

Rekayasa Penanggulangan Fluktuasi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Angin Dengan Vehicle to Grid (V2G)

Parlin Siagian, Fahreza

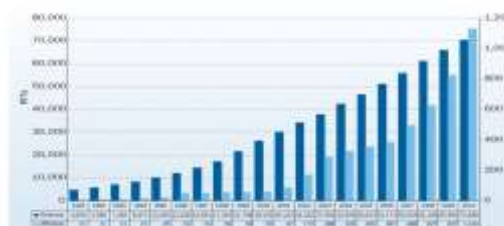
Fakultas Sains dan Teknologi, Teknik Elektro, Universitas Pembangunan Panca Budi, Medan, Indonesia
email: parlinsiagian@dosen.pancabudi.ac.id, fahreza@dosen.pancabudi.ac.id

Abstrak—Dalam upaya menjadikan pembangkit listrik tenaga angin sebagai sumber energi baru terbarukan yang dapat diandalkan haruslah memenuhi syarat sumber tenaga listrik yang aman, kontinyu dan stabil. Suatu pembangkit listrik tenaga angin memanfaatkan sumber energi yang berasal dari energi kinetik udara di atas permukaan bumi. Faktor utama besar dan kecilnya energi angin yang diperoleh turbin akan sangat tergantung dari faktor penyebab angin itu sendiri yaitu keadaan iklim di atas permukaan bumi. Pada tulisan ini penyelidikan potensi teknis untuk mengkompensasi fluktuasi daya yang ditimbulkan oleh pembangkit listrik tenaga angin yang telah dirancang sebelumnya. Beberapa rekayasa teknologi penting bisa dimanfaatkan telah dieksplorasi untuk digunakan sebagai cadangan energi: pembangkit panas air laut dan dan sistem Vehicle to Grid (V2G) yang akan diimplementasikan pada pembangkit listrik tenaga angin. Sistem V2G dapat membuat cadangan pembangkit listrik tenaga angin jika terjadi kondisi angin ekstrem hingga pemadaman 24 jam tetapi membutuhkan hampir 50% dari armada untuk menjadi mobil listrik. Respons cepat dari sistem V2G dapat dimanfaatkan untuk menanggulangi fluktuasi daya yang diminta beban.

Kata Kunci: Turbin Angin, Fluktuasi Tegangan, V2G, Generator, Baterai

1. PENDAHULUAN

Pembangkit listrik tenaga angin sebagai salah satu potensi penghasil energi listrik yang cukup besar di Indonesia. Tenaga angin yang cukup besar di Indonesia disebabkan karena iklim dan bentangan alam yang luas serta memiliki bibir pantai dan jalur pegunungan yang banyak. Usaha untuk menjadikan energi angin sebagai energi baru terbarukan adalah untuk bisa menutupi defisit energi listrik di Indonesia. Hal ini disebabkan karena banyak kelebihan yang dimiliki oleh pembangkit tenaga angin sebagai *green energy*, seperti ramah lingkungan, bebas polusi dan merupakan penghasil energi listrik yang dapat diperbaharui. Seiring dengan perkembangan semikonduktor dan elektronika daya maka pembangkit listrik tenaga angin juga semakin banyak digunakan dalam sistem tenaga. Pasar energi Eropa saat ini mengalami periode transformasi paling menarik yang pernah ada. Harga bahan bakar fosil sangat mahal, industri nuklir masih menyisakan masalah keamanan sehingga belum mendapatkan kepercayaan dan mengundang banyak pertanyaan dan pangsa energi terbarukan terus meningkat. Tenaga angin sekarang menjadi pembawa standar energi terbarukan, saat ini memasok 5,3% dari listrik di Eropa, dan kemungkinan akan mencapai lebih dari 15% dari listrik yang diproduksi pada tahun 2020 (2). Gambar 1 di bawah ini menggambarkan dinamika pasar tenaga angin selama beberapa dekade terakhir dan menekankan ekspansi cepat industri lepas pantai. [1]



Gambar 1. Jumlah Kumulatif Turbin Angin yang Dipasang di Uni Eropa

Energi angin merupakan salah satu potensi energi terbarukan yang dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap kebutuhan energi listrik domestik, khususnya wilayah terpencil. Pembangkit energi angin yang biasa disebut Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) ini bebas polusi dan sumber energinya yaitu angin tersedia di mana pun, maka pembangkit ini dapat menjawab masalah lingkungan hidup dan ketersediaan sumber energi.

Dari data Blueprint Energi Nasional, Departemen ESDM RI dapat dilihat bahwa potensi PLTB di Indonesia sangat menarik untuk dikembangkan karena dari potensi sebesar 9,29 GW, baru sekitar 0,5 GW yang dikembangkan, yang berarti baru sekitar 5,38%. Secara implisit, hal ini menyiratkan bahwa jumlah penelitian dan jumlah peneliti yang tertarik mengembangkan teknologi ini masih sangat sedikit. Prospek pengembangan teknologi ini masih sangat tinggi. Beberapa wilayah di Indonesia disinyalir dapat berkontribusi besar terhadap penggunaan pembangkit listrik tenaga bayu/angin (PLTB) diantaranya wilayah NTT, Maluku, dan beberapa wilayah Indonesia bagian timur. [2]

Pembangkit listrik tenaga angin sangat sesuai untuk negara kepulauan seperti di Indonesia. Pembangkit listrik tenaga angin mampu dibangun di daerah-daerah yang tidak terjangkau listrik karena jauh dari pusat pembangkit, sehingga rasio elektrifikasi mampu meningkat. [3]

Namun dari survey dan studi literatur dari Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), pengembangan teknologi PLTB di Indonesia menghadapi beberapa masalah penting yang harus dipecahkan karena menghambat pengembangan dan mengurangi minat masyarakat untuk memakai energi angin ini, yaitu:

1. Rendahnya distribusi kecepatan angin di Indonesia. Daerah di Indonesia rata-rata hanya memiliki kecepatan angin pada kisaran 2,5 – 6 m/s.
2. Besarnya fluktuasi kecepatan angin di Indonesia. Yang berarti profil kecepatan angin selalu berubah secara drastis dengan interval yang cepat.



Gambar 2. Peta Potensi Angin di Indonesia[4]

Fluktuasi kecepatan angin yang terjadi di ladang angin akan mempengaruhi produksi daya angin. Keadaan tersebut akan menimbulkan kesulitan bagi pengguna turbin angin di lapangan terutama untuk berkompetisi pada pasar listrik. Secara teori perhitungan daya angin dapat dijelaskan bahwa keluaran daya turbin angin bervariasi terhadap kecepatan angin yang dipangkatkan tiga dan kerapatan udara. Oleh sebab itu peramalan yang terkait dengan produksi daya turbin angin difokuskan pada kecepatan dan arah angin. [5]

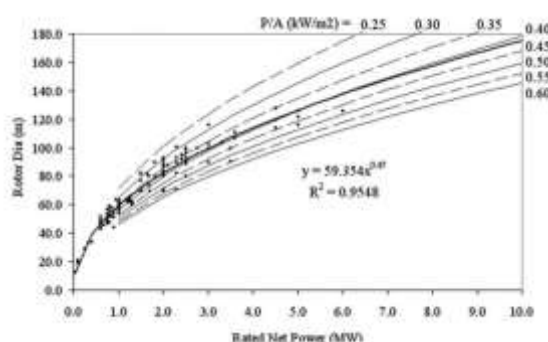
2. LANDASAN TEORI

2.1 Turbin Angin

Turbin angin adalah sistem konversi energi untuk menghasilkan energi listrik dengan proses pengubahan energi angin menjadi putaran mekanis rotor. Dan selanjutnya menjadi energi listrik melalui sebuah generator. Sistem konversi energi angin ini merupakan suatu sistem/peralatan yang berfungsi untuk mengubah energi angin menjadi energi listrik, mekanis, atau bentuk energi lainnya[6]. Turbin angin mengambil energi angin dengan menurunkan kecepatannya. Untuk bisa mencapai 100% efisien, maka sebuah turbin angin harus menahan 100% kecepatan angin yang ada, dan rotor harus terbuat dari piringan solid dan tidak berputar sama sekali, yang artinya tidak ada energi kinetik yang akan dikonversi.[7]

2.2 Karakteristik Turbin Angin

Karakteristik dari turbin angin dapat dilihat dari kurva hubungan antara kecepatan rotor (ω_r) dengan daya yang dihasilkan (ω_r -P) dan kurva hubungan kecepatan angin dengan daya.[7]



Gambar 3. Karakteristik pengaruh besar turbin dengan daya keluaran turbin[7]

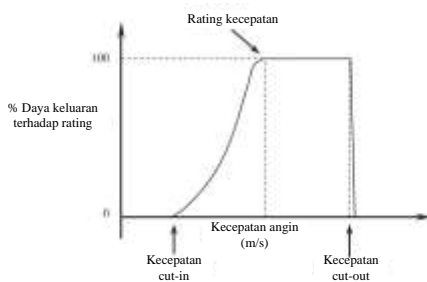
Dari kurva tersebut dapat kita simpulkan bahwa diameter turbin atau besarnya ukuran turbin akan mempunyai kemampuan yang lebih besar dalam menghasilkan daya keluaran maksimum.

2.2.1 Kurva Daya Turbin Angin

Daya output efektif dari turbin angin sampai kepada jaringan listrik adalah:

$$P_{eff} = C_p \eta_{gear} \eta_{gen} \eta_{lis} P_w = \eta_t P_w = \frac{1}{2} (\eta_t \rho A \bar{u}^3) \dots \dots \dots (1)$$

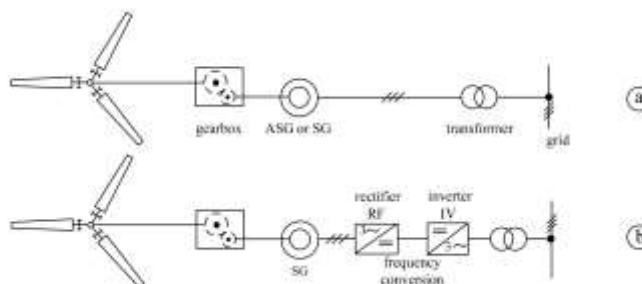
Seperti dapat dilihat dari persamaan (1) (keluaran daya listrik efektif dari turbin angin P_{eff} berbanding lurus dengan tenaga angin P_w yang tersedia dan total efisiensi turbin angin η_t . Kurva daya turbin angin menampilkan keluaran daya (baik output daya listrik nyata atau persentase rating daya) turbin sebagai fungsi dari kecepatan angin rata-rata. Kurva daya biasanya ditentukan dari pengukuran di lapangan.



Gambar 4. Kurva Daya Turbin Angin

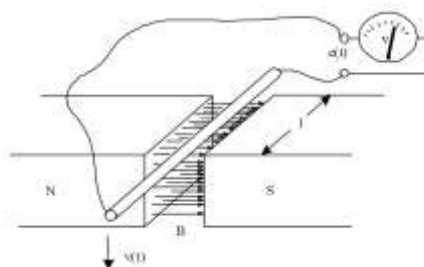
Seperti ditunjukkan pada Gambar. 4, turbin angin mulai menghasilkan daya yang dapat digunakan pada kecepatan angin rendah, didefinisikan sebagai kecepatan *cut-in*. Daya output meningkat secara terus menerus dengan peningkatan kecepatan angin hingga mencapai titik jenuh, di mana daya output mencapai nilai maksimumnya, didefinisikan sebagai daya output terukur. Kecepatan pada titik ini didefinisikan sebagai kecepatan rating/pengenal. Pada kecepatan pengenal, peningkatan kecepatan angin tidak akan meningkatkan output daya karena aktivasi kontrol daya. Ketika kecepatan angin menjadi terlalu besar untuk berpotensi merusak turbin angin, turbin angin harus segera ditutup untuk menghindari kerusakan turbin angin. Kecepatan angin ini didefinisikan sebagai kecepatan *cut-out*. Dengan demikian, kecepatan *cut-in* dan *cut-out* telah menentukan batas pengoperasian turbin angin.[7][8]

2.3 Energi Listrik dari Turbin Angin



Gambar 5. Koneksi grid turbin angin: a) Koneksi grid langsung dari asynchronous (ASG) atau generator sinkron (SG); b) generator sinkron memasukkan ke dalam jaringan melalui konverter frekuensi dengan perantara sirkuit DC[9] Ketika konduktor bergerak melalui garis fluks medan magnet, tegangan sumber $e(t)$ akan diinduksi di dalamnya, Gbr. 7. Hukum Faraday memberi tahu kita bahwa kita akan memilikinya

$$e(t) = Blv(t) \dots\dots\dots(4)$$



Gambar 7. Prinsip putaran turbin untuk menghasilkan tegangan listrik

Generator yang digunakan untuk pembangkit listrik yang terhubung ke turbin angin biasanya adalah generator induksi. Mesin induksi (mesin asinkron) umumnya digunakan sebagai generator untuk turbin angin berukuran sedang hingga 1000 kW. Ini memiliki dua keunggulan dibandingkan mesin sinkron. Karena desainnya yang sederhana, harga beli cukup rendah. Selain itu, sinkronisasi dengan grid/jaringan lebih mudah yakni terhubung ke grid dalam mode motor dan berakselerasi. Torsi penggerak rotor turbin angin kemudian mendorongnya ke mode generator “secara otomatis”. Kerugiannya adalah konsumsi daya reaktifnya. Dalam hal ini, mesin sinkron lebih mudah untuk dimanipulasi.[9]

2.4 Integrasi Energi Angin Dengan Energi Lain

Salah satu karakteristik penting dalam pembangkit listrik tenaga angin adalah ketidakpastiannya karena perubahan mendadak dalam kecepatan dan arah angin, terutama untuk sistem pembangkit listrik tenaga angin off-grid. Oleh karena itu, output daya dari turbin angin berfluktuasi dari waktu ke waktu.

2.4.1 Hibrid Angin dan Diesel

Tenaga angin dapat dikombinasikan dengan daya yang dihasilkan oleh sistem generator mesin diesel untuk menyediakan pasokan listrik yang stabil. Menanggapi variasi dalam pembangkit tenaga angin dan konsumsi listrik, generator diesel dapat beroperasi sebentar-sebentar untuk mengurangi konsumsi bahan bakar. Dilaporkan bahwa sistem mandiri angin-diesel yang layak dapat beroperasi dengan perkiraan penghematan bahan bakar 50–80% dibandingkan dengan pasokan daya dari pembangkit diesel saja [10]. Sistem tenaga hibrida angin-diesel telah dipasang di seluruh dunia[7]. Menurut proporsi penggunaan angin dalam sistem, tiga jenis sistem angin-diesel yang berbeda dapat dibedakan: sistem angin-diesel penetrasi rendah, sedang, dan tinggi. Saat ini, sistem penetrasi rendah digunakan pada tingkat komersial, sedangkan solusi untuk sistem angin-diesel penetrasi tinggi berada pada tingkat demonstrasi. Tren teknologi termasuk pengembangan strategi kontrol yang kuat dan terbukti [11]

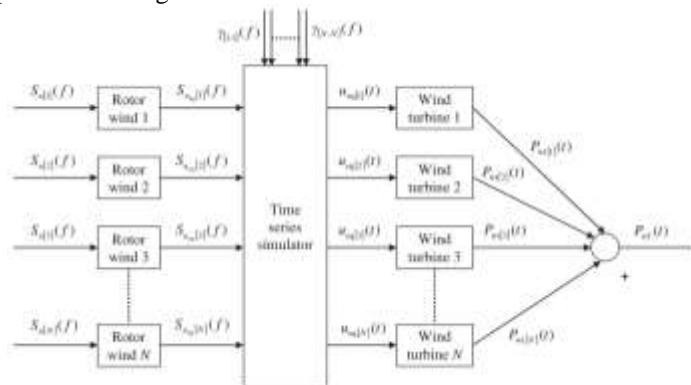
2.5 Fluktuasi Daya pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Di sebuah ladang angin, sejumlah besar turbin angin menyalurkan daya ke dalam jaringan listrik pada titik sambungan biasa. Fluktuasi daya pada setiap turbin angin dipengaruhi oleh jenis turbin, algoritma kontrol, fluktuasi kecepatan angin, dan efek bayangan menara terhadap turbin lainnya. Pengukuran daya dari turbin angin tunggal biasanya menunjukkan fluktuasi besar daya keluaran. Seiring kemajuan teknologi energi angin, turbin angin semakin besar. Pabrik turbin angin saat ini memproduksi turbin angin multimegawatt. Ketika turbin angin bertambah besar, lebih sedikit turbin yang dibutuhkan untuk menghasilkan daya yang sama. Dengan demikian, fluktuasi daya turbin angin individu akan memiliki dampak yang lebih besar pada jaringan listrik. Dampaknya akan semakin besar pada jaringan yang lemah. Perusahaan-perusahaan utilitas prihatin dengan dampak daya yang dihasilkan oleh sebuah ladang angin. Utilitas perlu memastikan bahwa variasi tegangan, harmonisa arus, dan flicker tegangan tetap dalam batas yang dapat diterima. Efek fluktuasi daya dikuantifikasi dengan mengukur flicker dan variasi tegangan untuk berbagai studi kasus.[12]

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan studi literatur untuk menanggulangi fluktuasi tegangan pada pembangkit listrik tenaga angin. Berbagai strategi untuk mendapatkan daya keluaran yang konstan dari keadaan input energi angin yang tidak merata. Untuk itu akan diulas metode yang tepat dari berbagai metode yang ada. Penelitian di sini disajikan dalam urutan kronologis karena merupakan cara sederhana bagi pembaca untuk mengikuti garis penalaran alami yang diperlukan dalam permasalahan penelitian ini.

Penggunaan sistem V2G untuk meredam fluktuasi daya diamati sebagai usaha modifikasi pada system pembangkit listrik tenaga angin. Kapasitas yang tersedia kemudian dipelajari untuk menentukan apakah seluruh hasil ladang angin dapat dikompensasi oleh sumber lain yaitu tenaga diesel saja dan laju ramp akhirnya diselidiki untuk menilai kemampuan instalasi untuk bereaksi setelah pemadaman angin tiba-tiba.



Gambar 6. Struktur model fluktuasi energi angin

Simulasi terhadap penggunaan V2G yang terhubung ke grid dibuat menggunakan Simulink.

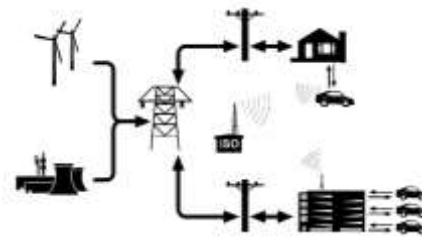
4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Konsep dasar Vehicle to Grid (V2G)

Konsep dasar daya kendaraan-ke-jaringan atau V2G adalah bahwa EDV atau kendaraan pembawa listrik memberikan daya ke jaringan saat diparkir. EDV dapat berupa kendaraan baterai-listrik, kendaraan sel bahan bakar, atau hibrida plug-in. Baterai EDV dapat mengisi daya selama beban jaringan rendah dalam hal ini ketika sumber daya angin dari ladang angin terlalu tinggi (sesuai dengan kurva daya turbin angin). Pada saat yang lain ketika beban jaringan naik melebihi kemampuan turbin angin (sesuai dengan kurva daya turbin angin) maka EDV akan mengeluarkan daya ke jaringan. EDV sel bahan bakar menghasilkan tenaga dari bahan bakar cair atau gas. Plug-in hybrid EDVs dapat berfungsi di kedua mode.[13]

Setiap kendaraan harus memiliki tiga elemen yang diperlukan: (1) koneksi ke jaringan untuk aliran energi listrik, (2) kontrol atau koneksi logis yang diperlukan untuk komunikasi dengan operator jaringan, dan (3) mengontrol dan mengukur di atas kendaraan. Elemen-elemen ini agak berbeda dengan model bisnis dan dijelaskan secara lebih rinci dalam artikel pendamping [13]. Gambar. 1 menggambarkan secara skematis koneksi antara kendaraan dan jaringan listrik. Listrik

mengalir satu arah dari generator melalui jaringan ke pengguna listrik. Listrik mengalir kembali ke grid dari EDVs, atau dengan EDV baterai, alirannya adalah dua cara (ditunjukkan pada **Gambar. 7** sebagai garis dengan dua panah). Sinyal kontrol dari operator grid (berlabel ISO, untuk Independent System Operator) dapat berupa sinyal radio siaran, atau melalui jaringan telepon seluler, koneksi Internet langsung, atau pembawa saluran listrik.

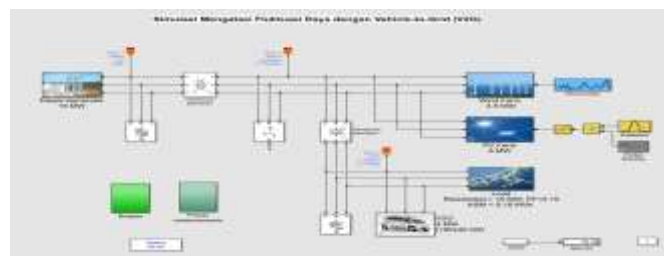


Gambar 7. Ilustrasi skema jalur listrik yang diusulkan dan koneksi kontrol nirkabel antara kendaraan dan jaringan listrik[14]

4.2 Aliran Daya V2G

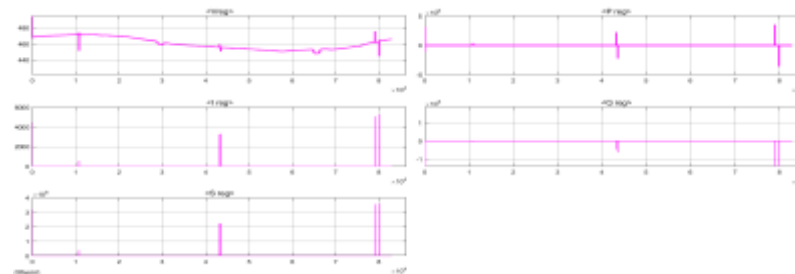
Aliran daya V2G dicapai oleh agregator lokal melalui komunikasi antara grid dan konsumen/prosumers. Pertukaran kekuatan informasi lengkap dikirim langsung dari smart meter ke pusat data. Daya mengalir dari G2V untuk mengisi daya baterai dan aliran daya secara berlawanan untuk menghasilkan pencukuran puncak atau konsep "Spinning reserve". Aliran daya dapat dalam salah satu dari dua mode operasi yaitu: (a) Searah, dan (b) dua arah 1) Searah V2G Searah V2G mengontrol waktu pengisian baterai EVs dalam satu arah aliran daya antara daya dan EV. Implementasi V2G searah tidak mahal, mudah dikendalikan menggunakan perintah sederhana untuk mengelola arus beban. Mode V2G searah memberikan layanan sekunder ke jaringan seperti regulasi jaringan listrik dan kapasitas cadangan permintaan.[15][16]

4.3 Skema simulasi V2G dengan Simulink[17]



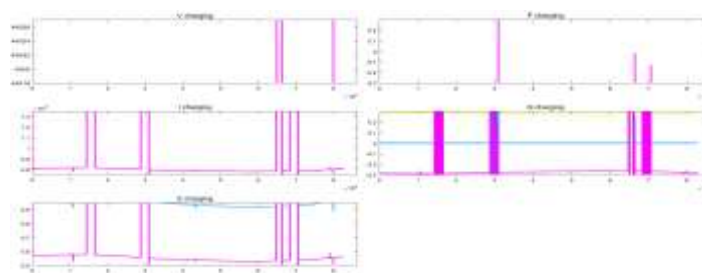
Gambar 8. Skema simulasi sistem pembangkit tenaga angin dengan V2G sebagai penstabil tegangan grid[18][19]

Hasil simulasi peran V2G dapat menstabilkan tegangan grid ditunjukkan oleh grafik sebagai berikut:



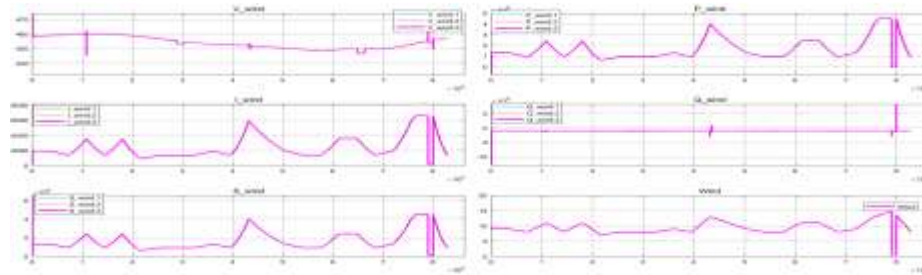
Gambar 9. Grafik suplai daya oleh V2G

Dari gambar di atas terlihat bahwa regulasi tegangan yang dilakukan oleh V2G terhadap sistem terjadi setiap saat dimana diperlukan.



Gambar 10. Grafik proses charging V2G

Dari gambar di atas baterai V2G terus melakukan charging atau pengisian jika kapasitas terisinya berkurang, hal ini untuk mengantisipasi bila terjadi penurunan tegangan pada grid dalam waktu tertentu, maka V2G dapat menstabilkan tegangan grid secepatnya dan selama yang diinginkan.



Gambar 11. Grafik Output pembangkit angin

Dari grafik di atas terlihat pembangkit angin mempunyai grafik yang berfluktuasi terutama daya yang dihasilkannya (P dan S) hal ini sesuai dengan grafik energi angin yang diterima oleh turbin.

5 KESIMPULAN

1. Peran V2G (*Vehicle to Grid*) adalah untuk mengatasi fluktuasi tegangan yang diakibatkan switching beban ataupun fluktuasi tegangan yang dihasilkan oleh system pembangkit tenaga angin.
2. Proses penstabilan fluktuasi tegangan dengan V2G dapat menjaga tegangan pada beban tetap stabil pada nilai nominalnya.

REFERENCES

- [1] S. Thesis and S. E. Systems, "Design of an offshore wind farm and power fluctuations handling via thermal power plants and energy storage A case study of Vindplats Göteborg," 2012.
- [2] "https://konversi.wordpress.com/2008/11/06/permasalahan-yang-sering-terjadi-pada-sistem-wind-turbine-di-indonesia/." .
- [3] H. C. Prasetyo, "OPTIMALISASI DAYA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN MENGGUNAKAN MAXIMUM POWER POINT TRACKER (MPPT) DENGAN METODE PERTURB AND OBSERVE (P & O) Abstrak."
- [4] "https://www.validnews.id/Infografis-Potensi-Energi-Tenaga-Angin-Indonesia-BT." .
- [5] D. W. I. Lastomo *et al.*, "Simulasi Pengendali Sudut Pitch Blade pada Turbin Angin dengan Flower Pollination Algorithm (FPA) untuk Mengoptimalkan Konversi Daya Listrik Simulation of Pitch Angle Blade Controller Wind Turbine Using Flower Pollination Aalgorithm (FPA) for Optimizi," 2016.
- [6] A. T.M.S., "Maximum Power Point Tracking (MPPT) Pada Variable Speed Wind Turbine (VSWT) Dengan Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) menggunakan Switch Mode Rectifier (SMR).," *FTI Inst. Teknol. Sepuluh November. Surabaya.*, 2011.
- [7] W. P. Generation and W. T. Design, *Wind Power Generation and Wind Turbine Design.* .
- [8] D. A. Ernadi, M. Pujiantara, M. H. Purnomo, J. T. Elektro, and F. T. Industri, "Desain Maximum Power Point Tracking untuk Turbin Angin Menggunakan Modified Perturb & Observe (P&O) Berdasarkan Prediksi Kecepatan Angin," vol. 3539, no. 2, 2016.
- [9] W. P. Plants, *Wind Power Plants, Fundamentals, Design, Construction and Operation Second Edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2012, Robert Gasch Jochen Twele.* .
- [10] "Danvest Energy. Wind-diesel instructions, <http://www.danvest.com/filesfordownload/wind-diesel.pdf>."
- [11] "European Wind Energy Association. Wind energy – the facts, part I: Technology," 2009.
- [12] V. Muljadi, E. Butterfield, C P, & Gevorgian, "The impact of the output power fluctuation of a wind farm on a power grid.," *Int. Work. Transm. Networks Offshore Wind Farms, Stock. (Sweden), 11-12 Apr 2002, Sweden.*
- [13] W. Kempton and J. Tomi, "Vehicle-to-grid power fundamentals : Calculating capacity and net revenue," 2005.
- [14] et al. Hoang N. T. Nguyen, "Optimal Coordination of G2V and V2G to Support Power Grids With High Penetration of Renewable Energy," *IEEE Trans. Transp. Electrif.*, vol. 1, no. 2.
- [15] I. Sami *et al.*, "A Bidirectional Interactive Electric Vehicles Operation Modes : Vehicle-to-Grid (V2G) and Grid- to-Vehicle (G2V) Variations within Smart Grid," *2019 Int. Conf. Eng. Emerg. Technol.*, no. May, pp. 1–6, 2019.
- [16] B. de Brey, "Smart Solar Charging: Bi-Directional AC Charging (V2G) in the Netherlands," *J. Energy Power Eng.*, vol. 11, pp. 483–490, 2017.
- [17] MathWorks Inc., "Creating Graphical User Interfaces," *MATLAB User Guid.*, p. 502, 2015.
- [18] C. Mathworks, *MATLAB ® Data Analysis R2019a.* 2005.
- [19] "Matlab R2017b."