

PROTEKSI *ROTOR SIDE CONVERTER* UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN MENGUNAKAN *CROWBAR*

Diantama Yoga Suprpto¹⁾, Iradiratu Diah Prahmana Karyatanti²⁾

¹⁾Teknik Elektro Universitas Hangtuah Surabaya

Jl. Arief Rahman Hakim no.150 Surabaya

e-mail : diantamay@gmail.com

ABSTRACT

Pada saat ini energi listrik berbahan fosil semakin lama semakin berkurang jumlahnya. Maka dari itu, energi listrik tenaga angin dapat mengurangi pemakaian energi listrik berbahan dari fosil. Generator yang digunakan dalam pembangkit listrik tenaga angin adalah Double Fed Induction Generator (DFIG). Pada bagian stator tersambung dengan saluran (grid) dan bagian rotor terhubung dengan sebuah konverter yaitu back-to-back converter. Gangguan arus pada rotor side converter yang mengakibatkan kerusakan pada konverter. Pengujian dilakukan simulasi sistem proteksi crowbar pembangkit listrik tenaga angin pada sisi rotor side converter dengan variasi kecepatan 11 m/s, 13 m/s, dan 15 m/s. Pada penelitian ini didapatkan bahwa dengan memasang crowbar antara rangkaian rotor dan rangkaian rotor side converter dapat mengisolir arus rotor side converter saat gangguan pada variasi kecepatan angin yang berbeda-beda. Hasil dari penelitian ini pada kecepatan 11 m/s ketika diterapkan gangguan jaringan tiga fasa mendapat nilai sebesar 1.51 pu, pada kecepatan 13 m/s ketika diterapkan gangguan jaringan tiga fasa mendapat nilai sebesar 1.54 pu, pada kecepatan 15 m/s ketika diterapkan gangguan jaringan tiga fasa mendapat nilai sebesar 1.79 pu. Batas arus rotor side converter maksimal dari perhitungan yang ada memiliki nilai 1.37 pu. Crowbar dapat mengisolir gangguan arus yang melebihi batas arus maksimalnya.

Keywords : *(Double Fed Induction Generator (DFIG), Back-to-back converter, rotor side converter, crowbar, Grid)*

1. PENDAHULUAN

Energi angin merupakan salah satu jenis energi terbarukan yang dapat digunakan untuk membangkitkan energi

listrik. Energi angin hampir selalu tersedia walaupun tingkat energi yang dihasilkan berbeda-beda berdasarkan

kecepatan angin. (Harumwidiah and Kurniawan 2016)

Topologi sistem pembangkit listrik tenaga angin dengan DFIG terdiri atas sebuah turbin angin, sebuah gear box (GB) yang berfungsi untuk mengkonversi kecepatan turbin menjadi kecepatan rotor generator, sebuah generator induksi wound rotor dimana belitan stator terhubung langsung dengan grid dan belitan rotor tersambung dengan back-to-back converter. (Harumwidiah and Kurniawan 2016)

Selain banyak keuntungan yang ditawarkan DFIG, DFIG juga memiliki beberapa kekurangan. Seperti yang telah disebutkan, belitan stator dipasang ke jaringan secara langsung, lebih rentan terhadap kesalahan dibandingkan dengan generator konvensional lainnya. (Islam et al. 2019)

Metode kontrol peralatan perangkat keras yang sesuai diperlukan untuk menerapkan Low Voltage Ride Through (LVRT) DFIG jika terjadi penurunan tegangan jaringan yang tajam. Crowbar sering dipasang di sisi rotor DFIG untuk mengurangi arus rotor pada rotor-side converter dan melindungi perangkat elektronik. Sakelar pada crowbar pasif adalah thyristor, yang hanya dapat mengatur kontrol pemutusan bukan mematikan. (Davoudi, Sadeh, and

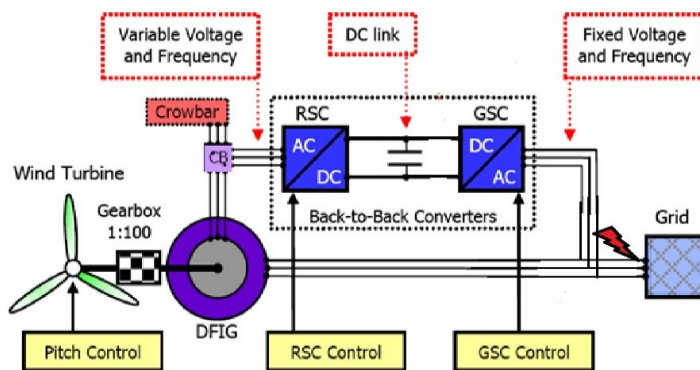
Davoudi 2019) penelitian ini menggunakan crowbar aktif. Sakelar pada crowbar aktif adalah Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT) atau Gate Turn Off GTO, yang tidak hanya dapat mengatur pemutus arus tetapi juga mematikan, dan dapat memberikan kontrol yang cepat setelah gangguan jaringan diatasi. Memungkinkan kontrol cepat setelah gangguan jaringan listrik teratasi.

2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini akan menjelaskan sistem pembangkit listrik tenaga angin menggunakan sistem DFIG yang terdiri atas sebuah turbin angin, sebuah gear box (GB) yang berfungsi untuk mengkonversi kecepatan turbin menjadi kecepatan rotor generator, sebuah generator induksi wound rotor, belitan stator terhubung langsung dengan grid dan belitan rotor tersambung dengan back-to-back converter. Back-to-back converter ini terdiri atas rotor-side converter, sebuah kapasitor DC dan grid-side converter yang terhubung dengan grid.

Pada saat gangguan hubung singkat diterapkan pada jaringan tiga fasa, gangguan ini menyebabkan terjadi penurunan tegangan pada jaringan. Ketika penurunan tegangan terjadi pada

jaringan, maka arus rotor yang akan masuk ke rotor side converter akan tinggi. Ketika arus rotor tinggi dan melebihi ambang batas yang telah diterapkan. Untuk melindungi sistem DFIG terutama pada sisi back to back converter penelitian ini menggunakan proteksi crowbar. Dimana crowbar akan melindungi back to back converter dari arus berlebih. Pada simulasi penelitian ini sistem proteksi crowbar ditunjukkan pada Gambar. Dapat ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Sistem DFIG dengan crowbar

A. Spesifikasi

Pada penelitian ini parameter data turbin angin *nominal mechanical output power* = 1.5 MW. Parameter data generator yang digunakan adalah :

Nominal power	1.5 MVA
Tegangan stator	575 V_{rms}
Tegangan rotor	1975 V_{rms}
Frekuensi	60 Hz
Resistansi rotor	0.016 pu
rotor leakage inductances	0.16 pu
Resistansi stator	0.023 pu
stator leakage inductances	0.18 pu
Induktansi magnetisasi (Lm)	2.9 pu
Inertia constant (H)	0.685 s
Jumlah pasang kutub	3 pasang

B. Perhitungan setting crowbar

Peran resistansi crowbar disini sangat penting pada perilaku dinamis DFIG diperlukan nilai resistansi yang digunakan pada DFIG untuk proteksi pada *rotor side converter*. R_{cb} adalah resistansi crowbar. L_{σ} adalah nilai penjumlahan dari *stator leakage inductances* dan *rotor leakage inductances*. Maka :

$$L_{\sigma} = \text{stator leakage inductances} + \text{rotor leakage inductance} \quad (1)$$

$$L_{\sigma} = 0.18 + 0.16$$

$$L_{\sigma} = 0.34 \text{ pu.}$$

H adalah nilai dari *inertia constant* DFIG sesuai dengan blok parameter DFIG yaitu 0.685 s. Penentuan nilai resistansi crowbar dengan rumus dan perhitungan sebagai berikut menurut (Morsali, Morsali, and Ghadikola 2020).

$$R_{cb} = \frac{L_g}{H} \quad (2)$$

$$R_{cb} = \frac{0.34}{0.685}$$

$$R_{cb} = 0.5 \text{ pu}$$

Kemudian arus maksimum *rotor side converter* harus dibatasi dalam kisaran yang aman. $I_{r_{max}}$ adalah arus rotor maksimum pada *rotor side converter*. V_s adalah tegangan stator yaitu 0.82 pu. ω_r adalah kecepatan rotor yaitu 0.98 pu didapat pada sistem DFIG. Nilai V_s dan ω_r didapat dari simulasi sistem pada saat belum terpasang crowbar. R_{cb} adalah resistansi *crowbar* yang didapat dari perhitungan diatas. Penentuan nilai resistansi *crowbar* dengan rumus dan perhitungan sebagai berikut menurut (Morsali, Morsali, and Ghadikola 2020).

$$I_{r_{max}} = \frac{V_s}{\sqrt{(\omega_r L_g)^2 + R_{cb}^2}} \quad (3)$$

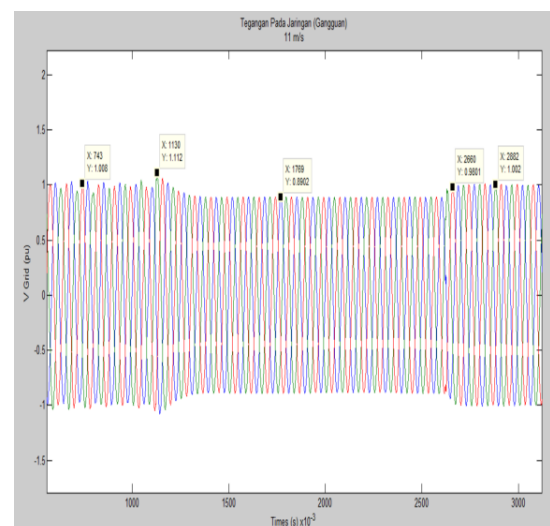
$$I_{r_{max}} = \frac{0.82}{\sqrt{(0.98 \cdot 0.34)^2 + 0.5^2}}$$

$$I_{r_{max}} = \frac{0.82}{0.6}$$

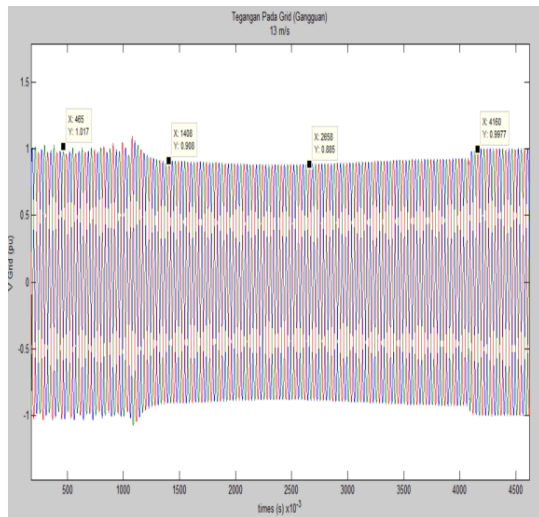
$$I_{r_{max}} = 1.37 \text{ pu}$$

3. HASIL PEMBAHASAN

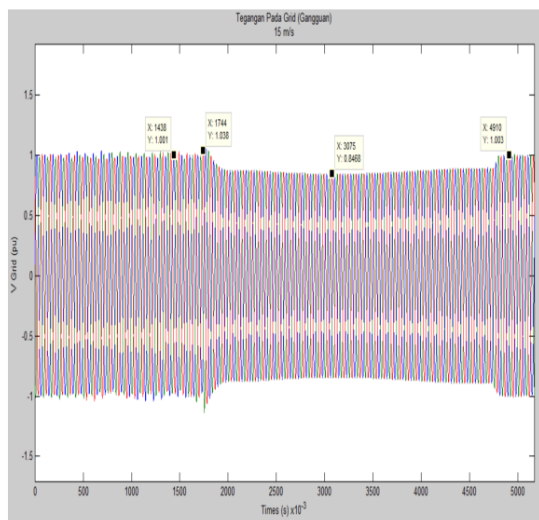
Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil analisa perbandingan arus yang masuk ke rotor side converter sistem pembangkit listik tenaga angin menggunakan sistem proteksi rangkaian crowbar dan tanpa proteksi crowbar ketika terjadi gangguan jaringan tiga fasa. Penelitian ini menggunakan tiga Variasi kecepatan yang mendekati kecepatan angina nyata. Tiga variasi kecepatan angin tersebut yaitu sebesar 11 m/s, 13 m/s dan 15 m/s. Dikarenakan menurut (Habibie, Sasmito, and Kurniatan 2011) tingkatan kecepatan angina 10 meter diatas permukaan tanah ideal pada 5.5 m/s sampai dengan 17.1 m/s.



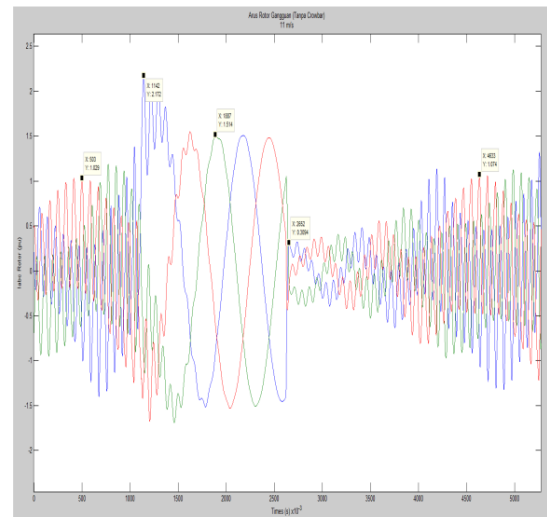
Gambar 2. Pengujian gangguan pada tegangan pada jaringan kecepatan 11 m/s



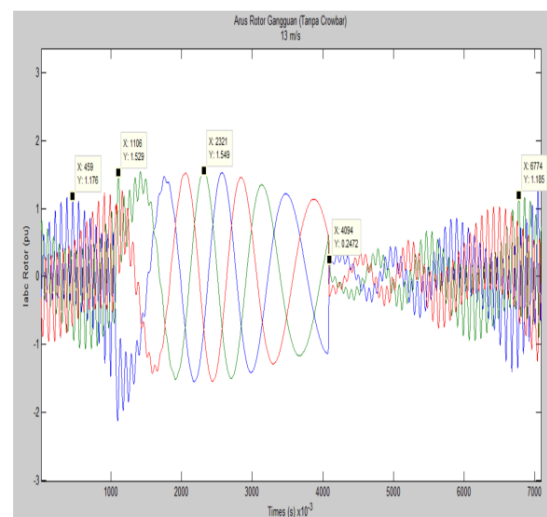
Gambar 3. Pengujian gangguan pada tegangan pada jaringan kecepatan 13 m/s



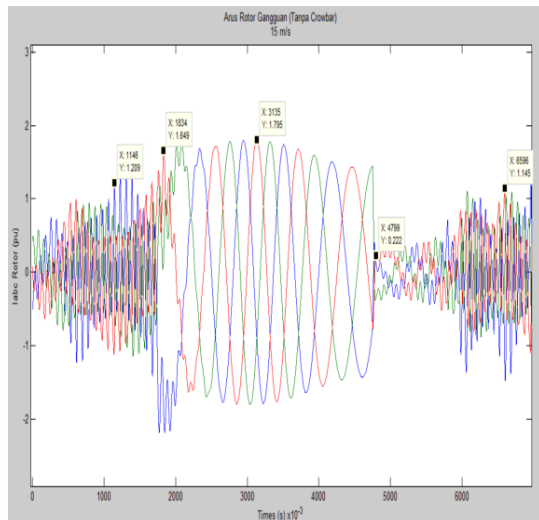
Gambar 4. Pengujian gangguan pada tegangan pada jaringan kecepatan 15 m/s



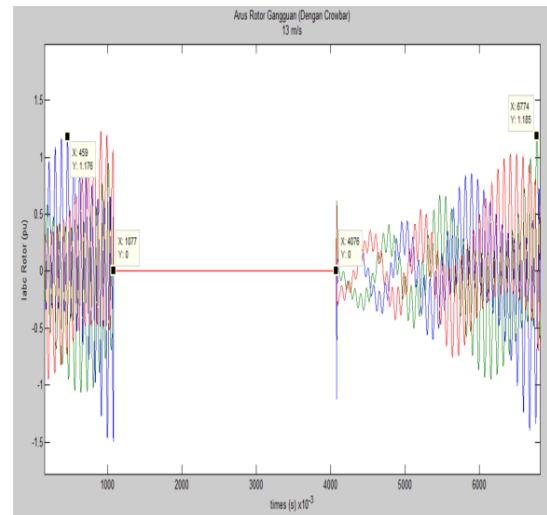
Gambar 5. Pengujian gangguan rotor side converter tanpa crowbar kecepatan 11 m/s



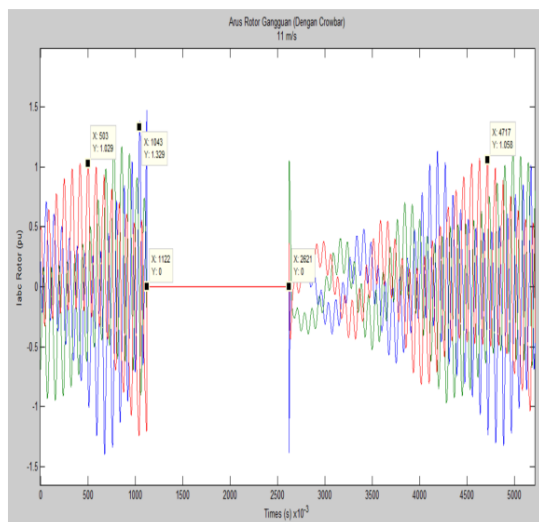
Gambar 6. Pengujian gangguan rotor side converter tanpa crowbar kecepatan 13 m/s



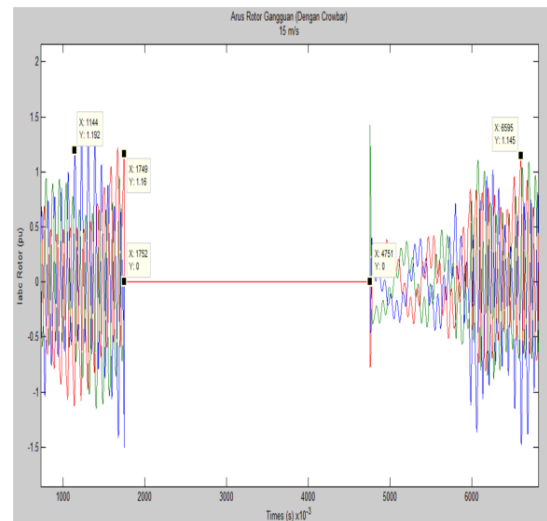
Gambar 7. Pengujian gangguan rotor side converter tanpa crowbar kecepatan 15 m/s



Gambar 9. Pengujian gangguan rotor side converter dengan crowbar kecepatan 13 m/s



Gambar 8. Pengujian gangguan rotor side converter dengan crowbar kecepatan 11 m/s



Gambar 10. Pengujian gangguan rotor side converter dengan crowbar kecepatan 15 m/s

Gambar 1, 2, 3, dan 4 adalah hasil pengujian gangguan hubung singkat jaringan tiga fasa pada tegangan jaringan, rotor side converter tanpa crowbar, dan rotor side converter dengan crowbar. Kemudian akan dibandingkan dan analisis pada tabel 1.

Tabel 1 : Perbandingan pada kecepatan 11 m/s, 13 m/s, 15 m/s

Parameter	Kecepatan angin 11 m/s		Kecepatan angin 13 m/s		Kecepatan angin 15 m/s		Ambang batas Crowbar
	Normal	Gangguan	Normal	Gangguan	Normal	Gangguan	
Arus rotor	1.02 pu	1.51 pu	1.17 pu	1.54 pu	1.2 pu	1.79 pu	1.37 pu
Tegangan grid	1 pu	0.89 pu	1.01 pu	0.88 pu	1.03 pu	0.84 pu	1.37 pu

Pada Tabel 1 merupakan perbandingan anantara pengujian normal dan gangguan pada kecepatan angin 11 m/s, 13 m/s, dan 15 m/s. Pada saat gangguan arus stator dan arus rotor akan meningkat, Arus belitan rotor akan bergeser searah dengan arus stator karena adanya kopling magnet antara belitan stator dan rotor. Akibatnya, arus pada belitan stator dan rotor akan naik. (Davoudi et al. 2019). Pada kecepatan 11 m/s Tegangan grid pengujian normal mendapatkan nilai sebesar 1 pu sedangkan saat gangguan, tegangan grid (gangguan) menurun mendapat nilai sebesar 0.89 pu. Besarnya penurunan tegangan yang terjadi adalah $1 \text{ pu} - 0.89 \text{ pu} = 0.11 \text{ pu}$. Ketika tegangan grid turun sebesar 0.11 pu menyebabkan arus rotor side converter gangguan akan naik

mendapat nilai sebesar 1.51 pu. Besarnya kenaikan arus rotor side converter pada kecepatan 11 m/s saat gangguan hubung singkat adalah $1.51 \text{ pu} - 1.02 \text{ pu} = 0.49 \text{ pu}$.

Variasi kecepatan angin kedua yaitu 13 m/s, pada kecepatan 13 m/s ini tegangan grid normal (tanpa adanya gangguan) yaitu sebesar 1.01 pu. Ketika gangguan hubung singkat diterapkan maka tegangan grid akan menurun dan mendapat nilai sebesar 0.88 pu. Besarnya penurunan tegangan ini adalah sebesar

$1.01 - 0.88 \text{ pu} = 0.13 \text{ pu}$. Penurunan tegangan grid ini akan mengakibatkan kenaikan arus rotor side converter. Arus rotor side converter normal (tanpa adanya gangguan) adalah 1.17 pu, pada saat gangguan diaktifkan maka arus rotor side converter akan meningkat dan mendapat nilai 1.54 pu. Besarnya nilai kenaikan arus rotor side converter ketika gangguan adalah sebesar $1.54 \text{ pu} - 1.17 \text{ pu} = 0.37 \text{ pu}$.

Kemudian pada pengujian terakhir yaitu pada kecepatan 15 m/s. pengujian tegangan grid normal mendapatkan nilai 1.03 pu. Pada saat gangguan diaktifkan, tegangan grid akan menurun dan mendapat nilai 0.84 pu. Penurunan tegangan grid ini akan memengaruhi nilai arus rotor side converter. Penurunan

tegangan grid ini sebesar 1.03 pu – 0.84 pu = 0.19 pu. Akibatnya, arus rotor side converter akan naik. Pengujian arus rotor side converter normal (tanpa gangguan) mendapat nilai sebesar 1.2 pu. Pada saat gangguan nilai arus rotor side converter mendapatkan nilai 1.79 pu. Nilai kenaikan arus rotor side converter ini adalah 1.79 pu – 1.2 pu = 0.59 pu. Ketika gangguan berakhir maka arus rotor side converter akan berangsur normal kembali.

Gangguan hubung singkat jaringan tiga fasa dengan variasi kecepatan angin 11 m/s, 13 m/s, dan 15 m/s menyebabkan arus rotor side converter mengalami kenaikan. Kenaikan arus rotor side converter tersebut disebabkan oleh penurunan tegangan pada sisi grid pada DFIG. Kenaikan arus rotor side converter pada kecepatan 11 m/s memiliki nilai 1.51 pu, pada kecepatan 13 m/s memiliki nilai 1.54 pu, pada kecepatan 15 m/s memiliki nilai 1.79 pu. Kenaikan arus rotor side converter pada kecepatan 11 m/s, 13 m/s, dan 15 m/s melewati ambang batas pada perhitungan pada subbab 3.3 yaitu 1.37 pu. Sehingga, crowbar aktif selama gangguan terjadi dan mengisolir semua arus yang ada hingga nilai nol. Jika, gangguan hilang maka crowbar nonaktif dan arus Kembali ke nilai semula (normal).

4. KESIMPULAN

Pada pengujian normal dilakukan tanpa adanya gangguan hubung singkat dengan kecepatan angin bervariasi 11 m/s, 13 m/s, dan 15 m/s.

Pada kecepatan 11 m/s mendapatkan nilai tegangan grid = 1 pu dan mendapatkan nilai arus rotor side converter = 1.02 pu. Pada kecepatan 13 m/s mendapatkan nilai tegangan grid = 1.01 pu dan mendapatkan nilai arus rotor side converter = 1.17 pu.

Pada kecepatan 15 m/s mendapatkan nilai tegangan grid = 1.03 pu dan mendapatkan nilai arus rotor side converter = 1.2 pu. Pada pengujian gangguan dilakukan dengan pemberian hubung singkat tiga fasa pada sisi jaringan dengan kecepatan angin bervariasi 11 m/s, 13 m/s, dan 15 m/s.

Pada saat kecepatan angin 11 m/s ketika gangguan hubung singkat jaringan tiga fasa. Arus rotor side converter mendapat nilai arus sebesar 1.51 pu. Pada saat kecepatan angin 13 m/s ketika gangguan hubung singkat jaringan tiga fasa. Arus rotor side converter mendapat nilai sebesar 1.54 pu.

Pengujian penerapan gangguan hubung singkat tiga fasa pada kecepatan bervariasi 11 m/s, 13 m/s, dan 15 m/s

dengan menggunakan crowbar pada sisi rotor side converter mendapat nilai melebihi ambang batas yang telah diperhitungkan yaitu 1.37 pu. Maka dari itu, crowbar akan aktif ketika gangguan diterapkan untuk mengisolir arus yang ada pada rotor side converter menjadi nol. Ketika gangguan berakhir maka crowbar non-aktif dan arus rotor side converter akan dikembalikan ke nilai semula.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriani (2014) 'BAB II Tinjauan Pustaka_ 2010isa.pdf', Apriani, pp. 9– 66.
- Arindya, R. (2017) 'Penerapan Doubly-Fed Induction Generator Untuk', 1(1), pp. 57–61.
- Chandrasekaran, S. et al. (2012) 'Improved control strategy of wind turbine with DFIG for Low Voltage Ride Through capability', SPEEDAM 2012 - 21st International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, pp. 19-24. doi:10.1109/SPEEDAM.2012.6264552.
- Chrisnagara, A. M. (2020) 'Pengujian Performa Sistem PLT Pico Hydro Yang Menggunakan Turbin Kaplan Poros Horizontal', pp. 9–18.
- Davoudi, Mehdi, Sadeh, J. and Davoudi, Masoud (2019) 'Analysis of DFIG during Unsymmetrical Grid Fault by Using Crowbar Circuit', 2019 Iranian Conference on Renewable Energy and Distributed Generation, ICREDG 2019, pp. 11 12. doi:10.1109/ICREDG47187.2019.194 198.
- Daya, S. and Daya E. (2010) 'Semikonduktor Daya 2010', pp. 1–12.
- Demirbaş, Ş. and Bayhan, S. (2011) 'Grid synchronization of doubly fed induction generator in wind power systems', International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives, (September 2015) .Doi: 10.1109/PowerEng.2011.6036502.
- Habibie, M. N., Sasmito, A. and Kurniawan, R. (2011) 'Kajian Potensi Energi Angin Di Wilayah Sulawesi Dan Maluku', Jurnal Meteorologi dan Geofisika, 12(2), pp. 181–187. doi: 10.31172/jmg.v12i2.99.
- Harumwidiah, A. and Kurniawan, A. (2016) 'Simulasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Doubly Fed Induction Generator (DFIG) dengan

- Back-To-Back Converter', Jurnal Nasional Teknik Elektro, 5(2), p. 252. doi: 10.25077/jnte.v5n2.269.2016.
- Islam, M. R. et al. (2019) 'Fault Ride Through Capability Enhancement of DFIG Based Wind Farm Using Advanced Converter Topology', 5th International Conference on Computer, Communication, Chemical, Materials and Electronic Engineering, IC4ME2 2019, (1), pp. 11–12. doi: 10.1109/IC4ME247184.2019.9036554
- Kurniawan, D. et al. (no date) 'Pengaturan Daya Pada Doubly Fed Induction Generator Menggunakan Type-2 Fuzzy Pi Controller', 2.
- Liu, B. et al. (2015) 'Research on the value of crowbar resistance to low voltage ride through of DFIG', 2015 International Conference on Computer and Computational Sciences, ICCCS 2015, pp. 44–48. doi:10.1109/ICCACS.2015.7361320.
- Morsali, Payam, Morsali, Pooria and Ghadikola, E. G. (2020) 'Analysis and Simulation of Optimal Crowbar Value Selection on Low Voltage Ride- Through Behavior of a DFIG-Based Wind Turbine', Proceedings, 58(1), p. 18. doi: 10.3390/wef-06939.
- Saefullah, A. et al. (2018) 'Rancang Bangun Alat Praktikum Hukum Ohm Untuk Memfasilitasi Kemampuan Berfikir Tingkat Tinggi (Higher Order Thinking Skills)', Gravity: Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Fisika, 4(2), pp. 81–90. doi: 10.30870/gravity.v4i2.4035.
- Sumiati, R. (2012) 'Pengujian Turbin Angin Savonius Tipe U Tiga Sudu Di Lokasi Pantai Air Tawar Padang', Jurnal Teknik Mesin, 1(1), pp. 27–32.
- Untoro, F. X. W. Y. (2019) 'Pemanfaatan Algoritma Genetika Untuk Membangun Kombinasi Paralel Resistansi Yang Setara Dengan Resistansi Rusak', Jurnal Nasional Pendidikan Teknik Informatika (JANAPATI), 8(2), p. 94. doi:10.23887/janapati.v8i2.17193.