

Studi Analisis Kestabilan Transien Dengan Metode *Time Domain Simulation* Pada Sistem Kelistrikan Kalimantan 275 kV

¹Elza Dwi Rachmayanti, ²Margo Pujiantara, ³Imam Robandi

¹Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

²Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

³Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

¹elzadwir@gmail.com, ²margo@ee.its.ac.id, ³robandi@ee.its.ac.id

Abstract--- Indonesia is a country that still needs a lot of energy in the future. The island of Kalimantan is one of the islands that has the largest area in Indonesia. The island has an important role in the Indonesian economy, one of which concerns the need for electrical energy. Increasing the current era of globalization, making electrical energy is a primary requirement in everyday life. To meet the increasing burden demand on the island of Kalimantan built an interconnected 275kV transmission line system. The construction of the transmission line is the development of a 150kV transmission line. The development, making the system will be reviewed in order to work safely and reliably. In this final project the system will be evaluated from transient stability using time domain simulation method (TDS). Cases given for the study of transient stability analysis are generator outage and short-circuit 3 phase interruptions. From the simulation results obtained, for the case of a generator outage and short circuit on a double circuit channel does not cause the system to exit from synchronization, because when the generator is off or short circuit, the power supply is lost between 5-7%. The lost power can be fulfilled by the interconnection system. The result of transient stability in terms of rotor angle response, frequency response, and voltage response obtained the expected results that can return to a stable state.

Keywords: Transient stability, time domain simulation, generator outage, short circuit

Abstrak--- Indonesia adalah negara yang masih membutuhkan banyak energi di masa depan. Pulau Kalimantan adalah salah satu pulau yang memiliki wilayah terbesar di Indonesia. Pulau ini memiliki peran penting dalam perekonomian Indonesia, salah satunya menyangkut kebutuhan energi listrik. Meningkatnya era globalisasi saat ini, menjadikan energi listrik merupakan kebutuhan utama dalam kehidupan sehari-hari. Untuk memenuhi permintaan beban yang meningkat di pulau Kalimantan membangun sistem saluran transmisi 275kV yang saling terhubung. Pembangunan saluran transmisi adalah pengembangan saluran transmisi 150kV. Pengembangan, membuat sistem akan ditinjau untuk bekerja dengan aman dan andal. Dalam tugas akhir ini sistem akan dievaluasi dari stabilitas transien menggunakan metode simulasi domain waktu (TDS). Kasus-kasus yang diberikan untuk studi analisis stabilitas transien adalah gangguan generator dan interupsi 3 fase sirkuit pendek. Dari hasil simulasi yang didapat, untuk kasus gangguan generator dan hubung singkat pada

saluran sirkuit ganda tidak menyebabkan sistem untuk keluar dari sinkronisasi, karena ketika generator mati atau korsleting, catu daya hilang antara 5-7 % Kekuatan yang hilang dapat dipenuhi oleh sistem interkoneksi. Hasil dari stabilitas transien dalam hal respon sudut rotor, respon frekuensi, dan respon tegangan diperoleh hasil yang diharapkan yang dapat kembali ke keadaan stabil.

Keywords: Kestabilan transien, time domain simulation, generator outage, short circuit

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik meningkat setiap tahunnya. Saat ini, pasokan tenaga listrik selalu memiliki peran yang signifikan dalam masyarakat. Kebanyakan masyarakat di negara berkembang seperti Indonesia tinggal di daerah pedesaan yang sering terisolasi dan terpencar penduduknya[1]. Pasokan listrik di Indonesia saat ini masih belum merata, maka untuk meningkatkan elektrifikasinya, pemerintah berusaha semaksimal mungkin memenuhi kebutuhan beban di seluruh daerah Indonesia[2]. Peningkatan elektrifikasi dapat berupa kegiatan seperti perencanaan, memfasilitasi penyebaran infrastruktur dan pengembangan program baru yang berkaitan dengan kebutuhan energi listrik[3].

Perkembangan suatu sistem kelistrikan tidak lepas dari permasalahan dan fenomena yang terjadi dalam suatu sistem yang interkoneksi[4]. Permasalahan dan fenomena tersebut dapat menyebabkan kegagalan suatu sistem jika tidak diatasi dengan cepat. Untuk itu, dalam suatu sistem kelistrikan sangat penting adanya analisa aliran daya[5]. Aliran daya digunakan untuk menentukan secara mendasar parameter pada sistem agar dapat di analisa lebih lanjut mengenai permasalahan yang ada. Dalam sistem kelistrikan dengan jaringan yang besar sangat banyak

permasalahan yang akan terjadi [6] ketika sistem tersebut dimodelkan ulang seperti, penambahan kapasitas tegangan dan menjadikan sistem interkoneksi. Perubahan suatu sistem kelistrikan tersebut tidak lepas dari masalah kestabilan sistem. Kestabilan tersebut sangat penting perannya dalam sistem kelistrikan untuk mendukung sistem kelistrikan tersebut berjalan dengan aman dan handal [7].

Kestabilan adalah kemampuan sistem dalam keadaan seimbang dan dapat mempertahankan kondisi seimbang setelah terjadinya gangguan pada sistem [8]. Kestabilan dapat diklasifikasikan menjadi 3 yaitu, ketabilan sudut rotor, kestabilan tegangan dan kestabilan frekuensi [9]. Ketiga kestabilan tersebut dapat terganggu oleh beberapa faktor seperti, penambahan kapasitas maupun penambahan beban secara mendadak, pelepasan generator atau terjadi gangguan sikuit pendek dalam saluran sistem [10]. Faktor-faktor tersebut merupakan fenomena dari kestabilan transien.

Kestabilan transien merupakan suatu kemampuan pada sistem kelistrikan dalam kondisi normal dan dapat kembali pada keadaan normal dengan waktu singkat setelah terjadi gangguan besar [11]. Gangguan besar tersebut berupa pelepasan generator dan sirkuit pendek. Kedua gangguan tersebut dapat menimbulkan sistem padam total apabila tidak segera diatasi dengan cepat [12]. Untuk itu, dalam suatu pemodelan sistem kelistrikan dengan jaringan yang besar sangat diperlukan analisa kestabilan transien.

Pemodelan dan analisa suatu sistem kelistrikan dengan jaringan besar dan interkoneksi menggunakan salah satu *software* dengan metode Simulasi Domain Waktu (*Time Domain Simulation*, TDS) yang digunakan untuk menganalisa studi kestabilan transien [13].

Dalam tugas akhir ini, menganalisa pemodelan suatu sistem kelistrikan dan kestabilan pada sistem kelistrikan Pulau Kalimantan. Pemodelan dan analisa ini dilakukan dikarenakan ada penambahan kapasitas tegangan yang digunakan sebagai *backbone* [14] yang terinterkoneksi setiap provinsi di Kalimantan. Saat ini, pada Pulau Kalimantan berdiri saluran transmisi dengan level tegangan 150 kV dan belum terinterkoneksi setiap area. Area pada Kalimantan terbagi menjadi tiga antara lain, area Kalimantan Barat, area Kalimantan Selatan-

Tengan dan area Kalimantan Timur-Utara. Penambahan kapasitas tegangan tersebut yaitu dengan pembangunan saluran transmisi yang bertegangan 275 kV sebagai *backbone* terinterkoneksi. *Backbone* tersebut menghubungkan setiap provinsi seperti, Kalimantan Barat (Sei Raya, Ketapang), Kalimantan Tengah (Sampit, Palangkaraya), Kalimantan Selatan (Banjarmasin), Kalimantan Timur (Balikpapan, Samarinda, Bontang), dan Kalimantan Utara (Tanjung Redep).

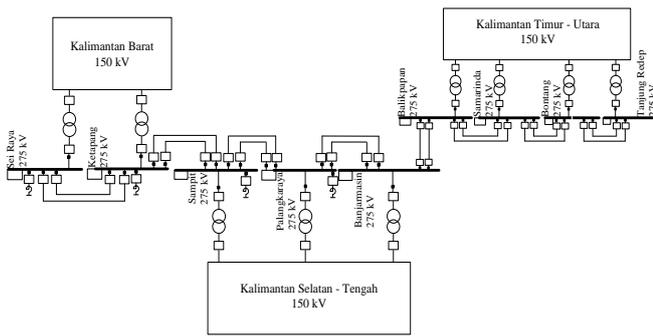
Pembangunan saluran transmisi ber-level tegangan 275 kV dengan sistem yang terinterkoneksi, maka sistem akan mengalami perubahan aliran daya dan kestabilan. Untuk itu perlu dilakukan studi analisa aliran daya dan kestabilan sistem. Tugas akhir ini lebih mengacu pada hasil simulasi kestabilan transien yang dihasilkan oleh sistem sebelum, saat dan setelah mengalami gangguan. Kasus yang diambil untuk melakukan studi analisa kestabilan transien yaitu berupa pelepasan generator dan gangguan sirkit pendek. Studi ini dilakukan dengan tujuan agar dapat mengetahui kinerja sistem yang mampu mempertahankan kondisi stabil setelah terjadi gangguan.

Oleh karena itu, dengan adanya pembangunan sistem kelistrikan dibutuhkan peninjauan ulang sistem untuk menentukan kestabilan. Hasil yang di dapatkan pada simulasi di peroleh sistem dapat kembali stabil setelah mengalami gangguan transien. Sehingga dari hasil analisa tersebut diperoleh performa sistem kelistrikan Kalimantan dengan kestabilan yang handal. Analisa ini berbasis RUPTL pengembangan tahun 2017-2026.

II. DESAIN SISTEM KELISTRIKAN KALIMANTAN

A. Sistem Kelistrikan Kalimantan

Pada bab ini akan dibahas mengenai sistem Kelistrikan Kalimantan. Pada desain sistem kelistrikan Kalimantan dibagi menjadi 3 area besar antara lain area Kalimantan Barat, area Kalimantan Selatan-Tengah dan area Kalimantan Timur-Utara. Area tersebut dipresentasikan pada gambar 2.1 berikut ini.



Gambar 2.1 Single Line Diagram Backbone 275 kV

Dari gambar diagram satu garis (*single line diagram, SLD*) diatas merupakan representasi sistem *backbone* 275 kV. Setiap area dihubungkan oleh saluran transmisi dengan tegangan 275 kV. Untuk menghubungkan ketiga area tersebut maka ada beberapa kota yang telah menjadi acuan. Kota tersebut meliputi Sei Raya, Ketapang, Sampit, Palangkaraya, Banjarmasin, Balikpapan, Samarinda, Bontang dan Tanjung Redep. Setiap kota tersebut memiliki transformator guna untuk menaikkan tegangan dari 150 kV ke 275 kV yang kemudian terinterkoneksi satu sama lain setiap area.

B. Data Sistem Kelistrikan Kalimantan

Data yang dimaksud meliputi data saluran seperti jarak serta impedansi, data pembangkitan yang dioperasikan dan data beban tiap per dua tahun dari tahun 2022 hingga 2026, hal ini berdasarkan perusahaan listrik negara pengembangan tahun 2017-2026. Pembangkit yang digunakan untuk level tegangan 275kV akan mulai dioperasikan pada tahun 2022, sehingga melakukan simulasi dan *study case* dimulai pada tahun 2022. Metodologi digunakan untuk mempermudah simulasi serta menganalisis data yang telah diperoleh, serta mempermudah memahami Tugas Akhir ini.

Berikut dipaparkan data pembangkitan pada Tabel 2.1 dan data pembebanan pada Tabel 2.2 sistem kelistrikan Kalimantan tahun 2023-2050.

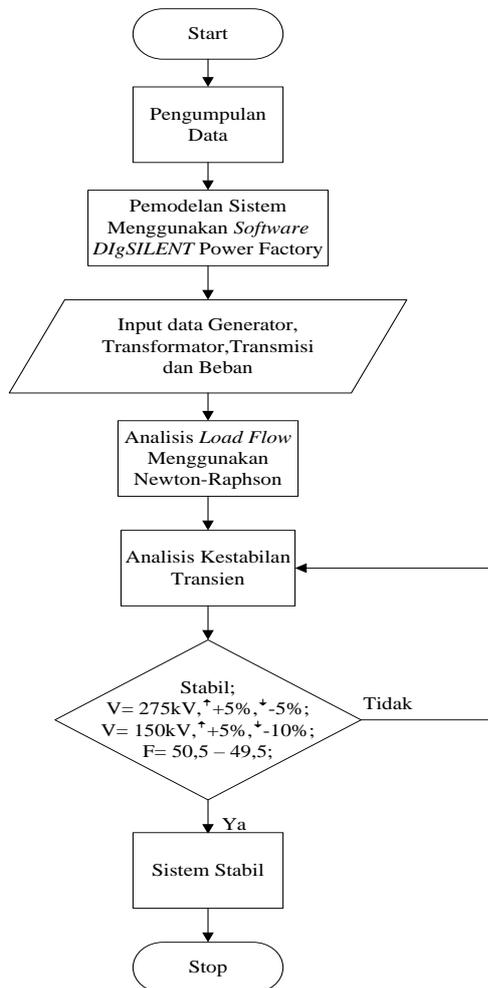
Tabel 2.1 Data Kapasitas Pembangkitan 2022-2026

Tahun	Total Kapasitas Pembangkitan (MW)
2022	2606
2024	3092
2026	3547

Tabel 2.2 Data Kapasitas Pembebanan 2022-2026

Tahun	Total Kapasitas Pembebanan (MW)
2022	2549.3
2024	2972.84
2026	3480.49

2.1 Metodologi Simulasi



Gambar 2.2 Metodologi Simulasi

III. HASIL DAN ANALISIS KESTABILAN TRANSIEN

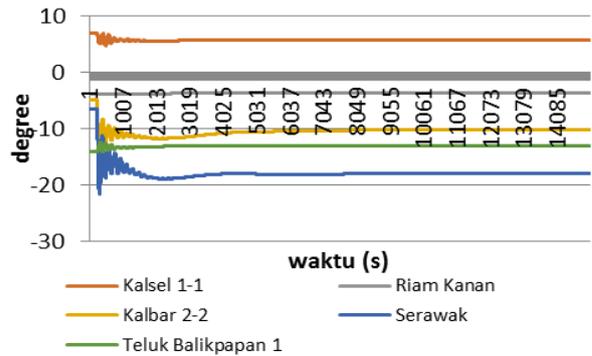
Pada simulasi ini akan dilakukan analisis kestabilan transien dengan permasalahan terkait, yaitu pelepasan generator dan sirkit pendek. Adapun beberapa parameter-parameter yang harus diperhatikan dalam analisis kestabilan transien ini meliputi respon sudut rotor, tegangan dan frekuensi pada sistem sebelum gangguan, pada saat gangguan serta setelah sistem mengalami gangguan.

Terdapat beberapa parameter yang diamati dalam analisis kestabilan transien antara lain:

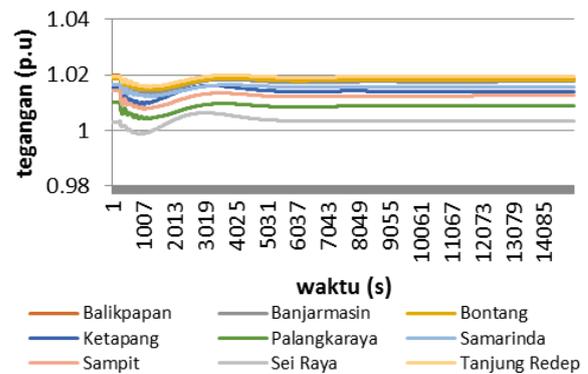
- Sudut rotor generator saat dan setelah terjadi gangguan.
- Frekuensi bus saat dan setelah terjadi gangguan.

c. Tegangan bus saat dan setelah terjadi gangguan.

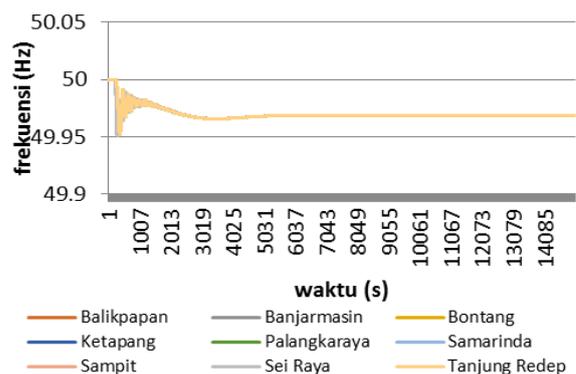
✓ Kasus Generator Outage pada Generator Kalbar 1-1 & 1-2 Tahun 2024 (t=2 s)



Gambar 3.1 Respon sudut rotor



Gambar 3.2 Respon tegangan

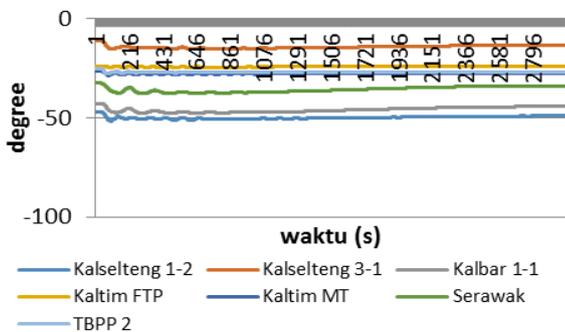


Gambar 3.3 Respon Frekuensi

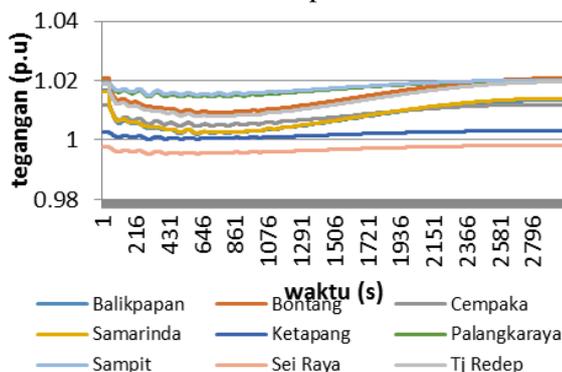
Gambar 3.1, 3.2 dan 3.3 menunjukkan hasil respon dari sistem ketika disimulasikan gangguan berupa generator *outage* pada 2 pembangkitan yang memiliki kapasitas 100 MW. Respon sudut rotor yang dihasilkan akan mengalami penurunan pada generator yang terdekat dengan yang terjadi gangguan. Generator Serawak dan Kalbar 2-2 mengalami penurunan dikarenakan satu area dengan generator yang lepas tersebut. Generator Serawak mengalami penurunan hingga -21.54

degree dan kembali *steady state* pada -17.85 degree. Untuk generator Teluk Balikpapan dan Kalsel 1-1 beresilasi dan kembali *steady state*. Dalam kasus ini ada beberapa faktor yang mempengaruhinya, seperti pembebanan pada generator, damping maupun inersia. Respon sudut rotor diatas dapat dikatakan stabil karena dapat kembali ke sistem. Respon tegangan mengalami penurunan karena adanya penurunan nilai daya reaktif dan dapat kembali *steady state* dikarenakan masih memiliki cadangan daya reaktif lebih besar. Penurunan tegangan masih dalam batas standar. Pada respon frekuensi mengalami penurunan dikarenakan berkurangnya daya yang disuplai secara mendadak. Untuk kasus ini bus mengalami penurunan terjadi pada seluruh bus *backbone* yaitu turun sebesar 49.952 Hz. Namun, seluruh bus tersebut mengalami *steady state* pada frekuensi sebesar 49.968 Hz. Penurunan tersebut masih dalam batas aman menurut standar SEMI F47.

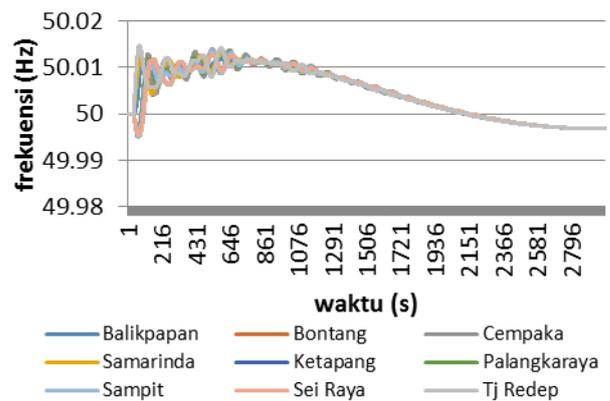
✓ **Kasus Gangguan Short Circuit pada Saluran Backbone Balikpapan-Samarinda 275 kV tahun 2022 (t=2s)**



Gambar 3.4 Respon sudut rotor



Gambar 3.5 Respon Tegangan



Gambar 3.6 Respon Frekuensi

Gambar 3.4, 3.5 dan 3.6 menunjukkan respon sistem mengalami perubahan akibat gangguan *short circuit* dimana respon sudut rotor mengalami penurunan dan beresilasi sebelum kembali *steady state*. Pada generator area Kalbardan Kalselteng mengalami perubahan dan dapat kembali stabil. Untuk generator yang berada pada Kalimantan Timur-Utara seperti Kaltim FTP, Kaltim MT dan Teluk Balikpapan cenderung beresilasi kecil dan cepat mencapai *steady state*. Respon tegangan yang mengalami penurunan terendah terjadi pada bus Balikpapan dan Samarinda itu sendiri yaitu sebesar 1.002 p.u. Namun dalam hal ini dapat kembali *steady state* ke tegangan sebesar 1.0139 p.u. Pada bus-bus lain juga mengalami penurunan dan beresilasi kecil, kemudian kembali *steady state*. Pada gambar 3.6 menunjukkan perubahan respon frekuensi tidak terlalu signifikan mengalami penurunan. Penurunan frekuensi ini terjadi akibat sistem mengalami kehilangan daya, tetapi masih dalam batas range yang diizinkan. Penurunan daya sesaat ini merupakan respon adanya *short circuit*.

IV. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan simulasi pada bab IV, maka dalam Tugas Akhir ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Pada studi kasus generator *outage* oleh dua generator pada Kalbar 1-1 dan 1-2, maka sudut rotor mengalami perubahan. Perubahan terbesar terjadi pada generator Kalbar 2-2 dan Serawak. Perubahan pada respon tegangan masih dalam batas aman sesuai standar. Untuk frekuensi cenderung stabil, terjadi osilasi antara 49 Hz-50 Hz.

2. Studi kasus *short circuit* pada saluran *backbone* dobel sirkit, tidak banyak mengalami perubahan respon pada sistem, hanya mengalami osilasi relatif kecil. Generator cenderung merasakan gangguan dalam jangka waktu relatif singkat dan kecil pengaruhnya. *Drop voltage* masih dalam batas aman sesuai standar.
3. Hasil yang ditunjukkan oleh respon sistem setelah diberikan gangguan berupa transien, sistem masih dapat mempertahankan kondisi seimbang, artinya desain sistem tersebut dapat dikatakan memiliki performa yang dinamis.

4.2 Saran

Adapun saran untuk Tugas Akhir ini yaitu untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat pada sistem kelistrikan Kalimantan ini diperlukan data yang akurat dan real dari keseluruhan sistem kelistrikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mandelli, S., Barbieri, J., Mereu, R., Colombo, E., “*Off-grid System for Rural Electrification in Developing Countries Definitions, Classification and A Comprehensive Literature Review*” *Journal Renewable and Sustainable Energy Reviews* 58, 2016.
- [2] E. Payne, J., “*A survey of the Electricity Consumption-Growth Literature*” *Journal Applied Energy* 87, 2010.
- [3] Weiss, J., Hledik, R., Hagerty, M., Gorman, W., “*Emerging Opportunities Utility Growth*” *Journal Electrification*, 2017.
- [4] Huang, Z., Ni, Y., Shen, C.M., F. Wu, Felix., Chen, S., Zhang, B., “*Application of Unified Poer Flow Controller in Interconnected Power System-Modeling, Interface, Control Strategy, and Case Study*” *IEEE Transaction on Power System*, vol. 15, no. 2, May 2000.
- [5] Gan, D., J. Robert, T., D. Zimmerman, R., “*Stability-Constrained Optimal Power Flow*” *IEEE Transaction on Power System*, vol. 15, no. 2, May 2000.
- [6] Sarailoo, M., “*Transient Stability Assesment of Large Lossy Power System*” *IET Journals* , vol 10, 2018.
- [7] Sorrentino, E., Villafuerte, P., “*Effect of The Control of Generators and Turbines on the Transient Stability of a Power System*” *IEEE Latin America Transaction*, vol. 14, no. 3, march 2016.
- [8] IEEE Recommended Prantices for Industrial and Commercial Power System Analysis, *IEEE Std 399*, 1980.
- [9] IEEE/CIGRE Joint Task Force on Stability Terms and Definitions, “*Definition and Classification of Power System Stability*” *IEEE Transactions on Power system* , vol. 19, no. 2, may 2004.
- [10] Zhang, Yun., “*A Transient Stability Assessment Framework in Power Electronic-Interfaced Distribution System*” *IEEE Transaction on Power System*, vol 31, no 16, November 2016.
- [11] IEEE Power Engineering Society, “*Guide for Synchronous Generator Modeling Practices and Applications in Power System Stability Analysis*”, *IEEE Std 1110*, 2002.
- [12] T.R. Ayodele., A.A. Jimoh., J.L. Munda and J.T. Agee., “*The Impact of Wind Power on Power System Transient Stability Based on Probabilistic Weighting Method*” *Journal of Renewable and Sustainable Energy* 4, 063141, 2012.
- [13] Zadkhast, S., Jatskevich, J., Vaahedi, E., “*A-Multi Decomposition Approach for Accelerated Time Domain Simulation of Transient Stability Problems*”, *IEEE Transaction on Power System*, vol. 30, no. 5, 2015.
- [14] Kundur, P., “*Power System Stability and Control*”, McGraw-Hill, Inc, 1994.