistem kerja pada pemutus hybrid ini dibagi atas dua metode kerja yakni pada komponen A yang merupakan *Main Current Branch* yang terdiri dari *Ultra Fast Disconnecter* (UFD) dan *Load Commutation Switch* (LCS) dan komponen D yang merupakan *Main Breaker* yang terdiri dari *Semiconductor of Interrupter* dan *Arrester Bank*. *Ultra Fast Disconnecter* (a) merupakan salah satu komponen terpenting pada pemutus daya hybrid selain LCS. Seperti telah disebutkan sebelumnya nilai kenaikan arus hubung singkat yang sangat cepat dapat diatasi dengan rangkain seri atau parallel semikonduktor, namun masih menyebabkan rugi-rugi pada penyaluran daya di konverter yang cukup besar. Untuk itu harus ada saklar yang mampu membuka dengan sangat cepat yaitu UFD sehingga dapat mengisolasi komponen utama dari arus gangguan yang besar sehingga dapat mengurangi rugi-rugi daya tersebut.

Prinsip kerja UFD ini menggunakan prinsip Thomson yang diilustrasikan pada Gambar 2 dan Gambar 3. Efek Thomson menggunakan induksi bersama antara dua konduktor yang menghasilkan kuat medan magnet yang berbeda-beda yang menyebabkan terjadinya gaya tolak

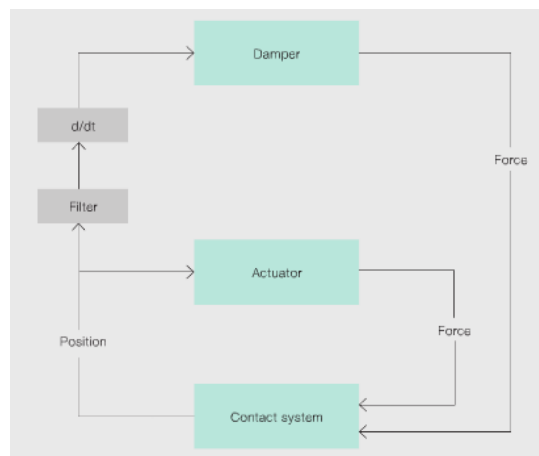
(Lorentz) antara kedua konduktor ketika gangguan hubung singkat yang kuat (Magnusson, Hammar, & Engdahl, 2010). Prinsip kerjanya adalah ketika terjadi arus gangguan hubung singkat, maka pada Gambar 2 kumparan tetap (1) menginduksi arus pusar akibat dari pelepasan kapasitor seperti yang diilustrasikan terlihat pada Gambar 3. Arus yang terinduksi pada kumparan tetap (1) dan kumparan bergerak (2) memiliki arah yang saling berlawanan, sehingga akan menimbulkan gaya tolak yang besar yang memisahkan keduanya sehingga kumparan bergerak berada pada posisi bawah yang secara otomatis membuka kontak (2'). Kontak dapat membuka dengan cepat karena resistivitas pada kontak memiliki resistivitas yang rendah dan didukung oleh gaya tolak antar kumparan yang dapat mendorong kumparan bergerak (2) dengan cepat. Agar dapat lebih memahami prinsipnya, berikut adalah gambar flowchart dari simulasi pengerak pada Gambar 4. Pada diagram alir dapat dilihat bahwa setelah terjadi gangguan hubung singkat maka posisi penggerak actuator akan segera bergerak untuk mendorong kontak agar segera membuka kemudian setelah itu untuk filter yang dibutuhkan dengan waktu yang diakselerasikan maka gas juga akan segera terdorong menuju kontak untuk memadamkan bunga api.



Gambar 2. Konstruksi Detail Komponen UFD



Gambar 3. Skematik Garis Penyusunan Koil Thomson dan Medan Elektromagnetik



Gambar 4. Diagram Alir Simulasi UFD

Adapun Load commutation switch (c) berfungsi untuk mengkomutasi arus gangguan menuju pemutus utama (D). Alat ini merupakan saklar yang berbasis semikonduktor yang digunakan pada pemutus semikonduktor IGBT. Kinerja dari peralatan ini untuk meningkatkan secara cepat waktu pengkomutasian arus dalam beberapa μs menuju pemutus utama (D). Saklar yang berbasis semikonduktor ini harus mampu memenuhi kebutuhan memutus arus dalam mikro detik sehingga dapat mempercepat komutasi mengingat kenaikan arus hubung singkat pada transmisi arus searah berbasis VSC sangat tinggi.

Secara umum bagian D (Main Breaker) ini disebut sebagai pemutus daya utama. Seperti namanya bagian ini merupakan pemutus daya utama arus secara keseluruhan karena bekerja untuk memadamkan arus gangguan. Pada kondisi operasi normal, arus tidak mengalir melalui percabangan ini, sehingga komponen ini hanya bekerja pada saat terjadi gangguan saja. Telah disebutkan sebelumnya, arus gangguan hubung singkat pada VSC terjadi sangat tinggi maka tidak akan cukup hanya menggunakan satu semikonduktor IGBT saja sehingga rangkaian IGBT seri yang banyak dapat meningkatkan keandalan dari pemutus utama dalam menahan arus gangguan dengan mengkomutasi ke arrester. Adapun sel pemutus pada komponen ini merupakan sel yang sama yang digunakan untuk sel LCS hanya berbeda pada jumlah tumpukan modul (modul stack) yang digunakan.

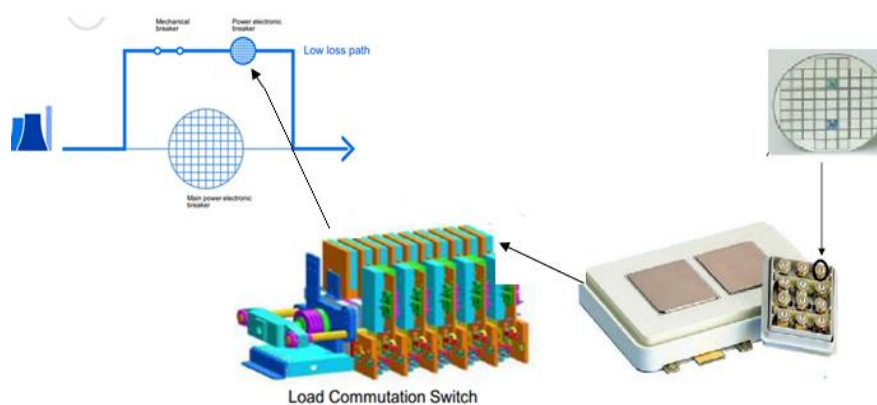
Semikonduktor yang digunakan untuk konsep pemutus arus searah hybrid ini untuk subbab ini akan dibahas lebih spesifik merujuk pada suatu teknologi terbaru yang disebut dengan Press Pack IGBT (PPI) dengan nilai tegangan 4500V dan 2000A. Selama pengembangan komponen baru ini selalu ditekankan pada konsep meringankan sistem kerja pabrik. Desain mekanikal dioptimalisasikan dengan tujuan PPI dapat dipasang dengan susunan saling himpit

pada tumpukan yang panjang. Walaupun metode himpit pada tumpukan akan memberikan tekanan yang tidak seragam pada setiap tumpukannya, namun untuk itu PPI sangat dapat difungsikan karena memiliki desain yang unik dengan adanya individual press-pin pada masing-masing chip. Chip dapat dilihat pada Gambar 5 berikut ini.



Gambar 5. Chip IGBT

Chip ini memiliki karakteristik komponen dengan kecepatan tinggi dan mempunyai kemampuan full kontrol pada komutasi. Dengan plat emitter yang kaku, komponen ini membutuhkan perhatian khusus untuk mendapatkan penyaluran tekanan yang seragam untuk tumpukan yang panjang terutama pada aplikasi transmisi arus searah (Rahimo et al., 2009). Untuk memenuhi permintaan tersebut, setiap chip ini dipasang secara paralel dengan ditekan secara individual. Penggunaan chip ini pada konsep pemutus arus searah hybrid.



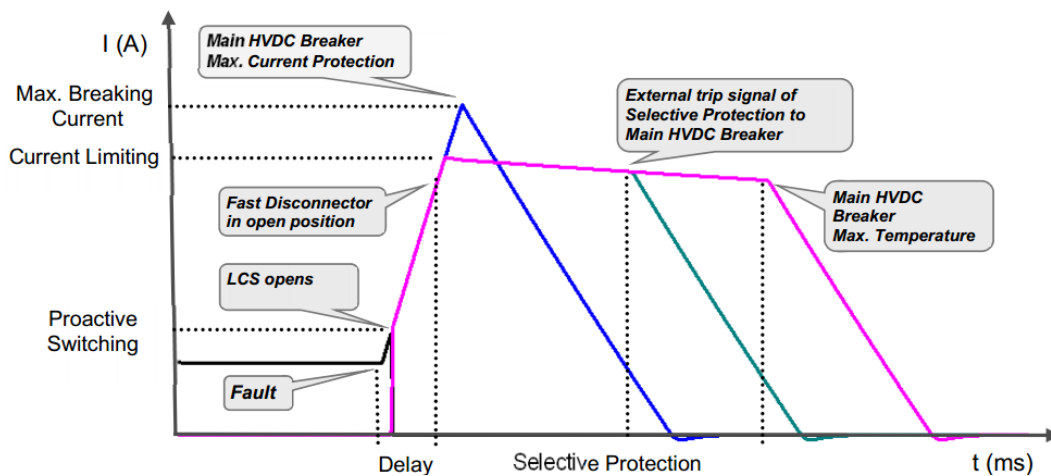
Gambar 6. Chip Pada Komponen Aktif Pemutus Daya Arus Searah Berbasis Hybrid

Dengan konsep PPI 4.5 kV dapat menambah nilai tegangan yang sebelumnya sudah ada pada IGBT. Keuntungan dari konsep ini adalah mudah diatur dan setiap modulnya dapat dirawat (Eicher et al., 2004).

Sistem Kerja Pemutus Arus Searah Berbasis Hybrid

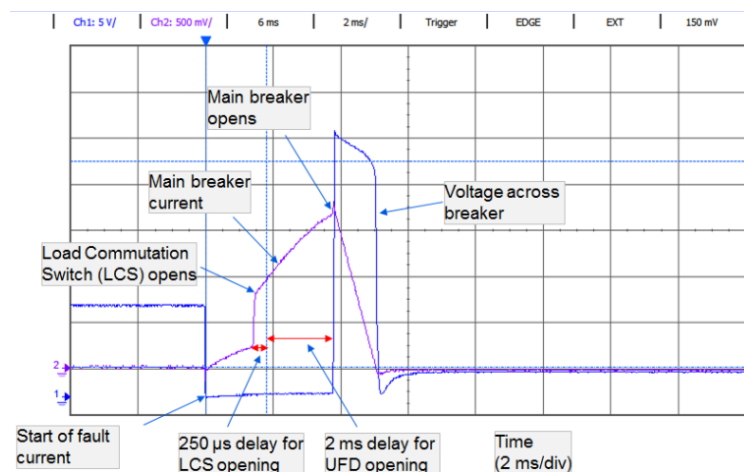
Dalam kondisi normal arus hanya mengalir pada bagian A. Namun ketika terjadi gangguan LCS (c) akan segera mengkomutasi arus menuju ke bagian G dan UFD (b) membuka, sehingga pemutus utama dapat memutus arus. Penjelasan lebih detail dapat dijelaskan melalui

gambar berikut:



Gambar 7. Kontrol Proaktif dari Pemutus daya Arus Searah Berbasis Hybrid

Kontrol proaktif dari pemutus daya arus searah berbasis hybrid memungkinkan untuk mengkompensasi pada waktu tunda dari UFD jika waktu membuka dari saklar lebih pendek dari waktu yang dibutuhkan untuk proteksi.



Gambar 8. Diagram waktu kerja pemutus arus searah hybrid

Sistem kerja dari pemutus arus searah hybrid secara sistematis:

1. Pada saat operasi normal tidak ada arus yang mengalir pada komponen bagian D, arus hanya mengalir pada komponen bagian A dan bagian G.
2. Pada saat terjadi gangguan, arus perlahan mulai meningkat dengan cepat, yang pertama kali membuka adalah saklar dari LCS (Load Commutating Switch) tetapi seperti terlihat pada kurva ada waktu delay untuk membuka saklar. Namun waktu delay tidak terlalu lama (hanya beberapa μ s).
3. Arus hubung singkat yang terus meningkat dimanfaatkan untuk menyimpan energi pada

- induktor sebagai pembatas arus maksimum.
4. Sementara itu sesaat setelah LCS membuka, UFD juga dengan cepat membuka namun juga terdapat waktu delay sekitar 2 ms. Dengan cepat mengkomutasi arus gangguan menuju ke pemutus utama (D).
 5. Pemutus utama (e) bekerja untuk menahan arus gangguan dan mengkomutasinya menuju arrester (f).
 6. Arrester (f) bekerja untuk menghasilkan arus lawan dengan menyerap energi yang tersimpan pada induktor yang dapat membuat mengurangi arus gangguan hingga menjadi nol.
 7. Setelah gangguan dihilangkan, disconnecting circuit breaker (i) memutus arus sisa dan mengisolasi gangguan line dari jaringan transmisi arus searah untuk mengamankan arrester bank dari overload panas.

Kesimpulan

Berdasarkan penjelasan yang telah diuraikan, untuk mendapatkan sistem interkoneksi dengan menggunakan transmisi arus searah tegangan tinggi harus didukung oleh penggunaan pemutus arus searah berbasis hybrid yang mampu memutus arus gangguan hubung singkat pada sisi arus searah dengan sangat cepat dan mampu mengatasi permasalahan rugi-rugi daya yang besar yang dihasilkan oleh komponen semikonduktor sehingga keandalan dan kestabilan sistem tetap terjaga.

Referensi

- Callavik, M., Blomberg, A., Häfner, J., & Jacobson, B. (2012). The hybrid HVDC breaker. *ABB Grid Systems Technical Paper*, 361, 143-152.
- Eicher, S., Rahimo, M., Tsyplakov, E., Schneider, D., Kopta, A., Schlapbach, U., & Carroll, E. (2004). *4.5 kV press pack IGBT designed for ruggedness and reliability*. Paper presented at the Conference Record of the 2004 IEEE Industry Applications Conference, 2004. 39th IAS Annual Meeting.
- Franck, C. M. (2011). HVDC circuit breakers: A review identifying future research needs. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 26(2), 998-1007.
- Ginarsa, I., Nrartha, I., & Muljono, A. B. (2020). Transmisi Daya Tegangan Tinggi Arus Searah (TTAS) Keuntungan Desain Dan Interaksinya Dengan Sistem Arus Bolak-Balik (AB).
- Magnusson, J., Hammar, O., & Engdahl, G. (2010). *Modelling and experimental assessment of thomson coil actuator systems for ultra fast mechanical switches for commutation of load currents*. Paper presented at the 12th International Conference on New Actuators/6th International Exhibition on Smart Actuators and Drive Systems, Bremen, GERMANY, JUN 14-16, 2010.
- Meyer, J.-M., & Rufer, A. (2006). A DC hybrid circuit breaker with ultra-fast contact opening and integrated gate-commutated thyristors (IGCTs). *IEEE Transactions on Power Delivery*, 21(2), 646-651.
- NST, M. A. M., Hermawan, H., & Denis, D. (2020). RANCANG BANGUN MINIATUR SISTEM TRANSMISI DAYA ARUS SEARAH DENGAN RECTIFIER SATU FASA, BOOST CONVERTER DAN SISTEM MONITORING MENGGUNAKAN DATA LOGGER BERBASIS MIKROKONTROLER STM32F103C8T6. *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 9(2), 261-268.

- Rahimo, M., Kopta, A., Schlapbach, U., Vobecky, J., Schnell, R., & Klaka, S. (2009). *The Bi-mode Insulated Gate Transistor (BIGT) a potential technology for higher power applications*. Paper presented at the 2009 21st International Symposium on Power Semiconductor Devices & IC's.
- Sudarmanto, P. S. P. (2018). Analisis Perbandingan Efisiensi Sistem Kelistrikan Arus Bolak-Balik Dan Purwarupa Arus Searah Untuk Beban Residensial.
- Trainer, D., Davidson, C., Oates, C., Macleod, N., Critchley, D., & Crookes, R. (2010). *A new hybrid voltage-sourced converter for HVDC power transmission*. Paper presented at the CIGRÉ session.