



PEMODELAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO DI DESA UMBULAN

Naufal Nasrullah¹, Satryo Budi Utomo², Bambang Srikaloko³

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

Kampus Tegalboto, Jl. Kalimantan No. 37, Kecamatan Sumbersari, Kabupaten Jember, Jawa Timur
 085899592065

E-mail: naufalnasrullah08@gmail.com, satryo@unej.ac.id, kaloko@unej.ac.id,

ABSTRAK

Received : 28-04-2022
 Accepted : 20-06-2022
 Published : 15-09-2022

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro memanfaatkan potensi energi air yang terdapat di lokasi setempat untuk menggerakkan turbin yang dapat menghasilkan listrik. Air artesis di desa Umbulan berpotensi untuk membangkitkan listrik karena debit air sebesar 4600 liter/liter atau 4,6 m³/s, head air sebesar 7,5 m, dan tekanan air sebesar 34 bar. Pemodelan PLTMH menggunakan Simulink MATLAB, pada Simulink menggunakan blok Generator sinkron, HTG, sistem eksitasi, kesalahan 3 fasa, dan sumber 3 fasa. Dari pemodelan PLTMH tersebut, air artesis desa Umbulan mempunyai potensi yang menghasilkan daya sebesar 136.708 Watt dengan tegangan sebesar 400 V dan arus sebesar 341,77 A.

Kata kunci : Pembangkit listrik tenaga mikrohidro, Simulink MATLAB, pemodelan, air artesis, debit air, daya

ABSTRACT

Micro-hydro power plants utilize the potential of water energy found in local locations to drive turbines that can generate electricity. Artesian water in Umbulan village has the potential to generate electricity because the water discharge is 4600 liters/liter or 4.6 m³/s, the water head is 7.5 m, and the water pressure is 34 bar. Modeling a micro hydro power plant using Simulink MATLAB, on Simulink using a synchronous generator block, HTG, excitation system, 3-phase fault, and 3-phase source. From the modeling of the micro-hydro power plant, artesian water in Umbulan village has the potential to produce 136,708 Watts of power with a voltage of 400 V and a current of 341.77A.

Keywords: Microhydro power plant, Simulink MATLAB, modeling, artesian water, water discharge, power.

1. PENDAHULUAN

Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RKUN) 2019-2038 yang memproyeksikan rata-rata pertumbuhan kebutuhan energi listrik nasional sekitar 6,9% per tahun. Indonesia saat ini masih sebagian besar bergantung pada energi fosil untuk membangkitkan listrik, oleh karena itu pemerintah berkomitmen memenuhi target bauran energi pembangkitan tenaga listrik untuk energi baru terbarukan (EBT) sebesar 23% pada tahun 2025 (KESDM,2019). Dari rencana yang dipaparkan pemerintah ini, maka Indonesia akan menuju transisi dari energi fosil menuju energi bersih melalui pembangkit listrik energi baru terbarukan (EBT) (KESDM, 2019). Salah satu dari pembangkit listrik energi baru terbarukan adalah pembangkit listrik

tenaga mikrohidro, Pembangkit listrik tenaga mikrohidro memanfaatkan potensi energi air yang terdapat di lokasi setempat untuk menggerakkan turbin yang dapat menghasilkan listrik. Di kabupaten Pasuruan, tepatnya di desa Umbulan adalah salah satu desa yang memiliki sumber air berlimpah. Sumber air atau air artesis adalah air tanah yang letaknya jauh di dalam tanah, umumnya berada diantara dua lapisan yang kedap air (Maria,2012). Air artesis di desa umbulan memiliki kapasitas yang besar dengan jumlah debit air sebesar 4.600 liter/detik yang akan di distribusikan ke berbagai daerah. Pemodelan pembangkit listrik tenaga mikrohidro dilakukan di air artesis desa umbulan karena mempertimbangkan beberapa faktor, yaitu

besar debit air, ketinggian air, dan ketedediaan bak penampungan air yang cukup besar

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang akan dilakukan pada penelitian ini yaitu metode pengukuran head secara teori dan analisis data dengan persamaan-persamaan untuk mengetahui potensi daya yang dihasilkan.

2.1 Prediksi Head Air Artesis

Head air artesis diukur menggunakan perhitungan dengan dipengaruhi oleh debit air dan tekanan air. Rumus yang digunakan adalah rumus tekanan yaitu:

$$P = Q \cdot g \cdot H \quad (1)$$

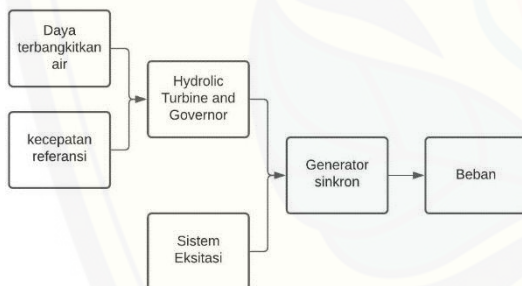
Karena yang belum diketahui adalah ketinggian air (Head) maka:

$$H = \frac{P}{Q \cdot g} \quad (2)$$

Dimana: H = Head air (m)
 P = tekanan (pa)
 Q = Debit air (m³/s)
 g = Percepatan gravitasi (9,8 m²/s)

2.2 Diagram Blok Pemodelan PLTMH

Diagram blok yang akan digunakan untuk Pemodelan PLTMH terdapat pada gambar 1. Dalam diagram blok terdapat beberapa masukan yang digunakan dengan 2 masukan untuk HTG dan 2 masukan untuk generator sinkron. Keluaran dari generator sinkron ini akan disalurkan ke beban.



Gambar 1. Diagram Blok Pemodelan PLTMH

1. Daya terbangkitkan air adalah daya yang muncul dari debit air, head, percepatan gravitasi, massa jenis air, dan koefisien pipa penstock, turbin, dan generator. Daya terbangkitkan air ini menjadi salah satu nilai input dari HTG dalam satuan PU (per-unit).
2. Kecepatan referensi adalah kecepatan yang telah ditentukan. Nilai dari kecepatan referensi adalah 1500 rpm mengacu pada kecepatan maksimum rotor generator. Pada Simulink MATLAB menggunakan satuan PU (per-unit).

$$\text{kecepatan referensi}(pu) = \frac{\text{kecepatan diinginkan}(rpm)}{\text{kecepatan putaran base}(rpm)} \quad (3)$$

$$\text{kecepatan referensi}(pu) = \frac{1500rpm}{1500rpm} = 1pu \quad (4)$$

3. Sistem eksitasi berfungsi untuk membangkitkan medan electromagnet secara singkat pada generator sinkron yang menyebabkan rotor berputar. Setelah rotor berputar kecepatan referensi dan daya terbangkitkan air akan memutar generator sinkron secara kontinu.
4. Kecepatan dari generator sinkron akan membangkitkan energi listrik DC dan menyalurkan ke beban.

2.3 Metode Pengumpulan Data

Pengambilan data dilakukan di PDAM Kota Pasuruan dengan melihat laporan tahunan yang dikeluarkan oleh PDAM Kota Pasuruan. Data air artesis yang dipakai adalah data tahun 2020 atau data terbaru.

2.4 Teknik Analisis Data

Data – data yang telah didapatkan pada air artesis desa umbulan yang berupa debit air, tekanan air, dan head air akan diolah untuk menjadi daya turbin dan daya generator menurut perhitungan. Daya turbin berfungsi untuk nilai masukan HTG (Hydro Turbine Governor) dan keluaran dari HTG berupa daya mekanik dalam satuan pu (per-unit).

Dalam rangkaian pemodelan PLTMH di Simulink matlab terdapat 4 blok utama, yaitu HTG (Hydro Turbine Governor), Sistem Eksitasi, Generator sinkron 3 fasa, dan beban. Sinyal output dari tegangan dan arus generator, tegangan medan, dan kecepatan rotor yang ditampilkan dalam scope akan dianalisis dari karakteristik sinyal dan nilai steady-state.

Perhitungan untuk mengetahui daya turbin, dapat dilakukan setelah mengetahui nilai debit air, yaitu:

$$Pt = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \eta t \quad (5)$$

Dimana:

Pt = Daya turbin
 ρ = Massa jenis air (1000 kg/m³)
 g = Percepatan gravitasi (9,8 m/s²)
 H = Head air (m)
 ηt = Efisiensi turbin

Effisiensi turbin tergantung dari jenis turbin yang dipakai

0,8 – 0,85 untuk turbin *Pleton*
 0,8 – 0,9 untuk turbin *francis*
 0,8 – 0,9 untuk turbin *propeller / kaplan*
 0,7 – 0,8 untuk turbin *crossflow*

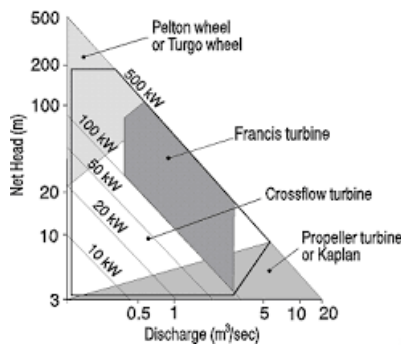
Perhitungan untuk mengetahui daya generator dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Pg = Pt \cdot \eta g \quad (6)$$

Dimana:

Pg = daya generator (kW)
 Pt = daya turbin (kW)
 ηg = Efisiensi generator (0,8)

Setelah mengetahui dan menentukan debit dan head air artesis, maka dilakukan pemilihan turbin sesuai debit dan head air.



Gambar 2. Grafik Pemilihan Turbin Air

Pada gambar 2 merupakan grafik pemilihan turbin dengan ditentukan oleh debit air dan head air, jika mengacu pada gambar 2 jika air memiliki debit yang besar tetapi head rendah maka turbin yang tepat adalah turbin propeler atau kaplan. Sedangkan jika debit air kecil dan head air tinggi maka turbin yang tepat adalah turbin pelton.

2.5 Perhitungan Pemodelan PLTMH desa Umbulan pada Simulink Matlab

Dalam pemodelan PLTMH terdapat beberapa blok-blok yang akan dipakai yaitu blok HTG, blok mesin sinkron, dan blok eksitasi. Blok-blok tersebut bekerja berdasarkan persamaan-persamaan yang sudah ditetapkan dan dimodelkan dalam suatu rangkaian agar dapat bekerja.

2.5.1 Pemodelan Hydraulic Turbin

Pemodelan turbin hidrolis terdiri dari beberapa persamaan sebagai berikut

kecepatan air

$$U = K_u G \sqrt{H} \quad (7)$$

Daya masukkan ke turbin

$$P = K_p H U \quad (8)$$

Percepatan air

$$\frac{dU}{dt} = \frac{g}{L} (H - H_o) \quad (9)$$

Dimana:

G = Gerbang air

H = Head total air

H_o = Head gerbang air

L = Panjang pipa penstock

g = Percepatan gravitasi

Penyederhanaan dari persamaan-persamaan tersebut menggunakan nilai kecepatan rata-rata (U_r), head hydrolic ke gate (H_r), terbukannya gerbang yang ideal (G_r), dan daya (P_r), persamaan berikut dalam satuan per-unit.

$$H = \left(\frac{U}{G}\right)^2 \quad (10)$$

$$P = H U \quad (11)$$

$$\frac{dU}{dt} = \frac{g H_r}{L U_r} (H_o - H)$$

$$\frac{dU}{dt} = \frac{1}{T_w} (H_o - H) \quad (12)$$

Dimana T_w adalah waktu awal air masuk ke beban rata-rata dan memiliki nilai tetap untuk unit turbin dan persamaannya sebagai berikut

$$T_w = \frac{L U_r}{g H_r} \quad (13)$$

Menggunakan transformasi laplace pada persamaan 3.10 menjadi

$$S \bar{U} = \frac{1}{T_w} (H_o - H)$$

$$\bar{U} = \frac{H_o - H}{s T_w} \quad (14)$$

Untuk persamaan daya keluaran dari turbin adalah

$$P_m = P - P_{NL} \quad (15)$$

$$P_m = K_p (U - U_{NL}) H$$

Jika nilai konstanta bernilai 1, maka persamaan daya keluaran pada turbin menjadi

$$P_m = (U - U_{NL}) H \quad (16)$$

Untuk menentukan Torsi menggunakan persamaan sebagai berikut

$$T_m = \frac{P_m}{\omega} \quad (17)$$

Dimana:

P_m = Daya mekanik

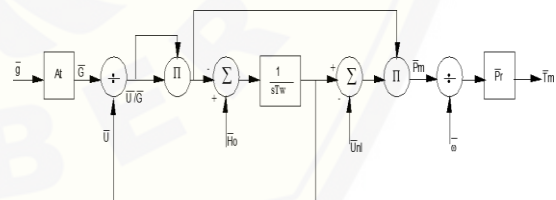
P = Daya turbin

P_{NL} = Daya no load

U = Kecepatan air

U_{NL} = Kecepatan air no load

T_m = Torsi mekanik



Gambar 3. Model Non Linear Hydro Turbine

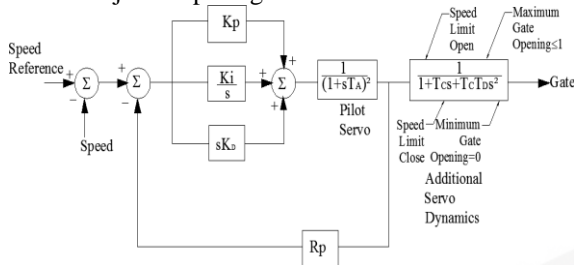
Dari kombinasi persamaan-persamaan hydrolic turbine (7) sampai (16), maka pemodelan non linear hydro turbine ditampilkan dari gambar 3.

2.5.2 Pemodelan Governor

Kecepatan atau beban dikontrol dari governor ini melibatkan error dari kecepatan sebagai sinyal umpan balik untuk mengontrol posisi gate.

Proporsional-integral-derivatif berfungsi untuk mengatur hidrolis elektrik yang memungkinkan respon kecepatan yang lebih tinggi dengan pengurangan dan peningkatan penguatan

transien. Untuk pemodelan governor menggunakan PID ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. PID Model Governor

Pada Gambar 4 merupakan rangkaian dari pemodelan PID agar bisa mengatur kecepatan rotor dengan mengatur konstanta dari Kp, Ki, dan Kd. Konstanta PID tersebut akan di masukan dalam persamat untuk mengatur servo dan keluarannya adalah membuka dan menutup gate.

2.5.3 Pemodelan Generator sinkron

Pemodelan generator sinkron digunakan untuk mempertimbangkan karakteristik mesin secara elektrik dan mekanik, serta mempertimbangkan belitan dinamik stator, medan dan perbedaan rangka referensi rotor (dengan frame) digunakan untuk representasi sirkuit ekuivalen dari model mesin sinkron yang digunakan gambar 6 dan gambar 7.

Besaran listrik dan parameter rotor dilihat dari sisi stator yang diidentifikasi dengan variabel utama. Pada model mesin sinkron, diasumsikan arus mengalir ke belitan stator sedangkan arus keluar dari mesin adalah arus stator terukur yang dikembalikan oleh mesin sinkron (I_a, I_b, I_c, I_d, I_q).

$$V_d = R_s I_d + \frac{d}{dt} \varphi_d - \omega_R \varphi_q \quad (18)$$

$$V_q = R_s I_q + \frac{d}{dt} \varphi_q - \omega_R \varphi_d \quad (19)$$

$$V'_{fd} = R'_{fd} I'_{fd} + \frac{d}{dt} \varphi'_{fd} \quad (20)$$

$$V'_{kd} = R'_{kd} I'_{kd} + \frac{d}{dt} \varphi'_{kd} \quad (21)$$

$$V'_{kq1} = R'_{kq1} I'_{kq1} + \frac{d}{dt} \varphi'_{kq1} \quad (22)$$

$$V'_{kq2} = R'_{kq2} I'_{kq2} + \frac{d}{dt} \varphi'_{kq2} \quad (23)$$

$$\varphi_d = L_d i_d + L_{md} (i'_{fd} + i'_{kd}) \quad (24)$$

$$\varphi_q = L_q i_q + L_{mq} i'_{kq} \quad (25)$$

$$\varphi'_{fd} = L'_{fd} i'_{fd} + L_{md} (i_d + i'_{kd}) \quad (26)$$

$$\varphi'_{kd} = L'_{kd} i'_{kd} + L_{md} (i_d + i'_{kd}) \quad (27)$$

$$\varphi'_{kq1} = L'_{kq1} i'_{kq1} + L_{mq} i_q \quad (28)$$

$$\varphi'_{kq2} = L'_{kq2} i'_{kq2} + L_{mq} i_q \quad (29)$$

Dari persamaan (3.15) sampai (3.25) dimana

V_d = Tegangan d-axis

V_q = Tegangan q-axis

V'_{fd} = Tegangan medan d-axis

V'_{kd} = Tegangan saturasi d-axis

V'_{kq1} = Tegangan saturasi q1-axis

V'_{kq2} = Tegangan saturasi q2-axis

φ_d = Flux stator d-axis

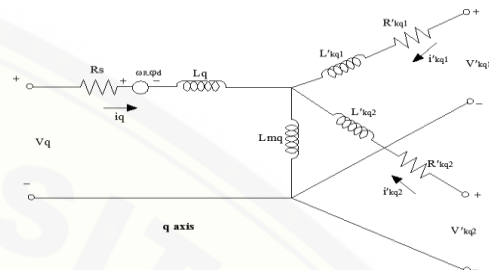
φ_q = Flux stator q-axis

φ'_{fd} = flux medan stator d-axis

φ'_{kd} = Flux faktor saturasi d-axis

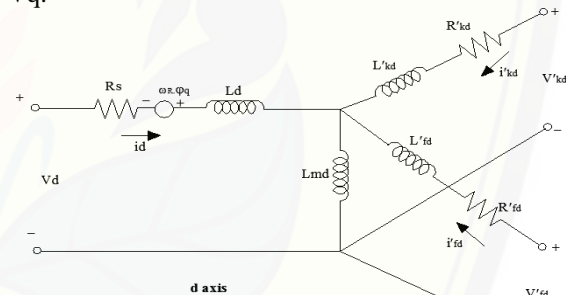
φ'_{kq1} = Flux faktor saturasi q1-axis

φ'_{kq2} = Flux faktor saturasi q2-axis



Gambar 5. Model Generator Sinkron Ekuivalen Q Axis

Pada Gambar 5 yang merupakan model dari generator sinkron ekuivalen q-axis terdiri dari persamaan (19), (22), (23), (25), (28), dan (29). dari gambar 5 diketahui bahwa masukannya adalah V'_{kq1} dan V'_{kq2} dan keluaran dari q-axis ini adalah V_q .



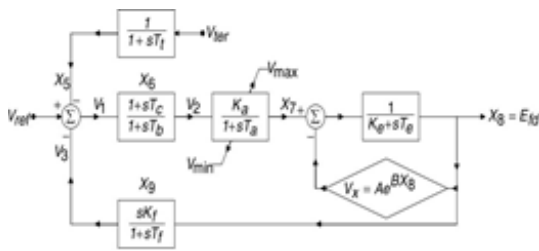
Gambar 6. Model Generator Sinkron Ekuivalen D Axis

Pada Gambar 6 yang merupakan model dari generator sinkron ekuivalen d-axis terdiri dari persamaan (18), (20), (21), (24), (26), dan (27). dari gambar 6 diketahui bahwa masukannya adalah V'_{kd} dan V'_{fd} dan keluaran dari q-axis ini adalah V_d .

2.5.4 Pemodelan Sistem Eksitasi

Sistem eksitasi digunakan untuk memberikan arus searah ke belitan medan mesin sinkron. Ini juga melakukan fungsi kontrol dan perlindungan yang sangat penting untuk kinerja sistem tenaga yang memuaskan dengan mengontrol tegangan medan. IEEE tipe sistem eksitasi DC1A digunakan dalam simulasi pembangkit listrik tenaga air.

Model eksitasi DC1A mewakili eksitasi komutator DC yang mengendalikan medan menggunakan *voltage regulator* (VR) yang bekerja secara kontinu. Dan untuk model sistem eksitasi yang digunakan ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7. model sistem eksitasi tipe DC

Untuk persamaan-persamaan model sistem eksitasi menggunakan persamaan berikut:

$$\frac{dX_5}{dt} = \frac{V_{ter}X_5}{T_f} \quad (30)$$

$$\frac{dX_9}{dt} = \frac{X_g X_9}{T_f} \quad (31)$$

$$V_3 = K_f \frac{dX_9}{dt} \quad (32)$$

$$V_1 = V_{ref} X_5 V_3 \quad (33)$$

$$\frac{dX_6}{dt} = \frac{V_1 X_6}{T_h} \quad (34)$$

$$V_2 = X_6 + T_c \frac{dX_6}{dt} \quad (35)$$

$$\frac{dX_7}{dt} = \frac{K_a V_2 X_7}{T_n} \quad (36)$$

Jika $X_7 < V_{max}$ dan $X_7 > V_{min}$ maka persamaan 3.32 menjadi

$$\frac{dX_7}{dt} = 0 \text{ dan } X_7 = V_{max} \quad (37)$$

Jika $\frac{dX_7}{dt} > 0$ dan $X_7 \geq V_{max}$ maka

$$\frac{dX_7}{dt} = 0 \text{ dan } X_7 = V_{min} \quad (38)$$

Jika $\frac{dX_7}{dt} < 0$ dan $X_7 \leq V_{max}$ maka

$$\frac{dX_8}{dt} = \frac{X_7 A e^{sX} K_e X_8}{T_e} \quad (39)$$

Untuk Tegangan keluaran dari eksiter (E_{fd}) sebagai berikut:

$$E_{fd} = X_8 \quad (40)$$

Dalam persamaan-persamaan (30) sampai (40) dimana

- V_{ref} = tegangan referensi
- V_{ter} = Tegangan terminal generator
- T_c = Konstanta waktu tegangan
- T_c dan T_d = Konstanta waktu transient gain reduction (TGR)
- K_a = Konstanta gain amplifier
- T_a = Konstanta waktu amplifier
- K_e = Konstanta gain eksiter
- T_e = Konstanta waktu eksiter
- A dan B = konstanta saturasi
- K_f = Konstanta gain rangkaian stabilizer
- T_f = Konstanta waktu rangkaian stabilizer
- K_c = Konstanta rectifier

K_d = AC eksiter sinkron dan konstanta reaktan transien

V_{max} = Keluaran maksimum amplifier

V_{min} = Keluaran minimum amplifier

E_{fd} = Tegangan keluaran eksiter

2.6 Perhitungan efisiensi daya keluaran generator sinkron

Masukan dari generator adalah daya mekanik yang berasal dari *Hydro Turbine and governor* (HTG) dan daya keluaran dari generator adalah daya listrik yang mensuplai beban. Untuk menghitung efisiensi daya dalam persen yang dihasilkan menggunakan persamaan sebagai berikut

$$eff(\%) = \frac{\text{daya generator}}{\text{daya turbin}} \times 100\% \quad (41)$$

3. PEMBAHASAN

Pada penelitian ini membahas tentang pemodelan pembangkit listrik di desa Umbulan yang menggunakan Simulink MATLAB, hasil dari pemodelan ini adalah daya output dari generator yang menunjukkan nilai potensi daya dari air artesis desa Umbulan.

3.1 Data Pengukuran dan Potensi Daya Air Artesis Desa Umbulan

Tempat yang dijadikan penelitian yaitu di desa umbulan, Kabupaten Pasuruan. Dengan memiliki sumber daya alam yaitu air artesis yang sangat melimpah dan dapat mensuplai 5 daerah yaitu Kabupaten Pasuruan, Kota Pasuruan, Kabupaten Sidoarjo, dan Kota Surabaya. Data pengukuran air artesis didapatkan dari pengukuran yang dilakukan oleh PDAM Kota Pasuruan. Data-data tersebut disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Data Pengukuran Mata Air Umbulan

Nama sumber air baku	Mata Air Umbulan
Kecamatan	Winongan
Lokasi desa	Umbulan
Titik Koordinat sumber air baku (lat)	-7.759632, 112.934211
Titik Koordinat sumber air baku (long)	7.759632
Jenis Sumber Air	Mata Air
Tahun pembangunan	1917
Kapasitas Total air baku	4.600 liter/s
Alokasi kapasitas air baku	173 liter/s
Kapasitas intake air baku eksisting	282 (uji coba) liter/s
Tekanan mata air	34 bar

Dari data-data tersebut didapatkan bahwa debit dari mata air Umbulan memiliki kapasitas total sebesar 4.600 liter/s jika diubah dalam satuan SI menjadi 4,6 m³/s dan memiliki tekanan sebesar 34 bar jika diubah menjadi satuan SI menjadi 3.400.000

Pa. Head (ketinggian) air pada forebay atau bak penenang air dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$H = \frac{P}{Q \cdot \rho \cdot g} \quad (2)$$

$$H = \frac{3400000}{4,6 \times 9,8}$$

$$H = 75421,47 \text{ mm}$$

$$H = 7,542147 \text{ m}$$

$$H = 7,5 \text{ m}$$

Dengan debit sebesar 4,6 m³/s dan head air sebesar 7,5 m maka jenis turbin yang akan dipilih adalah turbin crossflow. Untuk daya pada turbin dapat dihitung sebagai berikut:

$$P_t = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \mu_t \quad (5)$$

$$P_t = 1000 \cdot 9,8 \cdot 4,6 \cdot 7,5 \cdot 0,7$$

$$P_t = 236670 \text{ Watt}$$

Untuk daya generator dapat dihitung sebagai berikut:

$$P_g = P_t \cdot \mu_g \quad (6)$$

$$P_g = 236670 \cdot 0,8$$

$$P_g = 189336 \text{ Watt}$$

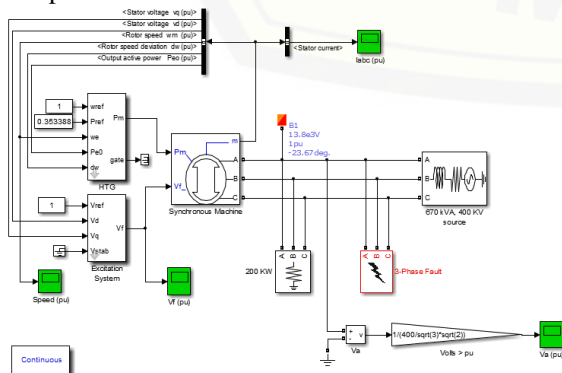
Tabel 2. Data mata air Umbulan

Data Mata Air Umbulan	
Debit (Q)	4,6 m ³ /s
Tekanan (P)	3.400.000 Pa
Head (H)	7,5 m
Daya turbin	236.770 Watt
Daya generator	189.336 Watt

Pada tabel 2 menjelaskan karakteristik dari air artesis Desa Umbulan dengan debit air sebesar 4,6 m³/s dan tekanan air sebesar 3.400.000 Pa menghasilkan daya turbin sebesar 236.770 Watt dan daya generator sebesar 189.336 Watt menurut perhitungan menggunakan persamaan (5) dan (6).

3.2 Pemodelan PLTMH yang tepat agar menghasilkan daya yang maksimal dengan Simulink MATLAB

Pemodelan PLTMH dilakukan menggunakan software MATLAB karena dapat digunakan untuk pemodelan, simulasi, dan percobaan. Pada Gambar 8 rangkaian pemodelan PLTMH dengan memasukan data-data air artesis desa umbulan yang telah didapatkan.



Gambar 8. Pemodelan PLTMH Pada Simulink MATLAB

Air artesis desa umbulan memiliki debit air sebesar 4,6 m³/s dengan Head atau ketinggian air sebesar 7,5 m. Dalam perhitungan yang ditampilkan pada tabel 4.1 daya yang dihasilkan pada turbin sebesar 236.770 Watt dan daya yang dihasilkan oleh generator sebesar 189.336 Watt. Pada HTG terdapat Wref dan Pref, Wref adalah kecepatan referensi dan Pref adalah daya referensi. Nilai Wref adalah nilai dari kecepatan maksimum generator sinkron yang digunakan, kecepatan maksimum generator sinkron adalah 1500 rpm. Nilai Pref adalah hasil perhitungan dari daya turbin sebesar 236.770 Watt.

Sistem eksitasi berfungsi untuk membangkitkan medan elektromagnetik pada rotor generator sinkron yang menyebabkan rotor berputar. Nilai dari eksitasi tergantung pada generator dan beban yang terhubung dengan generator. Nilai eksitasi yang disalurkan sebesar 1 pu. Output dari HTG dan system eksitasi menjadi input dari generator sinkron yang akan mensuplai daya ke beban sebesar 200 kW.

Spesifikasi generator sinkron yang digunakan, sebagai berikut:

- Nama : Generator sinkron 3 fasa
- Daya : 670 kVA
- Tegangan (L-L) : 400 V
- Frekuensi : 50 Hz

Persamaan untuk merubah satuan watt dan rpm dalam pu (per-unit) adalah $pu = \frac{\text{nilaireal}}{\text{nilaibase}}$, maka nilai dari Wref dan Pref menjadi

$$Pref(pu) = \frac{236.770 \text{ VA}}{670000 \text{ VA}} = 0,353388 pu$$

$$Wref(pu) = \frac{1500 \text{ rpm}}{1500 \text{ rpm}} = 1 pu$$

Nilai base dari Pref adalah nilai daya pada generator sinkron sebesar 670 kVA. Beban yang terhubung dengan generator sinkron sebesar 200kVA dengan tegangan fasa ke fasa (L-L) sebesar 400 V.

3.3 Hasil dari pemodelan PLTMH menggunakan Simulink MATLAB

Pada simulasi pemodelan PLTMH menggunakan Simulink MATLAB didapatkan hasil sebagai berikut:

3.3.1 Tegangan keluaran generator

Tegangan yang dihasilkan oleh generator diukur dengan fasa ke netral (L-N) dan mendapatkan hasil berupa gelombang dalam satuan pu (per-unit). Dalam gelombang tegangan 1 fasa yang keluar dari generator mempunyai nilai 1 pu atau sebesar 400 Vrms 33.17°. Untuk nilai tegangan fasa ke fasa (L-L) sebagai berikut:

- a. Tegangan fasa A dan B (Vab) adalah 400 Vrms atau 1 pu dengan sudut 33.17°,
- b. Tegangan fasa B dan C (Vbc) adalah 400 Vrms atau 1 pu dengan sudut -86.83°,
- c. Tegangan fasa C dan A (Vca) adalah 400 Vrms atau 1 pu dengan sudut 153.17°

Nilai-nilai tegangan tersebut merupakan tegangan transmisi yang terhubung dengan beban sebesar 200 KVA.

3.3.2 Arus keluaran generator

Arus yang dihasilkan oleh generator 3 fasa sebagai berikut:

- b. Untuk fasa A (Ia) sebesar 341.77 Arms atau 0.3534 pu dengan sudut 3.82°
- c. Untuk fasa B (Ib) sebesar 341.77 Arms atau 0.3534 pu dengan sudut -116.18°
- d. Untuk fasa C (Ic) sebesar 341.77 Arms atau 0.3534 pu dengan sudut 123.82°

3.3.3 Voltage field (Vf)

Voltage field atau tegangan medan yang berfungsi untuk membangkitkan medan elektro magnetik pada rotor yang menghasilkan rotor berputar.

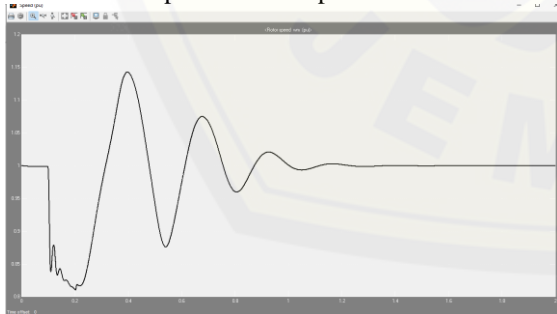


Gambar 9. Nilai Voltage Field (VF) Pada Sistem Eksitasi

Vf adalah output dari blok sistem eksitasi dan input dari sistem eksitasi adalah Vref yang bernilai 1 pu, tegangan stator d (Vd), tegangan stator q (Vq), dan Vstab yang terhubung dengan ground. Pada gambar 9 diketahui bahwa nilai output atau Vf adalah 1,3537 pu pada saat sinyal steady state.

3.3.4 Kecepatan rotor pada generator sinkron

Kecepatan rotor dipengaruhi oleh Vf dan Pmec (daya mekanik) output dari HTG dan nilai kecepatan rotor sebesar 1 pu atau 1500 rpm.



Gambar 10. Nilai Kecepatan Rotor Generator

Pada pada Gambar 10 saat waktu 0-1 detik gelombang mengalami ripple yang menunjukkan bahwa kecepatan rotor tidak stabil dikarenakan PID mengatur agar kecepatan rotor tidak melebihi kecepatan maksimum generator. Pada saat waktu 1-2 detik gelombang mulai stabil dan kecepatan rotor menjadi konstan.

3.3.5 Efisiensi daya perhitungan dan daya simulasi pada Simulink Matlab

Pada perhitungan daya terbangkitkan terdapat 2 macam daya, yaitu daya turbin dan daya generator. Daya turbin yang didapatkan dari perhitungan sebesar 236.770 Watt dan hasil dari perhitungan daya generator sebesar 189.336 Watt, maka efisiensi daya yang didapatkan dengan menggunakan persamaan (3.37) sebesar

$$eff (\%) = \frac{\text{daya generator}}{\text{daya turbin}} \times 100\% \quad (41)$$

$$eff (\%) = \frac{189.336Watt}{236.770Watt} \times 100\%$$

$$eff (\%) = 70\%$$

Pada Simulink Matlab terdapat daya input dan daya output, daya input generator sinkron berasal dari HTG (Hydro Turbine and Governor) dan daya output generator sinkron dihubungkan dengan beban sebesar 200 kW. Daya input generator sinkron sebesar 236.770 Watt dan daya output pada generator sinkron sebesar 136.708 Watt dengan tegangan sebesar 400 V dan arus sebesar 341,77 A. Dari nilai daya input dan daya output, maka efisiensi daya yang didapatkan sebesar

$$eff (\%) = \frac{\text{daya generator}}{\text{daya turbin}} \times 100\% \quad (41)$$

$$eff (\%) = \frac{136.708Watt}{236.770Watt} \times 100\%$$

$$eff (\%) = 57\%$$

Selisih dari daya output perhitungan dan daya output simulasi adalah 52.628 Watt

4. PENUTUP

4.1. KESIMPULAN

Dari hasil dan analisis yang telah di sampaikan maka kesimpulan dari pemodelan pembangkit listrik tenaga mikrohidro adalah

1. Potensi daya dari debit air artesis yang sebesar 4,6 m³/s dengan tekanan sebesar 3.400.000 Pa dan head air sebesar 7,5 m menghasilkan daya turbin sebesar 236.770W. Untuk daya pada generator yang disimulasikan pada Simulink Matlab sebesar 136.708W dengan teganga sebesar 400V dan arus sebesar 341,77A yang mensuplai beban dengan daya 200kW
2. Dari pemodelan yang telah dilakukan, maka jenis turbin yang digunakan dalam PLTMH adalah turbin crossflow dan daya yang dikeluarkan adalah 236.770W. Dalam pemodelan menggunakan Simulink matlab, blok-blok utama yang digunakan adalah HTG (Hydro Turbine anad Governor), system eksitasi, generator sinkron, beban (load), kesalahan 3 fasa, dan sumber 3 fasa. Blok-blok tersebut dapat menghasilkan daya dengan bentuk sinyal tegangan dan arus yang baik agar bisa mensuplai beban dengan baik.

REFERENSI

- Dutta, B., & Ghosh, S. (2017). Website : www.ijareeie.com Mathematical MATLAB Model and Performance Analysis of Asynchronous. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 6(An ISO 3297: 2007 Certified Organization), 2272–2276. <https://doi.org/10.15662/IJAREEIE.2017.0604012>
- Auwal Abubakar Usman, R. A. A. (2015). Modelling and Simulation of Micro Hydro Power Plant Using Modelling and Simulation of Micro Hydro. *International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science(Ijates)*, 12(01), 260–272.
- Adikurniawan, N., Rohi, D., Tumbelaka, H. H., Studi, P., Elektro, T., Petra, U. K., & Siwalankerto, J. (2017). Analisa Pemodelan PLTA Sengguruh dengan Matlab Simulink. *Analisa Pemodelan PLTA Sengguruh Dengan Matlab Simulink*, 10(1), 24–29. <https://doi.org/10.9744/jte.10.1.24-29>
- Naghizadeh, R. A., Jazebi, S., & Vahidi, B. (2012). Modeling hydro power plants and tuning hydro governors as an educational guideline. *International Review on Modelling and Simulations*, 5(4), 1780–1790.
- Song, J., Zhou, F., Bao, H., & Liu, J. (2011). Dynamic modeling and simulation of UPFC. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 98 LNEE (VOL. 2), 749–756. https://doi.org/10.1007/978-3-642-21765-4_93
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2020). *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral tentang Rencana Strategis Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral tahun 2020-2024*.
- IEEE Machinery, E., & Society, E. (2019). *IEEE Guide for Synchronous Generator* (L. U. of Technology (ed.); Vol. 2019). IEEE Xplore.
- Sattouf, M. (2015). Simulation Model of Hydro Power Plant Using Matlab / Simulink Simulation Model of Hydro Power Plant Using Matlab / Simulink Mousa Sattouf *. *Mousa Sattouf Int. Journal of Engineering Research and Applications*, 4(February 2014).
- Sosilo, A. K. (2016). TA Pemodelan Pembangkit Listrik Tenaga Air (Plta) Sebagai Pemanfaatan Air Keluaran Discharge Channel Pembangkit Listrik Tenaga Uap (Pltu) Dengan Simulink. *Tugas Akhir*, 76. <http://repository.its.ac.id/48270/1/2412100070-Undergraduate-Thesis.pdf>
- Acakpovi, A., Ben Hagan, E., & Xavier Fifatin, F. (2014). Review of Hydropower Plant Models. *International Journal of Computer Applications*, 108(18), 33–38. <https://doi.org/10.5120/19014-0541>
- Acakpovi, A., Ben Hagan, E., & Xavier Fifatin, F. (2014). Review of Hydropower Plant Models. *International Journal of Computer Applications*, 108(18), 33–38. <https://doi.org/10.5120/19014-0541>
- Rahi, O. P., & Kumar, G. (2014). Simulation studies for refurbishment and uprating of hydro power plants. *IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2014-October*(October), 4–8. <https://doi.org/10.1109/PESGM.2014.6939122>
- Sosilo, A. K., Hadi, H., & Soehartanto, T. (2018). Design of Hydro Power by Using Turbines Kaplan on the Discharge Channel Paiton 1 and 2. *E3S Web of Conferences*, 42, 4–8. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184201008>
- Perusahaan Listrik Negara. (2021). *Statistics 2020. Idx.Go.Id*, 16.
- DORJI, S. (2016). Modeling and Simulation of Hydro Alternate Hydro Energy Centre. *Alternate Hydro Energy Centre, Indian Institute of Technology Roorkee*, 76(POWER PLANT), 1–76.