

Pemodelan Matematis Pengaturan Frekuensi Beban Sistem Tenaga Hibrid Turbin Angin-Diesel- PV

Zainal Abidin, Ulul Ilmi, Nahdia B Rahardjo

Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Lamongan
 Jl. Veteran No. 53 A Lamongan Jawa Timur Telp. 0322-324706
 email : zainalabidin@unisla.ac.id, ululilmi69@gmail.com, nahdia_br@unisla.ac.id

ABSTRAK

Studi pemodelan ini menganalisis secara matematis sistem hibrid wind-diesel-PV dengan kontrol PI untuk pengaturan frekuensi beban (LFC). Untuk meningkatkan keandalan pasokan listrik, sumber energi terbarukan seperti angin dan energi matahari diintegrasikan dengan sistem pembangkit tenaga listrik diesel untuk memasok daya untuk beban daerah terpencil (*isolated area*). Sistem tenaga hibrid terisolasi dirancang untuk meminimalkan ketidaksesuaian antara pembangkit dan konsumsi beban. Karena pembangkitan tenaga angin yang tidak stabil, sumber PV surya, dan seringnya terjadi perubahan beban, terdapat fluktuasi pembangkit listrik terutama pada frekuensi dan tegangan sistem. Kontrol PI konvensional digunakan untuk mengatur frekuensi beban sistem untuk membuat penyimpangan frekuensi ke kisaran yang diijinkan. Artikel ini menyajikan pemodelan matematis lengkap sistem yang terdiri dari unit generator induksi turbin angin, unit alternator sinkron mesin diesel dan panel surya (PV) dengan MPPT (*Maximum Power Point Tracking*).

Kata Kunci : turbin angin, diesel, PV, pengaturan frekuensi beban, pemodelan

ABSTRACT

Modeling study mathematically analyzes the wind-diesel-PV hybrid system with PI control for load frequency regulation (LFC). To improve the reliability of electricity supply, renewable energy sources such as wind and solar energy are integrated with a diesel power generation system to supply power for isolated areas. Isolated hybrid power system is designed to minimize mismatch between generation and load consumption. Due to unstable wind generation, solar PV sources, and frequent load changes, there are fluctuations in power generation especially in system frequency and voltage. Conventional PI control is used to adjust the system load frequency to make the frequency drift to the allowable range. This article presents a complete mathematical modeling of a system consisting of a wind turbine induction generator unit, a diesel engine synchronous alternator unit and a solar panel (PV) with MPPT (*Maximum Power Point Tracking*).

Keywords: wind turbine, diesel, PV, load frequency control, modelling

I. PENDAHULUAN

Energi terbarukan merupakan potensi untuk kebutuhan energi di masa depan. Dengan menggunakan energi terbarukan sebagai pengganti bahan bakar fosil, dapat secara signifikan menurunkan tingkat emisi gas rumah kaca saat ini.

Energi terbarukan seperti energi matahari dan energi angin adalah sumber energi yang tidak terbatas dibandingkan dengan bahan bakar fosil. Tingginya kebutuhan listrik di masyarakat modern dan selisih yang tinggi antara jumlah energi pembangkitan dan kebutuhan konsumen, maka jika kebutuhan listrik hanya dengan sumber konvensional akan sangat sulit terpenuhi. Oleh karena itu, pemanfaatan sumber energi terbarukan

seperti matahari; angin, biomassa, dan lainnya sangat dibutuhkan dalam memenuhi kebutuhan konsumsi listrik. Terdapat permasalahan pada pemanfaatan energi angin dan matahari karena bersifat intermiten yang tidak hanya mengubah pembangkitan tetapi juga mempengaruhi tegangan dan frekuensi sistem [1]–[3]. Oleh karena itu, pembangkit listrik tenaga surya dan tenaga angin diintegrasikan dengan sistem diesel untuk memasok daya dengan handal, aman dan daya ekonomis untuk beban terisolasi[4].

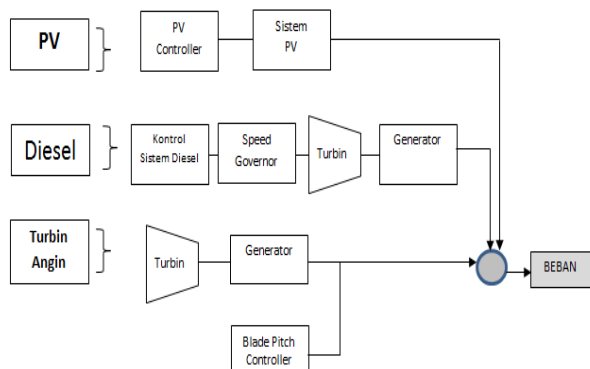
Akibat adanya fluktuasi frekuensi, sistem menjadi tidak stabil dan oleh karenanya diperlukan pengontrol yang efektif untuk mempertahankan frekuensi sistem ke kisaran yang dapat diterima baik

dengan mempertahankan fluktuasi beban atau dengan mengontrol pembangkitan. Ada strategi kontrol yang berbeda untuk mengontrol ketidaksesuaian antara beban dan pembangkitan [4]–[6].

Strategi yang berbeda adalah prioritas kontrol beban beralih (*priority switched load control*), *fly wheel*, dump load control, penyimpanan energi baterai dan penyimpanan energi magnet superkonduktor [7], [8]. Strategi ini mahal dan memiliki batasannya tersendiri. Dalam sistem tenaga hibrid angin-diesel-PV surya yang terisolasi, digunakan skema kontrol frekuensi beban (LFC). Strategi ini digunakan untuk mendapatkan frekuensi yang dapat diterima dan oleh karena itu berguna untuk menjaga kinerja sistem [1], [9].

Pada pemodelan dilakukan studi analitis untuk sistem pembangkit listrik tenaga hibrid turbin angin-diesel-PV dengan pemodelan matematis dalam kondisi transien dengan mempertimbangkan model fungsi transfer sinyal kecil.

Konfigurasi sistem tenaga hibrid turbin angin-diesel-PV ditunjukkan pada gambar 1.

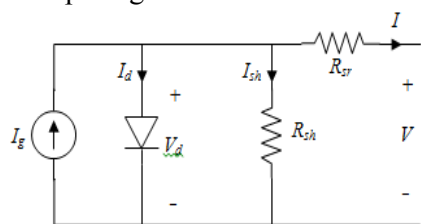


Gambar 1. Sistem Hibrida PV-Diesel–Turbin Angin

II. MODEL MATEMATIK SISTEM

a. Model Matematis sistem Photovoltaic (PV)

Model panel PV terdiri dari sel surya dan setiap panel terbuat dari kombinasi seri-paralel yang berbeda dari sel surya tersebut. Setiap sel surya bertindak sebagai dioda p-n dan arus mengalir dari satu sisi ke sisi lain [6]. Skema rangkaian ekivalen sel surya ditunjukkan pada gambar 2



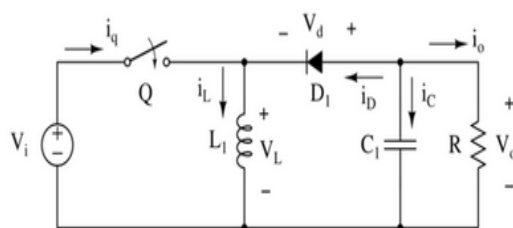
Gambar 2. Rangkaian ekivalen PV

I_{ph} digunakan sebagai referensi arus dan R_s adalah ekivalen total resistansi. Persamaan sebagai berikut [7] :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_{SAT} \left(\frac{q(V_{PV} + I_{PV} R_s)}{(AKT - 1)} \right) \tag{1}$$

$$I_{ph} = \left(\frac{\lambda}{1000} \right) [I_{sc} + K_I(T - 25)] \tag{2}$$

Kontrol MPPT digunakan untuk mengatur tegangan output PV and boost converter untuk mendapatkan pengaturan tegangan ACa. Rangkaian boost converter dapat dilihat pada gambar 3 berikut [7]



Gambar 3. Rangkaian ekivalen Boost Converter

Switch Q pada gambar 3 adalah gabungan dari IGBT dan diode. Saat $Q=0$, Diode ON dan IGBT off dan begitu sebaliknya.

Operasi switch dapat dibagi menjadi dua waktu periode yang berbeda [10]. Periode pertama ketika switch ON, berarti $0 \leq t \leq t_{ON}$, hubungan persamaan adalah sebagai berikut :

$$L \frac{di_L}{dt} = V_{PV} \tag{3}$$

$$C \frac{dv_o}{dt} + \frac{v_o}{R} = 0 \tag{4}$$

Untuk periode yang lain selama switch OFF, hal ini berarti $t_{ON} \leq t \leq TS$

$$L \frac{di_L}{dt} + V_o = V_{PV} \tag{5}$$

$$i_L - C \frac{dv_o}{dt} + \frac{v_o}{R} = 0 \tag{6}$$

T_s merepresentasikan periode waktu penyalaan.

Pertama kali, fungsi transfer model MPPT, filter, inverter and PV panel diturunkan [11] dan karenanya model fungsi transfer panel PV dapat diketahui dari persamaan 1 dan 2.

MPPT dilakukan oleh boost konverter dan harus mempertimbangkan mode operasi ON dan OFF dari boost konverter [12], yang diberikan oleh persamaan 3, 4, 5 dan 6. Dengan menggabungkan semua persamaan ini, maka fungsi transfer model Panel PV dapat dinyatakan dalam persamaan 7

$$G_{BC} = \frac{-18s+900}{s^2+100s+50} \quad (7)$$

2.2 .Model Matematis Diesel

Konversi energi bahan bakar (solar atau bio-diesel) menjadi energi mekanik dan kemudian menjadi energi listrik terjadi karena adanya generator set diesel [2]. Ketidakseimbangan terjadi antara pembangkit listrik yang sebenarnya dan kebutuhan beban (ditambah rugi-rugi) yang menyebabkan rotasi energi kinetik ditambahkan atau diambil dari unit pembangkit (poros generator dipercepat atau diperlambat). Hal ini yang mengakibatkan frekuensi sistem bervariasi[13], dan pengatur menjaga keseimbangan antara input dan output dengan mengubah keluaran turbin dan pengontrol PI menggunakan deviasi frekuensi sistem dari sistem tenaga sebagai masukan umpan balik. Fungsi transfer sistem pengatur kecepatan mekanis pada unit diesel dapat dituliskan dalam bentuk pecahan parsial seperti pada persamaan 8.

$$\frac{Kd(1+sTd1)}{(1+sTd2)(1+sTd3)} = \frac{K1}{(1+sTd2)} + \frac{K2}{(1+sTd3)} \quad (8)$$

dimana

$$K_1 = \frac{kd(1+sTd1)}{(1+sTd3)} = \frac{Kd(Td2-Td1)}{(Td2-Td3)} \text{ at } s = -\frac{1}{Td2}$$

dan

$$K_2 = \frac{Kd(1+sTd1)}{(1+sTd2)} = \frac{Kd(Td3-Td1)}{(Td3-Td2)} \text{ at } s = -\frac{1}{Td3}$$

T_{d1}, T_{d2} and T_{d3} adalah konstanta waktu mekanik kecepatan governor dan Kd adalah bagian suplai daya pembangkita diesel ke beban. Persaman (8) dapat ditulis dalam variabel kanonik ΔXED11 and ΔXED21,

$$\frac{Kd(1+sTd1)}{(1+sTd2)(1+sTd3)} [\Delta Pcd(s) - \frac{1}{Rd} \Delta Fs(s)] = \Delta X_{ED11}(s) + X_{ED21}(s) \quad (9)$$

Dimana Rd adalah adalah regulasi kecepatan akibat tindakan kecepatan governor dan dari persamaan (8) dan persamaan (11), kita mendapatkan persamaan :

$$\Delta X_{ED11}(s) = \frac{K1}{(1+sTd2)} [\Delta Pcd(s) - \frac{1}{Rd} \Delta Fs(s)] \quad (10)$$

$$\Delta X_{ED21}(s) = \frac{K2}{(1+sTd3)} [\Delta Pcd(s) - \frac{1}{Rd} \Delta Fs(s)] \quad (11)$$

Persamaan diferensial kecepatan mekanis governor dapat ditulis pada persaman (12) dan (13).

$$\frac{d}{dt} \Delta X_{ED11} = -\frac{1}{Td2} \Delta X_{ED11} - \frac{Kd(Td2-Td1)}{Rd.Td2(Td2-Td3)} \Delta Fs + \frac{Kd(Td2-Td1)}{Td2(Td2-Td3)} \Delta Pcd \quad (12)$$

$$\frac{d}{dt} \Delta X_{ED21} = -\frac{1}{Td3} \Delta X_{ED21} - \frac{Kd(Td3-Td1)}{Rd.Td3(Td3-Td2)} \Delta Fs + \frac{Kd(Td3-Td1)}{Td3(Td3-Td2)} \Delta Pcd \quad (13)$$

Fungsi transfer pada perubahan pembangkitan daya diesel ΔP_{gd}, dapat ditulis dalam persaman variabel :

$$\Delta P_{gd}(s) = \frac{1}{(1+sTd4)} [\Delta X_{ED11}(s) + \Delta X_{ED21}(s)] \quad (14)$$

$$\frac{d}{dt} \Delta P_{gd} = -\frac{1}{Td4} \Delta P_{gd} + \frac{1}{Td4} \Delta X_{ED11} + \frac{1}{Td4} \Delta X_{ED21} \quad (15)$$

2.3 Model Matematis Turbin Angin

Pada turbin angin, kontrol jarak sudu (*blade pitch control*) secara konstan memelihara daya pembangkitan tenaga angin. Tenaga angin yang terputus-putus dapat mempengaruhi kualitas daya dari sistem tenaga hibrid tenaga angin-diesel-PV surya yang terisolasi dan deviasi dalam menghasilkan daya dan fluktuasi frekuensi dihilangkan dengan mengatur mekanis *kontrol pitch blade*, yang selalu memantau kecepatan turbin angin dan melakukan aktifitas sistem kontrol umpan balik aktif ke turbin. Persamaan fungsi transfer untuk sistem pembangkit angin adalah

$$\Delta Ft(s) = \frac{1}{1+sTw} [-\Delta Pgw(s) + \Delta Piw(s) + \Delta Pcw(s) + Ktp \Delta Ft(s)] \quad (16)$$

$$\Delta Pgw(s) = Kig [\Delta Ft(s) - \Delta Fs(s)] \quad (17)$$

Dimana :

Tw : konstanta waktu turbin angin (sec).

Kig : fungsi slip dan bagian suplai turbin ke beban

Ktp : koefisien adalah koefisien yang bergantung pada kemiringan dan kurva turbin angin [4]

Dari persamaan (16) dan (17) persamaan diferensial dapat ditulis :

$$\frac{d}{dt} \Delta Ft(s) = -\frac{(1+Kig-Ktp)}{Tw} \Delta Ft + \frac{Kig}{Tw} \Delta Fs + \frac{1}{Tw} \Delta Piw + \frac{1}{Tw} \Delta Pcw \quad (18)$$

Perubahan daya real beban (ΔP_I) atau merubah daya pembangkitan (ΔP_{gw}) yang dialami oleh sistem hibrid mengalami penyimpangan nilai dari pembangkit listrik dari tingkat yang ditentukan dan pembangkit listrik sistem hibrid dapat dipertahankan

oleh pengontrol mesin diesel dengan mengubah pembangkit listriknya sebesar ΔP_{gd} . Daya netto ΔP_I akan diserap oleh sistem baik dengan meningkatkan energi kinetik sistem atau dengan peningkatan konsumsi beban.

Daya netto :

$$\Delta P_I = [\Delta P_{gd} + \Delta P_{gw} - \Delta P_I] \quad (19)$$

Persamaan fungsi transfer sistem yang mengalami perubahan beban daya nyata atau input tenaga angin dapat dituliskan seperti pada persamaan (22).

$$\Delta F_s = \frac{K_p}{1+sT_w} [\Delta P_{gd}(s) + \Delta P_{gw}(s) - \Delta P_I(s)] \quad (20)$$

Dimana :

$$K_p = \frac{1}{D}$$

$$D = \frac{\partial P_I}{\partial f}$$

$$T_p = \frac{2H}{F_s \cdot D}$$

H = PU Konstanta inersia

F_s = nominal sistem frekuensi

D = Koefisien redaman

Persamaan diferensial direpresentasikan dengan persamaan (21)

$$\frac{d}{dt} \Delta F_s = -\frac{1+K_{ig} \cdot K_p}{T_p} \Delta F_s + \frac{K_p}{T_p} \Delta P_{gd} + \frac{K_{ig} \cdot K_p}{T_p} \Delta F_t - \frac{K_p}{T_p} \Delta P_I \quad (21)$$

Kombinasi fungsi transfer pada beberapa blok yang berbeda pada mekanik blade pitch control diberikan pada persamaan (22).

$$\left[\frac{K_{pc} \cdot K_{p3}}{1+sT_{p3}} \right] \left[\frac{K_{p2}}{1+sT_{p2}} \right] \left[\frac{K_{p1}(1+sT_{p1})}{(1+s)} \right] \Delta P_{cu}(s) = \Delta P_{cw}(s) \quad (22)$$

dimana :

T_{p1}, T_{p2} : adalah waktu konstanta aktuator hidrolik blade pitch dalam sekon.

T_{p3} : waktu konstant data respon data per unit

K_{p1} & K_{p2} : konstanta penguatan dari aktuator pitch hidrolik

K_{p3} : penguatan dari unit respons pitch data fit

K_{pc} : konstanta karakteristik sudu

Persamaan 23 dapat ditulis:

$$\left[\frac{K_{pc} \cdot K_{p3}}{1+sT_{p3}} \right] \left[K_{p1} \left\{ T_{p1} + \frac{(1-T_{p1})}{(1+s)} \right\} \left[\frac{K_{p2}}{1+sT_{p2}} \right] \Delta P_{cu}(s) \right] = \Delta P_{cw}(s) \quad 23$$

Persamaan 4 dapat dinyatakan dalam state variabel sebagai :

$$\Delta P_{cw}(s) = \left[\frac{K_{pc} \cdot K_{p3}}{1+sT_{p3}} \right] \left[K_{p1} \cdot \Delta P_{C1}(s) + K_{p1} \cdot T_{p1} \cdot \Delta P_{C2}(s) \right] \quad (24)$$

$$\Delta P_{C1}(s) = \frac{(1-T_{p1})}{(1+s)} \Delta P_{C2}(s) \quad (25)$$

$$\Delta P_{C2}(s) = \frac{K_{p2}}{1+sT_{p2}} \Delta P_{cu}(s) \quad (26)$$

Persamaan diferensial dari fungsi transfer adalah persamaan (24), persamaan (25) dan persamaan (26). Dan persamaan (27), persamaan (28), persamaan (29) adalah sebagai berikut :

$$\frac{d}{dt} \Delta P_{cw} = -\frac{1}{T_{p3}} \Delta P_{cw} + \frac{K_{pc} \cdot K_{p3} \cdot K_{p1}}{T_{p1}} \Delta P_{C1} + \frac{K_{pc} \cdot K_{p3} \cdot K_{p1}}{T_{p3}} \Delta P_{C2} \quad (27)$$

$$\frac{d}{dt} \Delta P_{C1} = -\Delta P_{C1} + (1-T_{p1}) \Delta P_{C2} \quad (28)$$

$$\frac{d}{dt} \Delta P_{C2} = -\frac{1}{T_{p2}} \Delta P_{C2} + \frac{K_{p2}}{T_{p2}} \Delta P_{cu} \quad (29)$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Model Matematis Hibrid Turbin Angin-Diesel-PV

Diagram blok fungsi transfer sistem hibrid turbin angin-diesel- PV yang terisolasi ditunjukkan pada gambar 4. Pengontrol PI termasuk dalam blok fungsi transfer model diagram sistem hibrid untuk kontrol frekuensi beban. Daya input ke sisi turbin angin dan PV surya tidak bisa dikontrol. Ada sedikit ketidak sinkronan daya nyata dan dinamika sistem yang dapat dijelaskan dengan persamaan diferensial linier [12]. Fungsi pengontrol digunakan untuk menghilangkan ketidakcocokan yang dibuat baik oleh perubahan kecil dari daya real atau karena perubahan daya input.

Kontroler PI konvensional dirancang untuk kontrol frekuensi beban dari sistem tenaga hibrida tenaga surya-diesel-PV yang terisolasi. Pengontrol PI untuk pengatur di sisi diesel, kontrol sudu di sisi angin dan pengontrol PI di sistem PV surya dirancang secara individual untuk peningkatan kinerja sistem tenaga turbin angin-diesel-surya yang terisolasi, yang ditunjukkan pada gambar 4.

Daya input ke sumber terbarukan pembangkit listrik berfluktuasi, terutama dalam energi angin dan sistem PV karena ketidakpastian ketersediaan tenaga

surya. Dalam gambar 4, ΔF_s dan ΔF_t masing-masing mewakili deviasi dalam frekuensi sistem (50 Hz) dan kecepatan generator induksi turbin angin. ΔP_{gd} , ΔP_{gw} dan ΔP_{gs} masing-masing mewakili deviasi dalam pembangkit listrik diesel, turbin angin dan PV.

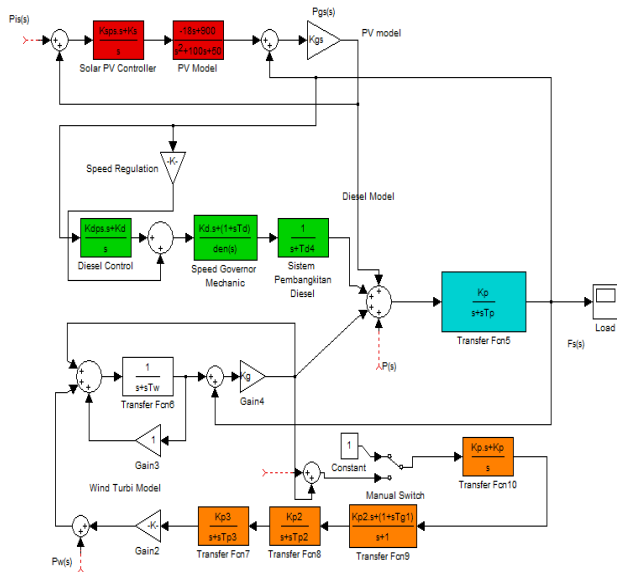
Dinamika unit pembangkit tenaga angin dijelaskan oleh sistem orde pertama dan model orde tinggi dan perilaku waktu dinamis kontinu dari sistem kontrol frekuensi beban dimodelkan oleh seperangkat persamaan diferensial ruang keadaan bentuk seperti pada persamaan (30).

$$\dot{X} = AX + Bu + \Gamma p \tag{30}$$

Dimana :

\dot{X} , u dan p : state, kontrol dan vektor gangguan
 A , B dan Γ : konstanta matriks sistem real dimensi yang sesuai.

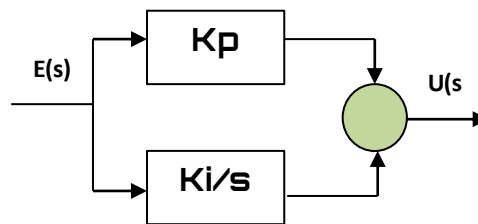
Unsur-unsur matriks dalam (30) bersama dengan data utama dari sistem yang diteliti diberikan dalam [9].



Gambar 4 . Model Fungsi Transfer Hibrid PV-Diesel –Turbin Angin

3. Kontroler PI LFC

Kontroler Proportional Integral (PI) digunakan secara luas sebagai skema kontrol pengaturan frekuensi beban (LFC). Tugas dari kontroler adalah untuk mengurangi error ke kondisi nol. Diagram blok kontrol PI ditunjukkan pada gambar 5. [3].



Gambar 5. Kontroler PI

Secara matematis, fungsi transfer kontroler PI dapat direpresentasikan :

$$\frac{U(s)}{E(s)} = Kp + \frac{Ki}{s} \tag{31}$$

3.2 Pemodelan PI

Tujuan dari studi pemodelan ini adalah mencari permasalahan dalam kontrol frekuensi pada sistem tenaga hibrid menggunakan kontrol PI.

Kontrol PI untuk pengaturan frekuensi beban menggunakan proporsional dan Integral yang diaplikasikan pada sistem hibrid turbin angin-diesel-PV dalam kasus kontinyu, untuk mencapai kondisi frekuensi *steady state* (tunak), dapat digambarkan dengan menerapkan vektor keadaan (32).

x_{n+1} dan x_{n+2} adalah dua variabel tambahan yang didefinisikan dalam persamaan 32 dan 33.[5]

$$X_{n+1} = \int \Delta F_s . dt \tag{32}$$

$$X_{n+2} = \int \Delta F_t . dt \tag{33}$$

Persamaan diferensial keadaan dapat ditulis juga sebagai :

$$X_{n+1} = \Delta F_s \tag{34}$$

$$X_{n+2} = \Delta F_t \tag{35}$$

Persamaan 34 dan 35 dapat ditulis dalam bentuk matrik sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} X_{n+1} \\ X_{n+2} \end{bmatrix} = A1 . X \tag{36}$$

Sekarang vektor keadaan (36) dapat dirubah dengan memasukkan persamaan 30 dan 31 sehingga persamaan ruang keadaan dapat dinyatakan :

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} A & 01 \\ A1 & 02 \end{bmatrix} \hat{X} + \begin{bmatrix} B \\ 03 \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} \Gamma \\ 04 \end{bmatrix} p \tag{37}$$

Dimana O_1, O_2, O_3 dan O_4 adalah matrik dimensi nol dan “u” adalah vektor kontrol dan dapat diekspresikan dalam persamaan 38 berikut

$$u = H \cdot X \tag{38}$$

dimana :

$$H = \begin{bmatrix} -Kdp & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -Kdl & 0 \\ Kl_gKpp & 0 & 0 & 0 & -Kl_gKpp & 0 & Kl_gKpi & -Kl_gKpi \end{bmatrix}$$

Sehingga persamaan diferensial akhir dapat ditulis :

$$\dot{\hat{X}} = \hat{A}\hat{X} + \Gamma p \tag{39}$$

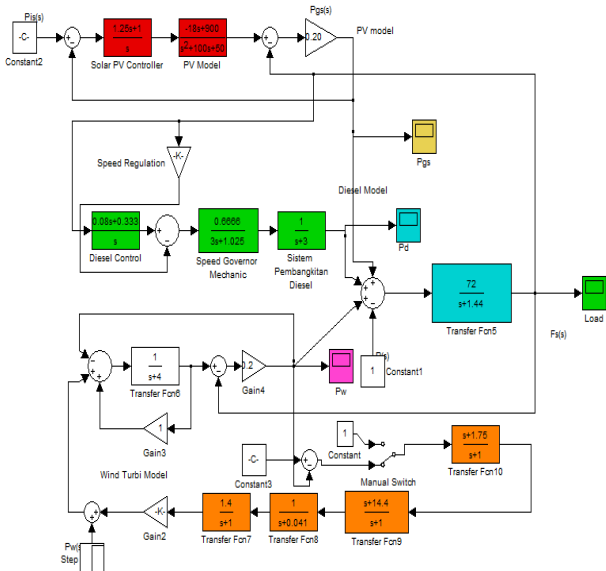
Dimana :

$$\hat{A} = \begin{bmatrix} A & O1 \\ A1 & O2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B \\ O3 \end{bmatrix} H \tag{40}$$

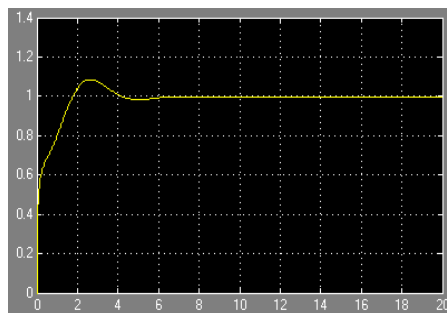
dan

$$\hat{f} = \begin{bmatrix} \Gamma \\ O4 \end{bmatrix} \tag{41}$$

Hasil running matlab simulink model hibrid turbin angin-diesel dan PV pada gambar 4 dengan parameter-parameter yang sudah ditentukan dapat ditunjukkan sebagai berikut :

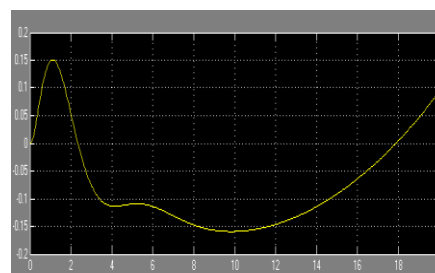


Gambar 5. Model Hibrid Turbin Angin-Diesel-PV dengan parameter nilai yang diuji cobakan



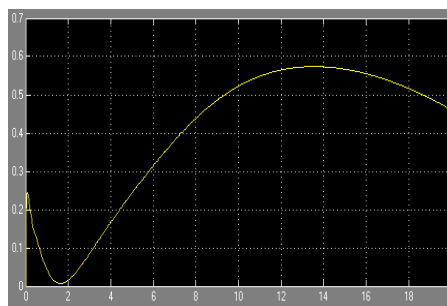
Gambar 6. P_{Output} Pembangkitan PV

P out PV mengalami kestabilan frekuensi beban steady state pada saat 4 detik.



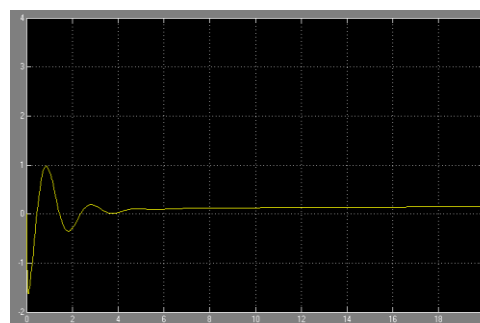
Gambar 7. P_{out} Pembangkitan Diesel

Pada gambar 7 pembangkitan diesel mengalami fluktuasi frekuensi dan berada pada kondisi steady state pada saat 12 detik.



Gambar 8. Pout Pembangkitan Turbin Angin

Pada pembangkitan daya turbin angin mengalami fluktuasi frekuensi dan memerlukan pengaturan kontrol suhu (*blade pitch control*) untuk mendapatkan frekuensi yang stabil.



Gambar 9. P_{out} Pembangkitan Hibrid Twind+Diesel+PV

Daya pembangkitan hibrid turbin angin-diesel-PV dengan kontrol Proportional Integral (PI) mengalami kondisi steady state pada saat 3.8 detik.

IV. KESIMPULAN

- a. Sistem tenaga hibrid tenaga angin- diesel – PV dengan fungsi transfer sinyal kecil dilengkapi dengan kontrol frekuensi beban dapat dimodelkan secara matematis maupun dapat dimodelkan secara simulasi pada software Matlab. Hasil kontrol hibrid dengan kontrol PI menghasilkan frekuensi yang stabil pada waktu 3.8 detik.
- b. Pengaturan frekuensi beban dapat menggunakan teknik yang berbeda dalam bidang optimasi pengaturan frekuensi beban untuk mendapatkan hasil output kestabilan yang lebih baik.

PUSTAKA

[1] J. Raja and C. C. A. Rajan, “PSO based Robust Frequency Control of Wind-Diesel Power Plant using BES,” no. March, 2020.

[2] Z. Abidin, P. Frekwensi, P. Sistem, and D. Hibrid, “Jurnal Teknika PENGATURAN FREKUENSI BEBAN HIBRID TURBIN ANGIN DIESEL Abstrak Jurnal Teknika,” vol. 2, no. 2, pp. 7–16, 2010.

[3] T. S. Bhatti, A. A. F. Al-Ademi, and N. K. Bansal, “Load-frequency control of isolated wind-diesel-microhydro hybrid power systems (WDMHPS),” *Energy*, vol. 22, no. 5, pp. 461–470, 1997.

[4] I. Journal, “Mathematical Modeling of Isolated Wind-Diesel- Solar Photo Voltaic Hybrid Power System for Load Frequency Control,” no. April, 2018.

[5] L. S. Rao and N. V Ramana, “Optimal Load Frequency Control in Two Area Hydro Thermal Deregulated System with Co-Ordinated Control of SMC-TCPS,” *Int. Rev. Autom. Control (IREACO); Vol 6, No 4*, Jul. 2013.

[6] M. T. Samarakou and J. C. Hennet, “SIMULATION OF A COMBINED WIND AND SOLAR,” 1986.

[7] G. W. Scott, V. F. Wilreker, and R. K. Shaltens, “Wind Turbine Generator Interaction With Diesel Generators on an Isolated Power System,” *IEEE Trans. Power Appar. Syst.*, vol. PAS-103, no. 5, pp. 933–937, 1984.

[8] T. S. Bhatti and N. K. Bansal, “LOAD FREQUENCY CONTROL OF ISOLATED DIESEL HYBRID POWER SYSTEMS,” vol. 38, no. 9, pp. 829–837, 1997.

[9] S. M. Shaahid, “Economic feasibility of autonomous hybrid wind–diesel power systems for residential loads in hot regions: a step to mitigate the implications of fossil fuel depletion,” *Int. J. Sustain. Eng.*, vol. 3, no. 2, pp. 121–132, Jun. 2010.

[10] “p107.pdf.” .

[11] C. Nayar, “Remote area micro-grid system using diesel driven doubly fed induction generators, photovoltaics and wind generators,” in *2008 IEEE International Conference on Sustainable Energy Technologies*, 2008, pp. 1081–1086.

[12] T. Tudorache and C. Roman, “The Numerical Modeling of Transient Regimes of Diesel Generator Sets,” no. July 2010, 2014.

[13] A. J. Mahdi, W. H. Tang, and Q. H. Wu, “Improvement of a MPPT Algorithm for PV Systems and Its Experimental Validation,” pp. 6–11, 2010.

Appendix

Symbols

Kpc	Konstanta Karakteristik sudu (pu kW / deg)	Kp1,Kp2	Gain constant of hydraulic blade pitch actuator
Kpi	Gain kontroler sudu internal	Kp3	Gain constant of the data fit pitch response unit
Kpp	Gain kontrol sudu proportional	ΔXED	Incremental change in governor valve position
Ksi	Integral gain of solar PV controller	Ki	Integral gain
Ksp	Gain kontrol proporsional PV	Kdi	Gain integral controller diesel
ΔPcw	Change in blade angle position	Kdp	Gain Proporsional controller diesel
ΔPcd	Perubahan posisi kecepatan diesel	Fs	Frekuensi nominal sistem
ΔPgd	Perubahan pembangkitan daya diesel, pu kW	η	indeks performansi
ΔPgs	Perubahan pembangkitan PV, pu kW	Kp	gain sistem daya
ΔPis	Perubahan daya input PV		

ΔP_{iw}	Change in input wind power due to change of wind velocity	KP	Proportional gain
ΔP_I	Change in net surplus power absorbed by the system	H	P.U. konstanta inersia
ΔP_l	Perubahan daya real beban	Rd	Regulasi kecepatan governor dalam Hz / pu kW
ΔP_{gw}	Perubahan daya pembangkitan turbin angin ,pu kW	X	Vektor keadaan
ΔF_t	Perubahan kecepatan turbin angin	ΔF_s	Deviasi frekuensi sistem, Hz
Ktp	Coefficient that depends on the slope of C_p, λ curves of the wind turbine	T_p	Konstanta waktu sistem daya (sec)
B	Matrik kontrol	T_{d1}, T_{d2}, T_{d3}	Time constant of diesel engine speed governing mechanism in sec
U	Vektor kontrol	T_{p1}, T_{p2}	Time constant of the hydraulic blade pitch actuator in sec
D	Koefisien redaman	Kd	The part of power supplied by diesel power generation to the load
Kd	Gain derivatif	Kgs	The part of power supplied by Solar PV to the load
Γ	Matrik gangguan	Kig	The part of power supplied by wind to the load
P	vektor gangguan		
X	State vector		
ΔF_s	Deviasi frekuensi sistem, Hz		
A	System Matrix		
T_{d4}	Time constant of diesel power generation in sec.		
T_{p3}	Time constant of the data fit pitch response unit in sec.		
T_w	Time constant of the wind-turbine in sec		

Table 1: Rating daya sistem hibrid

Generation Capacity		
Wind Generation(kW)	Diesel Generation(kW)	PV Generation(kW)
150	150	60
Load of the system = (150 + 100 + 50) = 300 kW		

Tabel 2: nilai parameter

$T_{d1} = 1 \text{ s}$; $T_{d2} = 2 \text{ s}$; $T_{d3} = 0.025 \text{ s}$; $T_{d4} = 3 \text{ s}$
 $R_d = 5 \text{ Hz/ pu KW}$; $T_w = 4 \text{ s}$; $K_{pc} = 0.08 \text{ pu Kw/deg}$
 $K_{p1} = 1.25$; $K_{p2} = 1$; $K_{p3} = 1.4$;
 $K_{p1} * K_{p2} * K_{p3} = 1.75 \text{ deg/ pu KW}$; $F = 60 \text{ Hz}$
 $T_{p1} = 0.6 \text{ s}$; $T_{p2} = 0.041 \text{ s}$; $T_{p3} = 1 \text{ s}$
 $K_{ig} = 0.9969 \text{ pu kW/Hz}$; $K_d = 0.3333 \text{ pu kW/Hz}$
 $K_{tp} = 0.003333 \text{ pu kW/Hz}$; $K_{gs} = 0.20 \text{ pu kW/Hz}$
 $K_p = 72$; $T_p = 14.4 \text{ sec}$