

# PEMODELAN DINAMIK DAN SIMULASI KARAKTERISTIK RESPON *MICRO STEAM TURBINE* DENGAN SIMULINK

Rahmat Bayu Setiawan<sup>1</sup>, Khairudin<sup>2</sup>, Lukmanul Hakim<sup>3</sup>, Noer Soedjarwanto<sup>4</sup>  
Teknik Elektro  
Universitas Lampung  
Bandar Lampung, Indonesia  
E-mail : khairudin@eng.unila.ac.id

**Abstrak**— Sumber energi listrik di Indonesia menggunakan beberapa sumber pembangkit energi listrik yaitu bahan bakar fosil dan energi terbarukan. Dalam prosesnya, energi listrik dihasilkan melalui penggerak mula yang dikopelkan dengan generator untuk menghasilkan energi listrik. Micro steam turbine termasuk penggerak mula yang merupakan mesin tenaga atau mesin konversi energi dimana hasil konversi energinya dimanfaatkan mesin lain untuk menghasilkan daya. Micro steam turbine dikembangkan untuk proses pembangkitan daya karena faktor efisiensi dan tingkat harga yang rendah. Simulasi dilakukan dengan menggunakan pemodelan Simulink MATLAB R2018b. Simulasi dilakukan dengan membuat blok simulink microsteam turbine, blok transmisi dan blok infinite bus, lalu membuat skenario pada beban yang berbeda-beda, baik beban resistif, beban kompleks dan saat terkena gangguan. Dari beberapa simulasi yang dilakukan, baik saat percobaan jumlah beban yang berubah-ubah ataupun sistem kehilangan pembangkit, parameter sistem pembangkitan seperti frekuensi, daya aktif, daya reaktif, tegangan dan kuat arus sistem menggunakan inlet steam pressure 125 to 15 psig dengan kapasitas mesin 275 kW. Karakteristik frekuensi beban resistif menunjukkan frekuensi yang terukur bernilai 50,16 Hz pada waktu 5,027 detik dari frekuensi sebelumnya yang bernilai 50 Hz, lalu beresilasi selama 2,441 detik dan kemudian stabil pada waktu 7,468 detik dengan frekuensi kembali bernilai 50 Hz. Karakteristik daya aktif beban resistif menunjukkan penurunan nilai daya aktif dari sebelumnya 4,988 kW menjadi 0,2132 kW pada waktu 5,028 detik, lalu beresilasi selama 0,262 detik dan pada waktu 5,29 detik daya aktif berada dalam keadaan stabil kembali pada nilai 0,1378 kW. Karakteristik daya reaktif menunjukkan nilai 18,35 Var pada waktu 5,016 detik dan mengalami penurunan dengan nilai -404,9 Var dari yang sebelumnya bernilai 1,297 kVar, lalu beresilasi selama 0,357 detik dan kembali stabil pada nilai yakni -235,4 Var pada waktu 5,373 detik. Karakteristik tegangan pada waktu 5,005 detik, mengalami kenaikan tegangan sebesar 1,711 pu dan kemudian beresilasi selama 0,273 detik dan kembali berada pada kondisi stabil pada nilai tegangan sebesar 0,9998 pu pada waktu 5,278 detik. Karakteristik arus menunjukkan nilai arus sebesar 350,8 A pada waktu 5,009 detik, lalu beresilasi selama 0,399 detik dan berada dalam keadaan stabil pada waktu 5,408 detik dengan nilai 198,5 A.

**Kata kunci**—*Daya, Microsteam Turbine, Pembangkit, Pemodelan*

**Abstract**— Electrical energy in Indonesia use several sources of energy, namely fossil fuels and renewable energy. In the process, electrical energy is generated through a prime mover coupled to a generator. Micro steam turbine includes the prime mover which is a power engine or energy conversion engine where the results of the energy conversion are used by other machines to produce power. Micro steam turbine was developed for the power generation process because of the efficiency factor and low price level. Simulations were carried out using Simulink MATLAB R2018b modeling. Simulations was carried out by making simulink microsteam turbine blocks, transmission blocks and infinite bus blocks, then creating scenarios for different loads, both resistive loads, complex loads and when they were disturbed. From several simulations carried out, both experimenting with varying loads or system losses, the generation system parameters such as frequency, active power, reactive power, voltage and current strength of the system use an inlet steam pressure of 125 to 15 psig with an engine capacity of 275 kW. . The resistive load frequency characteristic showed that the measured frequency was 50.16 Hz at 5.027 seconds from the previous frequency of 50 Hz, then oscillated for 2.441 seconds and then stabilized at 7.468 seconds with a return frequency of 50 Hz. The resistive load active power characteristic showed a decrease in the active power value from 4.988 kW to 0.2132 kW at 5.028 seconds, then oscillated for 0.262 seconds and at 5.29 seconds the active power was in a stable state again at a value of 0.1378 kW. The reactive power characteristic showed a value of 18.35 Var at 5.016 seconds and has decreased by a value of -404.9 Var from the previous value of 1.297 kVar, then oscillated for 0.357 seconds and stabilized at a value of -235.4 Var at a time of 5.373 seconds. Characteristics of the voltage at a time of 5.005 seconds, the voltage

increased by 1.711 pu and then oscillated for 0.273 seconds and returns to a stable condition at a voltage value of 0.9998 pu at a time of 5.278 seconds. The current characteristic showed a current value of 350.8 A at 5.009 seconds, then oscillated for 0.399 seconds and was in a stable state at 5.408 seconds with a value of 198.5 A.

**Keywords—Power, Microsteam turbine, generator, modelling**

## I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan suatu kebutuhan yang sangat penting untuk menunjang kegiatan sehari-hari. Dalam prosesnya, energi listrik dihasilkan melalui penggerak mula yang dikopelkan dengan generator untuk menghasilkan energi listrik [1]. Pengaruh dari sistem kontrol pada pembangkit yang memiliki struktur micro steam turbine yang kompleks belum dimodelkan dengan pemodelan dinamik yang mampu meniru karakteristik micro steam turbine. Maka dari itu, pengembangan model analisis terhadap kondisi micro steam turbine dalam sistem pembangkitan perlu dilakukan [2]. Pemodelan yang dapat digunakan untuk mengetahui simulasi kondisi pembangkit secara real time dapat diketahui melalui Simulink Matlab. Penulis melakukan penelitian ini dengan menggunakan pemodelan Simulink MATLAB R2018b. Dalam banyak kasus pemodelan micro steam turbine, teknik identifikasi yang digunakan untuk mengembangkan model dinamik yakni berdasarkan pada pengukuran data yang terukur dari performansi sistem secara real dari aplikasi pembangkit tenaga listrik. Penggambaran sistem yang baik yakni saat dalam kondisi operasi yang spesifik. Namun, dalam sistem yang sangat besar yang terdiri dari pembangkit tenaga listrik, ketika terjadi kontrol redaman pada sistem yang berjalan pada kondisi operasi beban normal maka sistem dapat mendeteksi situasi bahaya [3].

## II. STUDI PUSTAKA

### A. Micro Steam Turbine

*Micro steam Turbine* merupakan turbin uap skala mikro yang diaplikasikan dalam pembangkit tenaga uap skala mikro dan merupakan *prime mover* yang dikopel dengan generator serta akan diaplikasikan dalam sistem mikrogrid sebagai *distributed generation* (pembangkit tersebar) dengan bahan bakar biomassa [4]. Gambar 1 menunjukkan mesin *micro steam turbine*.

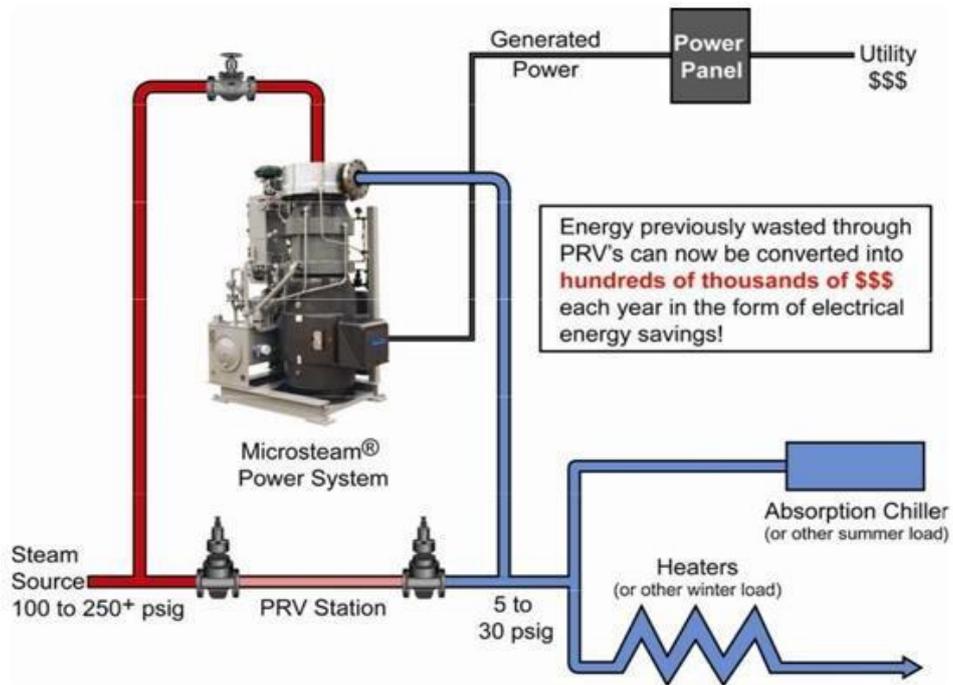


Gambar 1. Mesin micro steam turbine [1]

### B. Diagram Sistem Tenaga Micro Steam

Pada Gambar 2 merupakan instalasi sistem tenaga tipe *microsteam*. Sistem tenaga *microsteam* yang dievaluasi di laboratorium uji UTRC dianalisis untuk keamanan, keandalan, dan kinerja. Pengujian menyimpulkan bahwa efisiensi maksimum 80% dapat dicapai[6]. Simulasi pengujian laboratorium lanjut kemudian menunjukkan bahwa masa pakai 15 tahun dapat diantisipasi.

Penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan pemodelan microsteam turbine yang dilakukan oleh Mircea, Dorin Bica, pada tahun 2013 dari Department of Electrical and Computer Engineering, University of Tigru Mures, yang mensimulasikan sistem pengontrolan kecepatan pada turbin uap menggunakan pengendali P dan PI terhadap perubahan beban[2]. Penelitian lain yang berkaitan dilakukan oleh Mircea, Dorin Bica, pada tahun 2013 dari Department of Electrical and Computer Engineering, University of Tigru Mures, yang mensimulasikan pemodelan matematis dari tiap komponen pembangkitan pada turbin uap untuk mengetahui karakteristik turbin uap sehingga dapat digunakan untuk mengatur torsi dan kecepatan turbin uap melalui pembukaan pada reheater valve dan highpass valve[3]. Penelitian lain dilakukan oleh Ali Chaibakhsh, Ali Ghaffari, pada tahun 2008 dari Toosi University of Technology, yang membuat pemodelan turbin uap untuk mengatur laju aliran uap terhadap waktu yang seefisien mungkin, sekaligus pengaturan daya output terhadap kondisi entrophy dan tekanan uap[4].



Gambar 2. Diagram sistem tenaga tipe micro steam [3]

### III. METODOLOGI PENELITIAN

Perangkat lunak MATLAB R2018b sebagai perangkat lunak utama digunakan untuk perancangan dan perhitungan sebagai alat bantu simulasi dan pemodelan dinamik. Data-data spesifikasi mesin *micro steam turbine* digunakan untuk merepresentasikan sistem *real* untuk meniru karakteristik dari mesin *micro steam turbine*. Pembuatan model dimulai dengan mempelajari dan mengumpulkan literatur mengenai pemodelan dan simulasi terkait karakteristik respon pembangkit terhadap pembebanan yang berbeda-beda. Kemudian, mengetahui perencanaan pembuatan sistem yang diusulkan sesuai dengan komponen yang digunakan pada Simulink Matlab dan sesuai dengan tujuan penelitian. Lalu, menganalisis data respon tegangan dan frekuensi pada sistem pembangkitan dengan penggerak mula *microsteam turbine* dengan Simulink Matlab.

#### A. Singkatan dan Akronim

Beberapa singkatan dan akronim yang digunakan dalam penulisan artikel ini dapat dituliskan sebagai berikut:

- PRV = *Pressure Reducing Valve*
- bhp = *Break Horse Power*
- PID = *Proportional-Integral-Derivative*
- GHz = Giga Hertz

#### B. Satuan

Beberapa satuan yang digunakan dalam penulisan artikel ini adalah sebagai berikut:

- Hz = Hertz
- Lb = Pound
- hr = Hour
- kWe = kilo Watt elektrik
- in. (W) = inch (Width)
- in. (L) = inch (Length)
- in. (H) = inch (Height)
- dbA = desibel dalam kelas A
- kW = kilo Watt

- kg = kilogram
- s = secon
- kkal = kilo kalori

### C. Persamaan-persamaan

Beberapa persamaan yang digunakan dalam penulisan artikel ini adalah sebagai berikut:

Pada persamaan (1) berikut merepresentasikan persamaan untuk aliran uap pada *micro steam turbine*, dimana:

- $dW$  = perubahan berat uap (kg)
- $dt$  = perbahan waktu (s)
- $V$  = volume uap ( $m^3$ )
- $d\rho$  = perubahan kerapatan uap ( $kg/m^3$ )
- $F_{in}(t)$  = aliran massa uap masuk (kg/s)
- $F_{out}(t)$  = aliran massa uap keluar (kg/s)

$$\frac{dW}{dt} = V \frac{d\rho}{dt} = F_{in}(t) - F_{out}(t) \quad (1)$$

Pada persamaan (2) berikut merepresentasikan persamaan daya internal turbin, dimana:

- $P_{in}$  = Daya internal turbin (W)
- $G_o$  = Laju aliran massa uap (kg/s)
- $H_i$  = Penurunan panas (*heat drop*) pada turbin (kkal/kg)

$$P_{in} = G_o \cdot H_i \quad (2)$$

Pada persamaan 3 berikut merepresentasikan persamaan daya efektif turbin, dimana:

- $P_{eff}$  = Daya efektif (W)
- $T$  = Momen torsi (kg.m)
- $\omega$  = kecepatan sudut (rad/s)
- $n$  = putaran poros (rpm)

$$P_{eff} = T \cdot \omega \quad (3)$$

Pada persamaan 4 berikut merepresentasikan persamaan karakteristik *micro steam turbine*, dimana:

- $y$  = fungsi karakteristik *micro steam turbine*
- $F$  = fungsi empiris *micro steam turbine*
- $x_1, x_2$  = variabel karakteristik *micro steam turbine*

$$y = F(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (4)$$

Pada persamaan 5 berikut merepresentasikan persamaan subsistem *voltage regulator*, dimana:

- $V_{fd}$  = Tegangan medan (V)
- $K_e$  = Gain
- $T_e$  = Waktu konstan (s)

$$\frac{V_{fd}}{ef} = \frac{1}{K_e + sT_e} \quad (5)$$

Pada persamaan 6 berikut merepresentasikan persamaan *low pass filter*, dimana:

- $s$  = fungsi Laplace

$$\frac{1}{0,02s+1} \tag{6}$$

Pada persamaan 7 berikut merepresentasikan persamaan *lead lag compensator*:

$$\frac{1}{1} \tag{7}$$

Pada persamaan 8 berikut merepresentasikan persamaan *main regulator*:

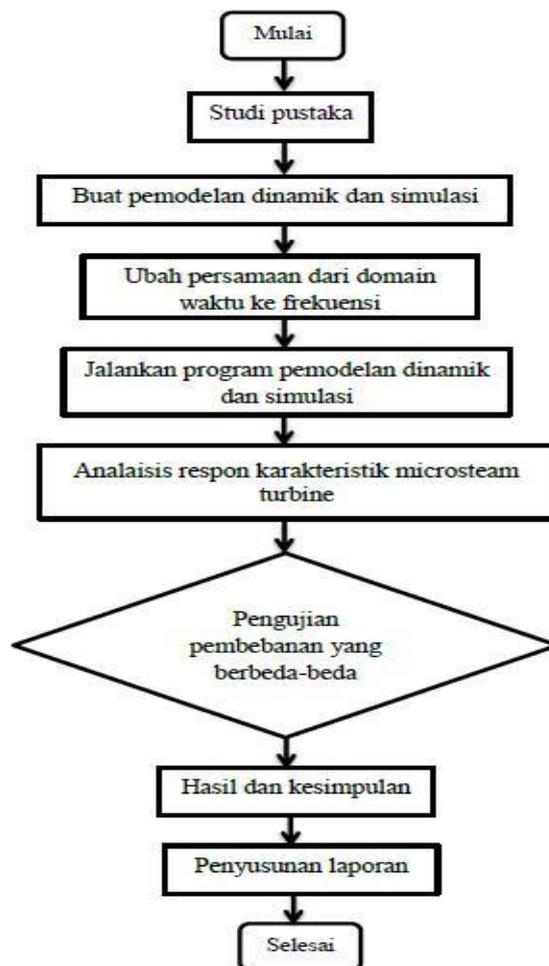
$$\frac{300}{0,001s+1} \tag{8}$$

Pada persamaan 9 berikut merepresentasikan persamaan *damping*:

$$\frac{0,001s}{0,1s+1} \tag{9}$$

*D. Diagram alir penelitian*

Penyelesaian tugas akhir dilakukan dalam beberapa tahap, untuk mempermudah pelaksanaan tersebut diperlukan diagram alir tugas akhir seperti pada Gambar 3 berikut.

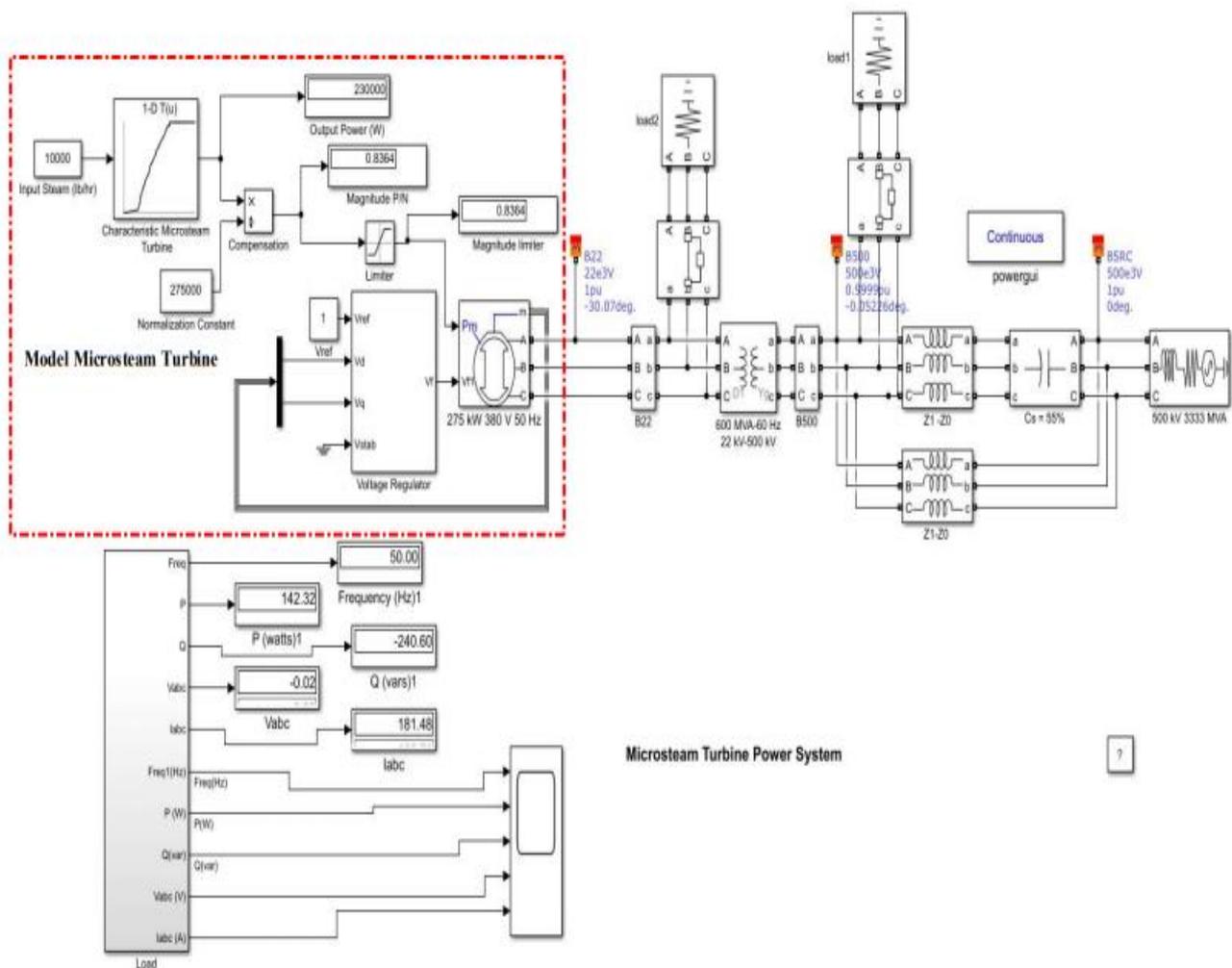


Gambar 3. Diagram alir penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. *Pemodelan Dinamik Micro Steam Turbine dengan Beban Resistif*

*Microsteam turbine* yang ditinjau dan diteliti dalam studi ini memiliki kapasitas maksimum sebesar 275 kW, tegangan 380 V, dan frekuensi 50 Hz. Dalam pemodelan dinamik yang dilakukan dengan memberikan input laju aliran uap sebesar 10000 lb/hr dengan tiga *inlet steam pressure* yakni 125 to 15 psig, 150 to 30 psig, dan 200 to 60 psig dengan total beban 1 MW untuk percobaan beban resistif murni serta 0.4 + 0.24 MVAR untuk percobaan beban RLC, beban dipasang sebagai beban konstan impedan. Input laju aliran uap diatur secara *fixed* sehingga akan menghasilkan daya keluaran yang dapat dikontrol untuk merespon perubahan beban dengan menggunakan waktu simulasi selama 10 detik dan beberapa skenario tersebut yaitu dengan menginputkan *steam load* sebesar 10000 lb/hr dengan *inlet steam pressure* 125 to 15 psig, *inlet steam pressure* 150 to 30 psig dan *inlet steam pressure* 200 to 60 psig terhadap beban resistif dan beban kompleks, mekanisme *load shedding*, dan mekanisme saat terjadi gangguan tiga fasa, sehingga respon *microsteam turbine* dapat dianalisis. Gambar 4 menunjukkan pemodelan dinamik micro steam turbine dengan inlet steam pressure 125 to 15 psig.

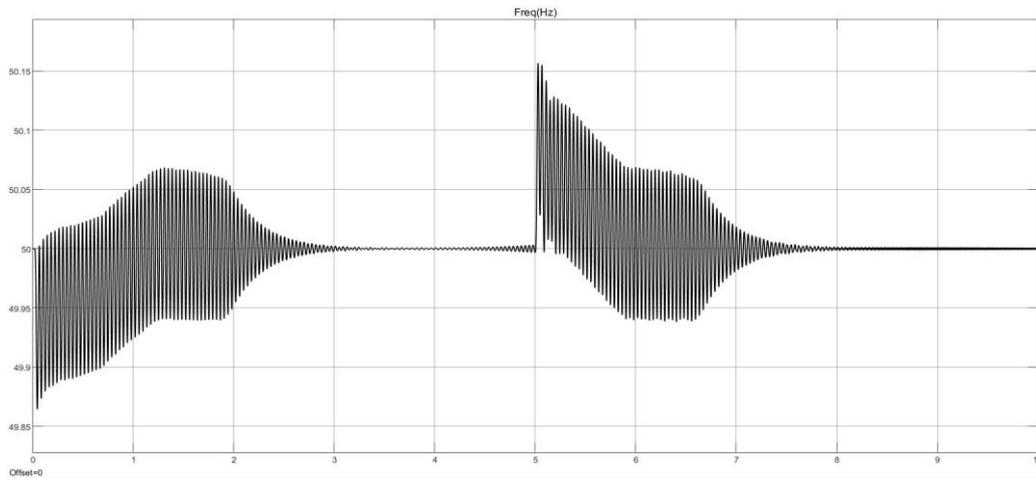


Gambar 4. Pemodelan dinamik *micro steam turbine* dengan *inlet steam pressure* 125 to 15 psig

B. *Hasil simulasi Pemodelan Dinamik Micro Steam Turbine*

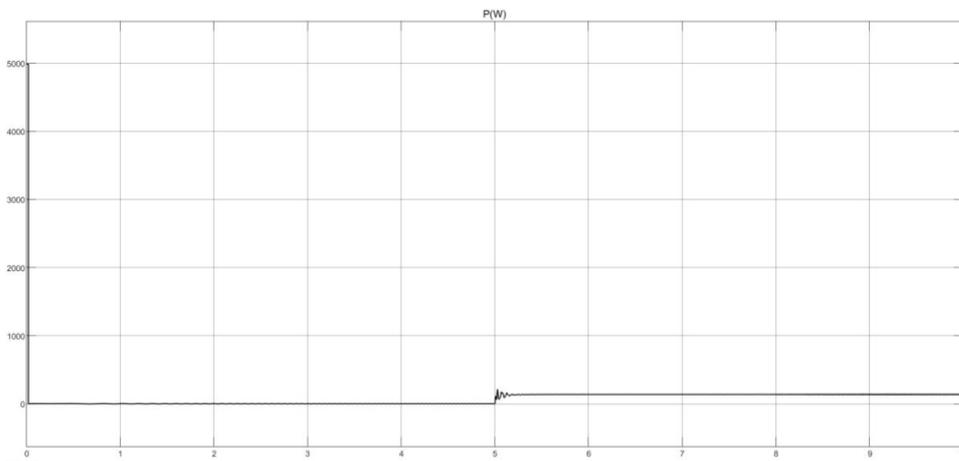
Hasil simulasi pemodelan dinamik dari *micro steam turbine* untuk frekuensi sistem, daya aktif, daya reaktif, tegangan dan arus dapat dilihat pada Gambar 5, 6, 7, 8, dan 9.

1) *Frekuensi sistem*



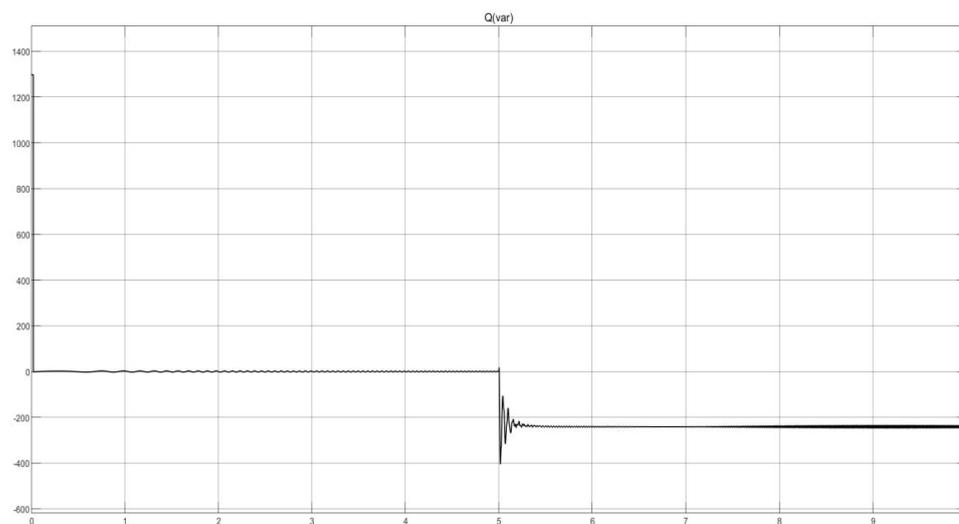
Gambar 5. Karakteristik frekuensi beban resistif dengan *inlet steam pressure* 125 to 15 psig

2) *Daya aktif*



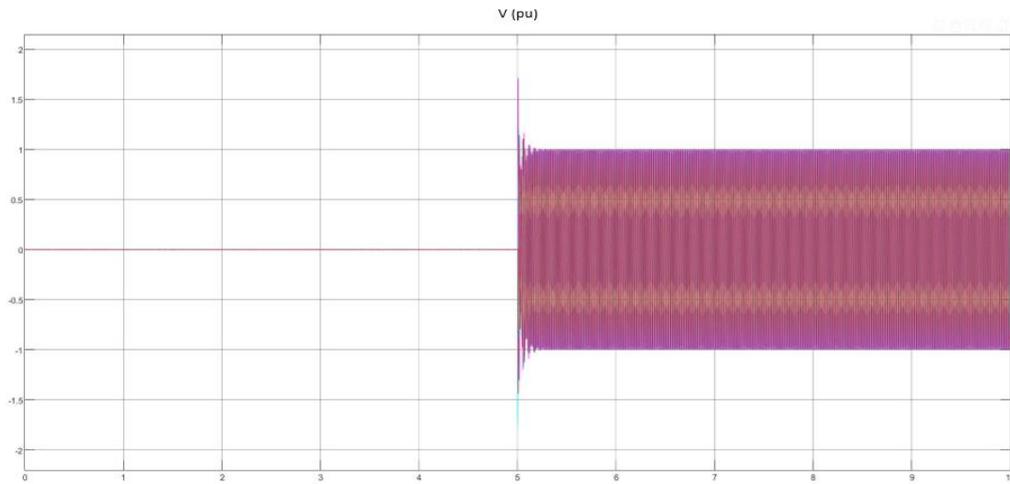
Gambar 6. Karakteristik daya aktif beban resistif dengan *inlet steam pressure* 125 to 15 psig

3) *Daya reaktif*



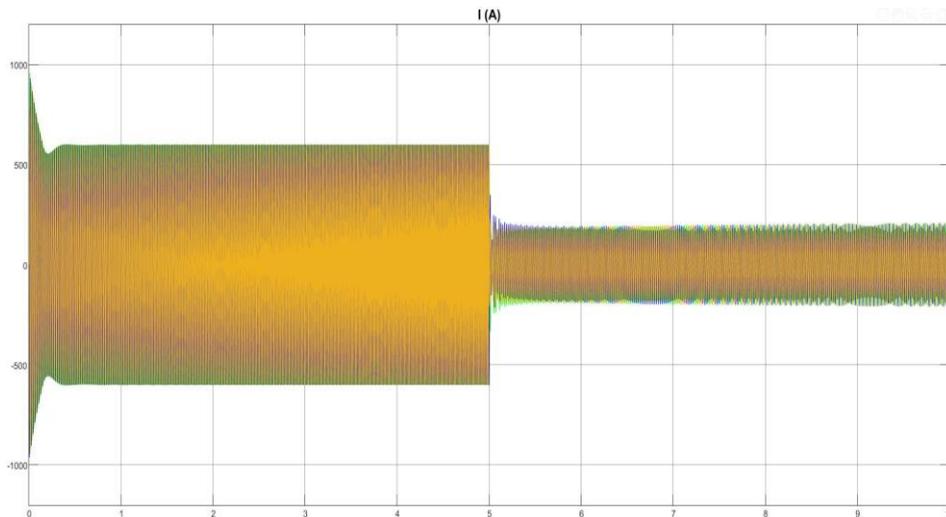
Gambar 7. Karakteristik beban resistif dengan *inlet steam pressure* 125 to 15 psig

4) Tegangan



Gambar 8. Karakteristik tegangan beban resistif dengan inlet steam pressure 125 to 15 psig

5) Arus



Gambar 9. Karakteristik tegangan beban resistif dengan inlet steam pressure 125 to 15 psig

C. Analisa

Pada sistem yang menggunakan beban resistif dengan jumlah total beban 1 MW, menunjukkan karakteristik beban resistif dengan inlet steam pressure 125 to 15 psig dan diberikan input laju aliran uap sebesar 10000 lb/hr menghasilkan daya output sebesar 230 kW dan menunjukkan frekuensi yang terukur bernilai 50,16 Hz pada waktu 5,027 detik dari frekuensi sebelumnya yang bernilai 50 Hz, lalu beresilasi selama 2,441 detik dan kemudian stabil pada waktu 7,468 detik dengan frekuensi kembali bernilai 50 Hz. Daya aktif (P) kondisi sistem dengan semua beban bersifat resistif, menunjukkan penurunan nilai daya aktif dari sebelumnya 4,988 kW menjadi 0,2132 kW pada waktu 5,028 detik, lalu beresilasi selama 0,262 detik dan pada waktu 5,29 detik daya aktif berada dalam keadaan stabil kembali pada nilai 0,1378 kW seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.17. Pada karakteristik daya reaktif menunjukkan kondisi daya reaktif (Q) menunjukkan nilai 18,35 Var pada waktu 5,016 detik dan mengalami penurunan dengan nilai 404,9 Var dari yang sebelumnya bernilai 1,297 kVar, lalu beresilasi selama 0,357 detik dan kembali stabil pada nilai yakni -235,4 Var pada waktu 5,373 detik. Lalu, tegangan mengalami kenaikan sebesar 1,711 pu dan kemudian beresilasi selama 0,273 detik dan kembali berada pada kondisi stabil pada nilai tegangan sebesar 0,9998 pu pada waktu 5,278 detik. Kondisi menunjukkan nilai arus sebesar 350,8 A pada waktu 5,009 detik, lalu beresilasi selama 0,399 detik dan berada dalam keadaan stabil pada waktu 5,408 detik dengan nilai 198,5 A.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan, kecepatan respon *micro steam turbine* dapat dikontrol dengan mengatur pada aliran massa uap yang dialirkan ke turbin setelah mendapatkan perintah dari governor dalam mengontrol *positioning valve* dan didapatkan hasil bahwa *lookup table* dapat dimodelkan sebagai *microsteam turbine* yang merupakan karakteristik dari *microsteam turbine* termasuk kinerja dan performansinya dalam mengatur laju aliran uap.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A.Al-Hinai, A. Feliachi., "Dynamic Model of a microturbine used as a distributed Generator," in Proc. 341h Southeastern Symposium on sistem Theory, pp. 209-2013, 2002
- [2] A. Malmquist, O. Aglen, E. Keller, M. Suter, dan J. Wickstrom., "Microturbines: Speeding the shift to distributed heat and power," ABB Review, no. 3, pp. 22-30, Mar. 2000.
- [3] A.M. Borbely dan JF. Kreider, Distributed generation-The PowerParadigmforthe New Millennium, CRC Press, 2001.
- [4] CM. Ong, Dynamic Simulation of Electric Machinery, Prentice Hall, 1998
- [5] S.K. Nayak, D.N. Gaonkar, "Modeling and performance analysis of microturbine generation system in Grid Connected/Islanding operation," International journal of renewable energy research, Vol.2, No.4, 2012.