

PEMODELAN DAN SIMULASI APLIKASI SUPERCAPACITOR PADA SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU

A. M. Shiddiq Yunus¹⁾ dan Sukma Abadi²⁾

^{1),2)} Dosen Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar

ABSTRACT

The needs of renewable energy sources are inevitable to be increase from time to time due to global warming issue and pollutions from conventional based power stations. However, the lateness progress of renewable energy based power stations in dominating worldwide total power stations is caused by the renewable energy's technology rather expensive and some are still immature. For wind turbine itself, when connecting to the grid, it must obey the regulation particularly when it disturbed by grid fault that might violate the grid code itself. Consequently, the wind turbine must be disconnected from the grid which in turn leads to high economic lost. This paper is aimed to design and simulate the compensator for Wind Turbine Generator (WTG) which is connected to the grid using Supercapacitor (SC). SC is controlled with Hysteresis Current Controller (HCC) and Fuzzy Logic Controller (FLC). This system is modeled using MATLAB. The simulation results show that voltage profile at Point of Common Coupling (PCC) is corrected above the selected Fault Ride Through (FRT) which is in turn avoiding the WTG disconnected from the grid.

Keywords: *WTG, Hysteresis Current Controller, Fuzzy Logic Controller.*

1. PENDAHULUAN

Tenaga listrik merupakan suatu unsur penunjang yang sangat penting bagi pengembangan secara menyeluruh suatu bangsa. Pemanfaatannya secara tepat guna akan merupakan suatu alat yang ampuh untuk merangsang pertumbuhan perekonomian negara. Berdasarkan alasan tersebut, dapat dimengerti apabila pada akhir-akhir ini permintaan akan kebutuhan tenaga listrik semakin meningkat di negara-negara seluruh dunia. Secara garis besar dapat dikatakan bahwa, ditinjau dari segi kebutuhan tenaga, hampir dapat dipastikan semua negara di dunia benar-benar sedang mengalami krisis energi listrik dan berbagai kesibukan dilakukan untuk mencari pemanfaatan berbagai alternatif pembangkit energi listrik untuk memenuhi kebutuhan yang terus meningkat.

Indonesia merupakan negara kepulauan yang masih banyak daerah-daerah yang terpencil didalamnya dan juga belum ada penerangan listrik dan terjangkau oleh PLN. Padahal listrik atau penerangan sangat dibutuhkan oleh daerah tersebut agar daerah tersebut tidak ketinggalan dalam memperoleh informasi yang bertujuan untuk memajukan daerah tersebut dan dapat meningkatkan produktifitas masyarakatnya. Oleh karena itu untuk memenuhi kebutuhan akan penerangan listrik untuk daerah terpencil perlu diciptakan alat yang dapat menjangkau tempat terpencil yang murah dan ramah lingkungan. Indonesia merupakan salah satu negara yang terpadat penduduknya di dunia. Lebih dari 80% rakyatnya hidup di daerah pedesaan. Indonesia merupakan salah satu negara dengan penggunaan tenaga listrik yang paling rendah di dunia, hanya sebesar 787,6 kWh per kapita pertahun (statistik PLN 2015). Hampir semua tenaga listrik itu digunakan untuk industri dan usaha niaga lainnya serta untuk sebagian kecil penduduk yang tinggal di kota-kota besar. Perusahaan Umum Listrik Negara masih dalam tahap pengembangan. Produksi per kapita masih sangat rendah, sebagian besar komsumsinya adalah untuk penerangan dan keperluan rumah tangga yang tidak produktif. Keadaan ini menunjukkan mendesaknya pengadaan listrik pedesaan di Indonesia. Selain itu tenaga listrik merupakan salah satu kebutuhan pokok meningkatkan hasil pertanian, untuk mengurangi kerugian panen dan untuk merangsang industri rakyat yang dapat menciptakan lapangan kerja baru dan menambah penghasilan masyarakat. Juga tenaga listrik ini terbukti mempunyai manfaat sosial seperti penerangan untuk pendidikan diwaktu malam, penambahan waktu kerja, rekreasi, pendinginan untuk pengawetan makanan, kesehatan dan lain-lain.

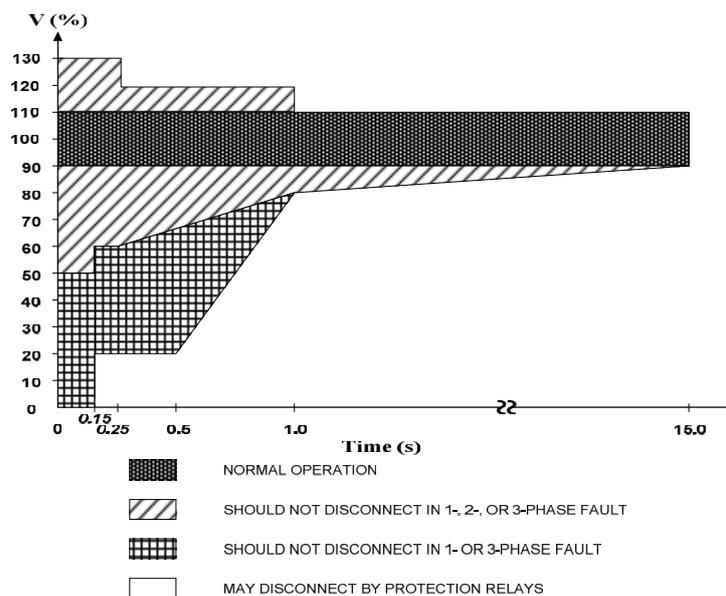
Rasio elektrifikasi di Indonesia pada tahun 2015 mencapai 86,20% artinya di Indonesia sendiri jumlah rumah tangga yang belum mendapatkan sambungan listrik adalah sekitar 13,80% (Statistik PLN 2015). Hal inilah yang mendorong agar pemanfaatan sumber-sumber energi terutama air yang melimpah di Indonesia secara umum dan di Sulawesi Selatan secara khusus dapat dimaksimalkan. Pembangkit listrik tenaga angin termasuk pembangkit berbasis energi terbarukan yang cukup signifikan perkembangannya di

¹ Korespondensi: shiddiq@poliupg.ac.id

dunia. Di akhir tahun 2015 (Data 2016 belum dirilis), sebagaimana dilaporkan oleh GWEC (Global Wind Energy Council), jumlah pembangkit listrik tenaga angin/bayu (PLTB) yang terpasang di dunia mencapai 432.883 MW yang di dominasi di Negara-negara Eropa (www.gwec.net), sementara itu, di Indonesia total PLTB yang terpasang masih sekitar 1,4 MW ditahun 2012 dan ditargetkan mampu mencapai 970 MW di tahun 2025 (Pradeep Tharakan, 2015) dan secara khusus di Sulawesi Selatan saat ini sudah pada tahap pembebasan lahan dan konstruksi yang nantinya ditargetkan mampu mensuplai energi listrik hingga 62,5 MW (www.republika.co.id).

Salah satu tantangan yang paling utama terkait sumber energi angin adalah sifatnya yang berubah setiap saat (*intermittent*), sehingga hasil konversi energinya juga akan mempengaruhi kualitas konsistensi keluarannya. Sehingga dibutuhkan penyimpanan energi (*energy storage*) yang dapat berfungsi menyelaraskan keluaran energi ke saluran. Disamping itu sangat diharapkan agar penyimpanan energi tersebut dapat pula bertindak sebagai kompensator yang dapat menjaga PLTB agar tidak dilepaskan dari jaringan (*grid*) ketika terjadi gangguan dari sisi *grid*. Terkait masalah tersebut, pada proposal ini, kami akan mendesain dan menginvestigasi sistem penyimpanan energi yang sekaligus berfungsi sebagai kompensator dengan menggunakan algoritma control *Hysteresis Current Controller* (HCC) dan *Fuzzy Logic Controller* (FLC). Skema algoritma control ini sebelumnya telah sukses diaplikasikan pada *Superconductor Magnetic Energy Storage* (SMES) (Shiddiq, dkk, 2012 dan 2013), namun mengingat harga teknologi SMES yang masih mahal dibanding supercapacitor (SC), maka SC dapat menjadi alternatif pilihan yang lebih murah (*cost effective*).

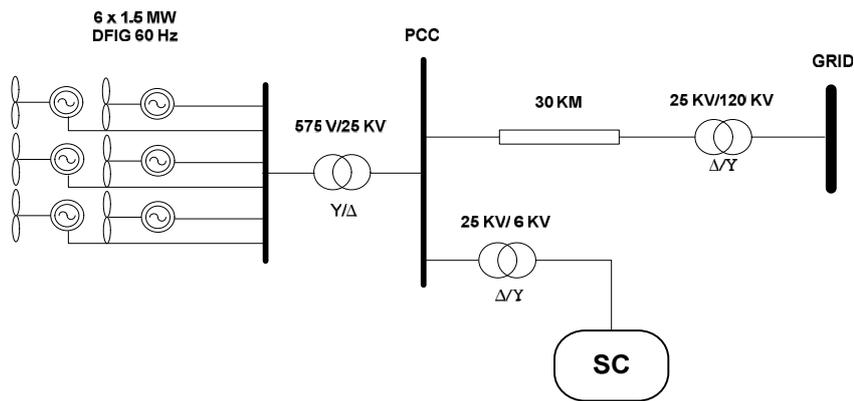
Pada umumnya pembangkit listrik tenaga bayu bila dalam jumlah kapasitas besar akan dihubungkan dengan jaringan listrik yang telah eksis sebelumnya (*grid*) yang di Indonesia dikenal dengan jaringan listrik PLN. Adapun untuk sistem kecil yang melayani beberapa kW saja biasanya merupakan pembangkit berdiri sendiri (*stand alone*). Dalam menghubungkan PLTB dengan Jaringan biasanya ada beberapa syarat yang harus terpenuhi diantaranya adalah kualitas tegangan yang didesain untuk tidak merugikan baik pihak *Grid* maupun pemilik PLTB yang biasa diistilahkan dengan *Voltage Ride Through* (VRT). Contoh VRT dapat di lihat pada gambar 1.



Gambar 1. Voltage Ride Through (VRT) dari Spanyol (Alt X, 2010)

2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, model PLTB dengan SC Unit-nya akan dibangun dan disimulasi menggunakan Simulink-MATLAB Software. Adapun model yang akan dibangun dapat dilihat pada gambar 2. Seperti terlihat pada gambar 2. SC Unit diletakkan pada *point of common coupling* (PCC) untuk memperbaiki profil tegangan di PCC saat terjadi gangguan yang menjadi persyaratan VRT apakah PLTB tetap terkoneksi dengan *grid* atau harus dilepaskan (*disconnect*) karena dapat merusak PLTB itu sendiri. Roadmap penelitian dapat dilihat pada gambar 5. Pada gambar 5, pada tahun 2017, penelitian akan difokuskan pada pengembangan model PLTB tipe DFIG dilengkapi SC yang terinterkoneksi dengan *grid*. Pada PCC, SC Unit berbasis pengontrol HCC dan FLC akan dikoneksi sebagai kompensator yang akan memperbaiki profil tegangan PCC sesuai VRT jika terjadi gangguan baik pada sisi *grid* maupun pada sisi transmisi.



Gambar 2. Sistem PLTB jenis DFIG dengan SC

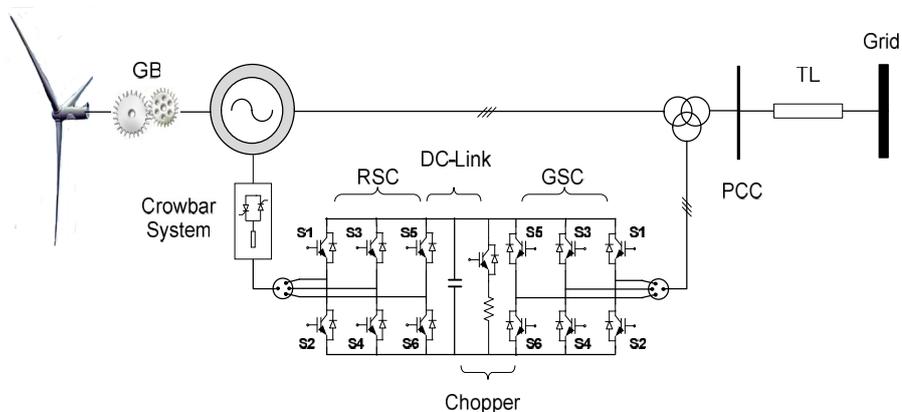
Salah satu kandidat terbaik penyimpan energi adalah Supercapacitor (SC). Beberapa keunggulan SC dibanding Baterai adalah tingginya *cycle capacity* yakni lebih dari 1000 Cycle dengan efisiensi lebih besar dari 90% dan dapat mensuplai daya dengan beberapa kilowatt dalam waktu satu detik (lebih cepat dari Baterai) (F. A. Farret and M. G. Simoes, 2006).

Kombinasi *Hysteresis Current Controller* (HCC) dan *Fuzzy Logic Controller* (FLC) pertama kali diperkenalkan ditahun 2012 yakni pada jurnal IEEE Transaction yang berbasis di USA. HCC dan FLC digunakan pada SMES (*Superconducting Magnetic Energy Storage*) untuk memperbaiki profil tegangan pada titik hubung (*point of common coupling-PCC*) dengan jaringan listrik (*grid*). Struktur HCC dan FLC dapat dilihat pada gambar 4.

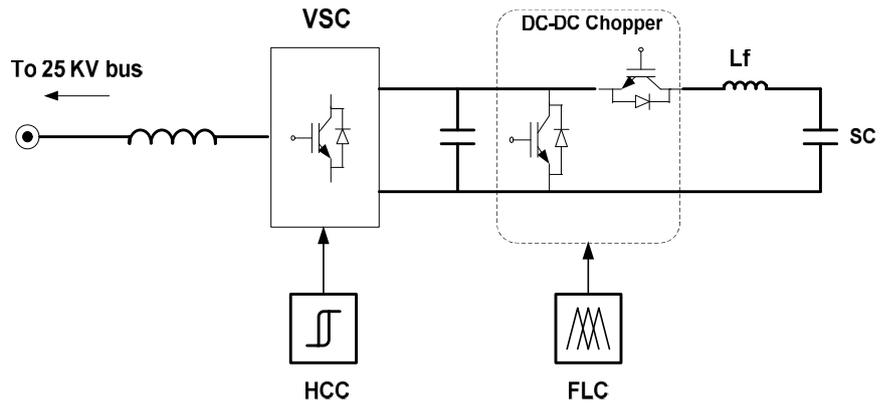
Kompensator SC terdiri dari dua converter utama yakni *Voltage Source Converter* (VSC) yang berfungsi mengatur level energi yang akan ditransfer dari DC Link ke grid. Adapun DC-DC Chopper berperan untuk membantu supply energi dari SC ke DC link.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

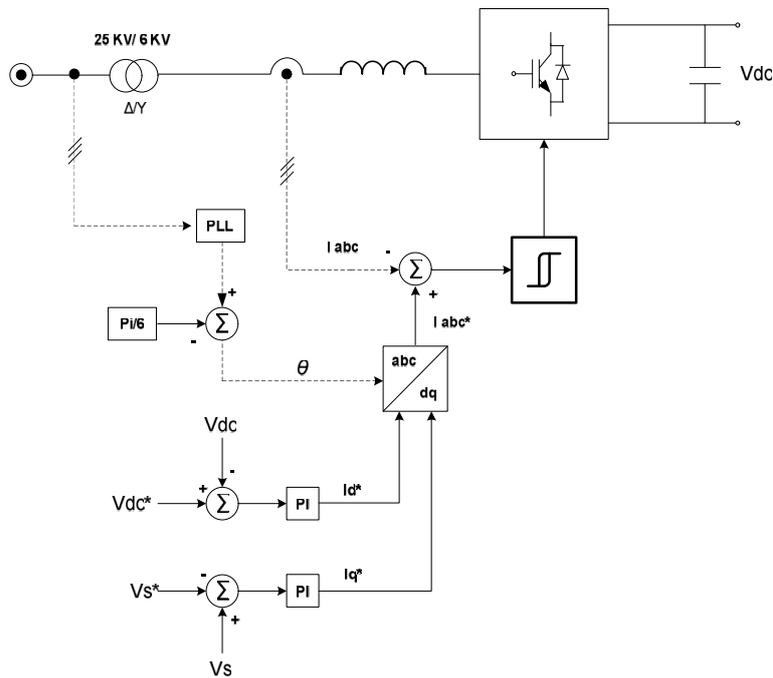
Sistem PLTB jenis DFIG dapat dilihat pada gambar 3. Sistem tersebut adalah PLTB jenis DFIG berkapasitas 1.5 MW sebagaimana yang ada dipasaran. Pada sistem DFIG, converter terhubung diantara sisi rotor dan statornya sehingga memungkinkan suplai reactive power ke grid dengan desain kontrolnya yang tepat. Gambar 2 menunjukkan sistem PLTB secara keseluruhan dimana Supercapacitor (SC) terhubung pada *Point of Coupling Couple* (PCC). PLTB terhubung ke grid melalui saluran transmisi sepanjang 30 Km pada tegangan 25 kV sebelum dinaikkan menjadi 120 kV pada grid. Adapun konfigurasi detail SC dan skema kontrolnya dapat dilihat pada gambar 4 dan 5.



Gambar 3. Typical konfigurasi PLTB jenis DFIG

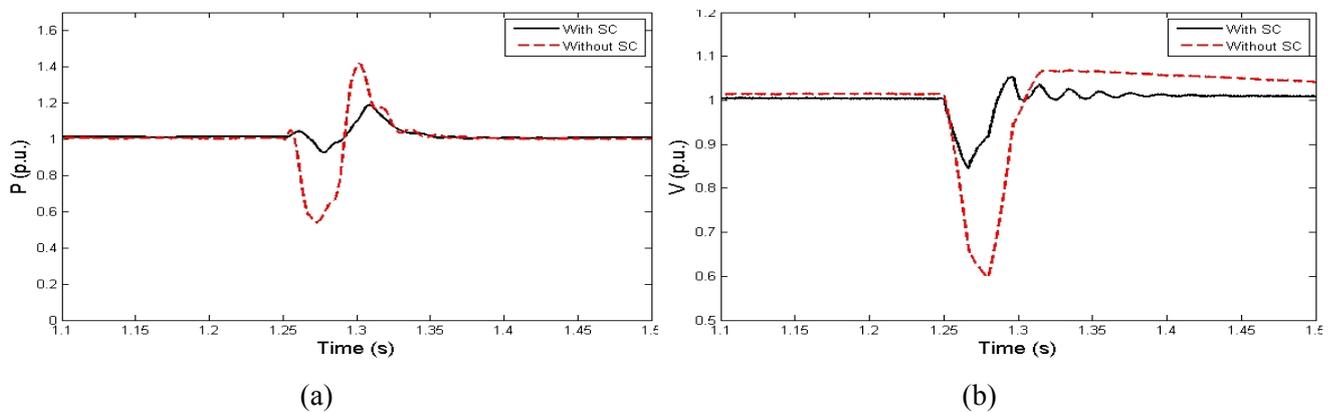


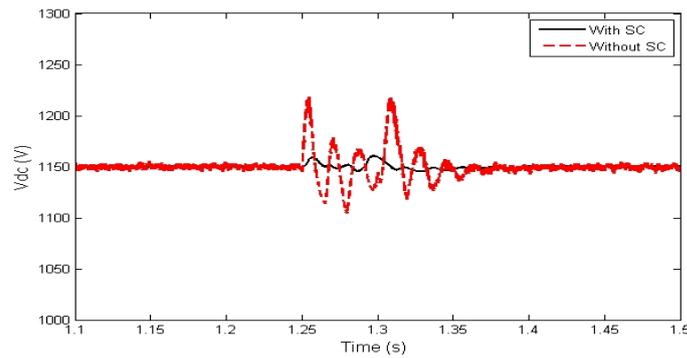
Gambar 4. Konfigurasi control SC dengan HCC dan FLC



Gambar 5 Kontrol VSC dengan HCC

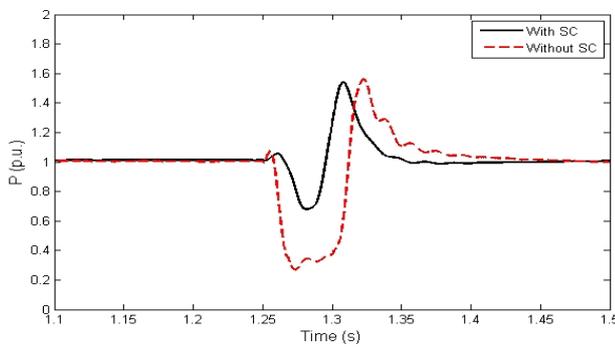
Pada penelitian ini dapat dilihat pengaruh penggunaan SC pada PLTB jenis DFIG khususnya ketika terjadi gangguan pada grid yang mengakibatkan dropnya suplai daya hingga 0.5 pu. Demikian pula halnya dengan drop tegangan pada PCC jika tidak menggunakan SC sebagai kompensatornya. Pada gambar 6 terlihat bahwa drop daya maupun tegangan pada PCC dapat diredam dengan suplai energi dari SC.



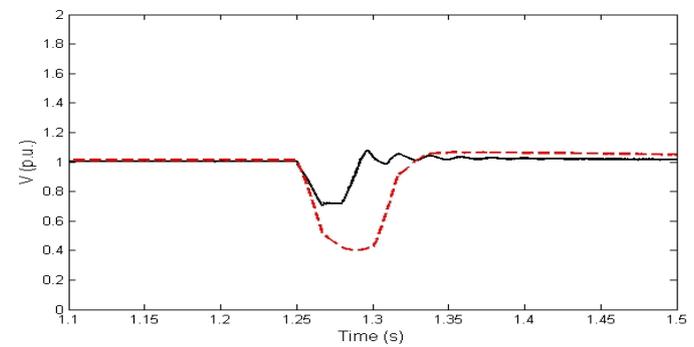


(c)

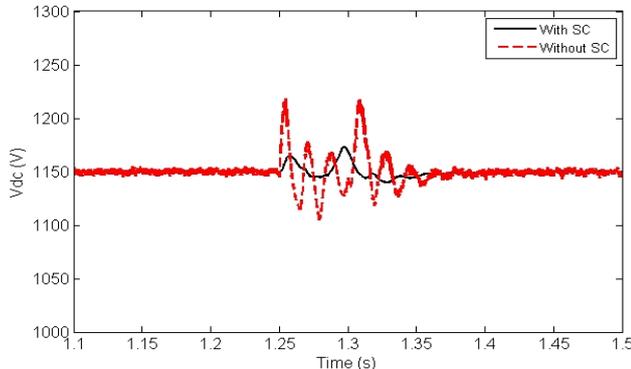
Gambar 6. Perbandingan respons output PLTB jenis DFIG dengan dan tanpa SC pada drop amplitud 0.5 pu pada sisi grid; (a) Respon Daya Output; (b) Respon Tegangan pada PCC dan (c) Response Vdc dari DFIG selama gangguan



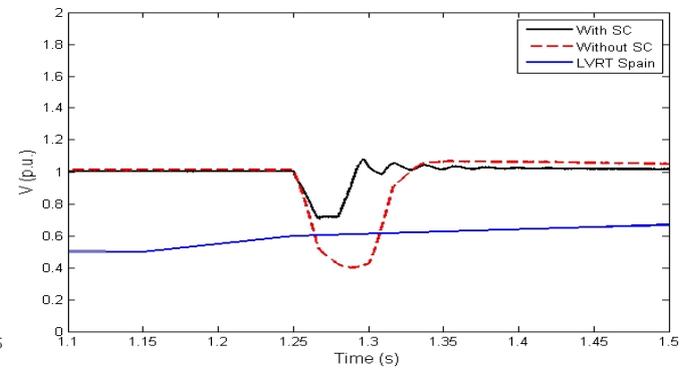
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 7. Perbandingan respons output PLTB jenis DFIG dengan dan tanpa SC pada drop amplitud 0.25 pu pada sisi grid; (a) Respon Daya Output; (b) Respon Tegangan pada PCC; (c) Response Vdc dari DFIG selama gangguan dan (d) Respon Tegangan pada PCC dibandingkan dengan VRT Spain

4. KESIMPULAN

- 1) Respon sistem dengan SC menunjukkan bahwa tegangan profile pada PCC dan juga daya aktif yang drop lebih sedikit dibandingkan dengan sistem tanpa SC
- 2) Tegangan pada DC-Link juga menunjukkan osilasi yang lebih sedikit jika sistem PLTB dilengkapi SC dibandingkan dengan sistem tanpa SC.
- 3) Dengan drop hingga 0.25 pu, sistem dengan SC mampu mempertahankan drop tegangan di atas batas *grid code* VRT dari Sistem Spanyol.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Alt, x, M. n, Go, O. ksu, R. Teodorescu, P. Rodriguez, B. B. Jensen, and L. Helle, "Overview of recent grid codes for wind power integration," in *12th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM)*, 2010 pp. 1152-1160.2010
- A. M. Shiddiq Yunus, Ahmed Abu Siada, M. A. S. Masoum, "Effects of SMES on Dynamic Behaviors of Type D-Wind Turbine Generator-Grid Connected during Short Circuit", IEEE Power Engineering Society General Meeting PES GM, Detroit, Michigan, USA, pp. 1-7, July 26-29. 2011.
- A. M. Shiddiq Yunus, M. A. S. Masoum, A. Abu Siada, "Application of SMES to Enhance the Dynamic Performance of DFIG during Voltage Sag and Swell", *Journal IEEE Transaction on Applied Superconductivity*. Vol. 22 No. 4. 2012.
- A. M. Shiddiq Yunus, A. Abu Siada, and M. A. S. Masoum "Application of SMES Unit to Improve DFIG Power Dispatch and Dynamic Performance During Intermittent Misfire and Fire-Through Faults", *Journal IEEE Transaction on Applied Superconductivity*. Vol. 23, No. 4 August 2013.
- F. A. Farret and M. G. Simoes, "Integration of Alternative Sources of Energy", New Jersey: Wiley-Interscience. 2006
- PLN. 2015. *Statistik PLN 2015*. Sekretariat Perusahaan PT PLN (Persero), Jakarta
- Pradeep Tharakan, 2015, Summary of Indonesia's Energy Sector Assesment, Asian Development Bank.
- www.gwec.net (diakses tanggal 01 Februari 2017)
- www.republika.co.id (Berita tanggal 30 Juni 2015: Sulsel Ditawari Pembangunan PLTB)

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada *Centre of Sustainable Energy and Smart Grid Applications (CoSESGA)* Jurusan Teknik Mesin atas dukungannya serta ucapan terimakasih kepada UPPM-PNUP yang telah membiayai penelitian ini.