

PEMBUATAN SIMULATOR TURBIN UAP BERBASIS LOGIKA FUZZY

FABRICATION OF STEAM TURBINE SIMULATOR BASED ON FUZZY LOGIC

Syukri Yusuf Nasution

Pusat Inovasi-LIPI
Jln. Gatot Subroto No 10 Jakarta
e-mail: syukri@inovasi.lipi.go.id

ABSTRACT

A steam turbine simulator has built successfully. This simulator has 2 types, hardware and software simulator. For the hardware simulator, the pressure input can be simulated until 8 bar. While for the software simulator has 2 specifications those are off-line mode and on-line mode. For off-line mode, this software given numbers as input, and then the numbers simulated according to the formulas. For on-line mode, interface method used to read and control the system hardware directly. The result of on-line mode displayed in real-time graphic. All systems using fuzzy logic as artificial intelligent.

Keywords: Turbine simulator, Hardware simulator, Software simulator, Fuzzy logic

ABSTRAK

Simulator turbin uap telah berhasil dibuat. Simulator ini terdiri atas dua tipe, simulator perangkat keras dan perangkat lunak. Untuk simulator perangkat keras, input tekanan bisa disimulasikan hingga 8 bar. Adapun untuk simulator perangkat lunak memiliki dua spesifikasi yaitu mode off-line dan mode on-line. Untuk mode off-line, perangkat lunak diberikan angka sebagai input, kemudian angka-angka tersebut disimulasikan berdasarkan rumus-rumus. Untuk mode on-line, metode interface digunakan untuk membaca dan mengendalikan sistem perangkat keras secara langsung. Hasil dari mode on-line ditampilkan langsung dalam bentuk grafik. Semua sistem menggunakan logika fuzzy sebagai kecerdasan buaatannya.

Kata kunci: Simulator turbin, Simulator perangkat keras, Simulator perangkat lunak, Logika fuzzy

PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) saat ini masih menjadi salah satu penghasil energi listrik terbesar di Indonesia. Pembangkit energi listrik ini memanfaatkan uap yang dihasilkan dari pemanasan air dan kemudian digunakan untuk memutar turbin. Turbin selanjutnya dihubungkan dengan generator yang akhirnya menghasilkan listrik. Dalam hal perancangan untuk pengadaan PLTU ini, sangat dibutuhkan kemampuan dan ketelitian yang baik agar tidak terjadi kesalahan-kesalahan yang tidak diinginkan. Namun, seiring dengan perkembangan informasi dan teknologi

saat ini, hal tersebut dapat diantisipasi dengan membuat simulator baik yang bersifat *hardware* (perangkat keras) maupun *software* (perangkat lunak). Dengan adanya simulator tersebut, dapat diantisipasi hal-hal yang tidak diinginkan yang mungkin terjadi.

Selanjutnya untuk perancangan simulator yang bersifat *software* akan lebih banyak memberikan keuntungan tersendiri, selain dapat diinstalasi pada komputer, simulator yang bersifat perangkat lunak ini juga memiliki keuntungan, di antaranya mudah dikendalikan, lebih murah, dan mudah dalam menginstalasinya.

Dalam pelaksanaannya, pembuatan simulasi *software* ini memanfaatkan bahasa pemrograman *Visual Basic* versi 6.0. Metode pengendalian yang digunakan adalah metode *Fuzzy* dengan parameter yang dikendalikan adalah putaran turbin. Di mana turbin tersebut diberikan penambahan dan pengurangan beban. Perubahan perlakuan tersebut harapannya tidak mengubah besarnya daya yang dikeluarkan sehingga diperlukan pengendalian putaran turbin tersebut dengan mengatur bukaan katup yang akhirnya mengatur aliran uap dan besarnya daya yang dibutuhkan untuk pemanasan air. Adapun jenis turbin yang dikendalikan adalah turbin uap radial.

TEORI

Teori himpunan *fuzzy* pertama kali diperkenalkan oleh Prof. Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965, di mana logika ini berdasarkan kepada fenomena-fenomena alam yang serba tidak tepat dan samar ditinjau dari cara berfikir manusia. Asumsinya yaitu bahwa pada kenyataannya tidak ada suatu kondisi atau pernyataan yang tepat 100% benar atau 100% salah.¹ Dalam menentukan nilai kebenaran dan salah tersebut digunakan derajat keanggotaan. Derajat keanggotaan yang digunakan yaitu antara 0–1.

Di dalam aplikasinya, logika *fuzzy* memiliki keuntungan yaitu logika yang digunakan melakukan pendekatan *rules* atau peraturan-peraturan yang dibuat sendiri yang dianggap memiliki hasil yang lebih baik setelah melakukan percobaan berulang kali dengan peraturan yang berbeda-beda. Selain itu, tidak diperlukannya rumus-rumus yang rumit seperti pendekatan yang dilakukan oleh pengendali lainnya (metode PID misalnya)¹.

Di samping penggunaan *fuzzy* sebagai logika pengendalinya, perhitungan turbin sebagai variabel yang dikendalikan juga menjadi hal yang perlu diperhatikan.

Berikut adalah rumus-rumus yang digunakan dan dikembangkan:

$$\eta_{turbin} = \frac{h_g(p_n) - h_g(p_{out})}{h_g(p_n) - h_{2s}} \quad (1)$$

dengan h_{2s} merupakan nilai enthalpi pada kondisi entropi yang sama.

$$h_{2s} = h_f(p_{out}) + x_{2s} \cdot h_g(p_{out}) \quad (2)$$

dengan nilai x_{2s} merupakan nilai fraksi yang diperoleh dengan persamaan:

$$x_{2s} = \frac{s_g(p_n) - s_f(p_{out})}{s_g(p_{out})} \quad (3)$$

Adapun persamaan untuk menghitung putaran turbin, yaitu

$$\omega_{turbin} = \frac{1}{R} \sqrt{2 \cdot \eta_{turbin} (h_g(p_n) - h_g(p_{lingkungan}))} \quad (4)$$

Untuk persamaan putaran turbin dengan beban, yaitu

$$\omega_{turbin} = \frac{1}{R} \sqrt{2 \cdot \eta_{turbin} (h_g(p_n) - h_g(p_{lingkungan}))} - \sqrt{\frac{2g}{R_{turbin}}} - \frac{M_{beban} \cdot g}{(M_{beban} + 1/2 m_{pul}) R_{pul}} \quad (5)$$

Perhitungan daya turbinnya adalah

$$P_{turbin} = \eta_{turbin} \cdot w_{turbin} \quad (6)$$

dengan kerja turbin:

$$w = \dot{m}(h_1 - h_2) \quad (7)$$

Untuk perhitungan laju massa:

$$\dot{m} = \sqrt[1.8]{\frac{\Delta P}{K}} \quad (8)$$

dengan konstanta K:

$$K = \frac{0,184}{2\rho A^{1.8}} \left(\mu_L / D \right)^{0.2} \left(\frac{L}{D} + 1 \right) \quad (9)$$

dan perubahan tekanan:

$$\Delta P = \frac{0,184}{2\rho A^{1.8}} \left(\mu_L A / \dot{m} D \right)^{0.2} \dot{m}^{1.8} \left(\frac{L}{D} + 1 \right) \quad (10)$$

Perhitungan untuk tekanan pada katup, yaitu

$$P = P_{setpoint} - (P - 2) \quad (11)$$

Pada penghitungan tekanan katup, terdapat variabel (P-2) dikarenakan sistem baru akan

menghasilkan uap pada tekanan 2 bar. Artinya, katup tidak akan terbuka sebelum tekanan pada *heater* mencapai 2 bar.

Untuk menghitung debit aliran air menggunakan persamaan:

$$Q_{\text{debit}} = v \cdot A \quad (12)$$

dengan: $A = \text{luas pipa} = \pi D_{\text{pipa}}^2 / 4$

Persamaan kecepatan alirannya adalah

$$v = \frac{\mu_L \cdot \text{bil.Reynold}}{\rho_{\text{uap}} \cdot D_{\text{pipa}}} \quad (13)$$

Untuk waktu *start-up*:

$$t = \frac{Q_{\text{evap}}}{H} \quad (14)$$

PEMBUATAN SISTEM SOFTWARE DAN HARDWARE

Alur yang dilakukan dalam penelitian ini, yaitu pembuatan sistem *hardware*, pembuatan sistem *software*, pembuatan sistem HMI, dan perancangan sistem kendali *fuzzy*. Untuk pembuatan sistem *hardware*, terdiri atas pemanas buatan (bertekanan hingga 8 bar), pipa penyambung, sensor pengukur suhu, pembuatan turbin, sistem pengatur katup dengan memanfaatkan *microcontroller* AT8535 yang dihubungkan ke motor untuk penggerak katup, dan pembacaan putaran turbin yang dihubungkan kembali ke *microcontroller* AT8535. Pada Gambar 1 menunjukkan sistem *hardware* yang dibangun.

Air mula-mula dipanaskan dan kemudian dibaca seberapa besar tekanan dan suhu yang dihasilkan. Hasil dari pemanasan air tersebut, akan menghasilkan uap bertekanan yang kemudian dilanjutkan ke turbin. Sebelum memasuki turbin

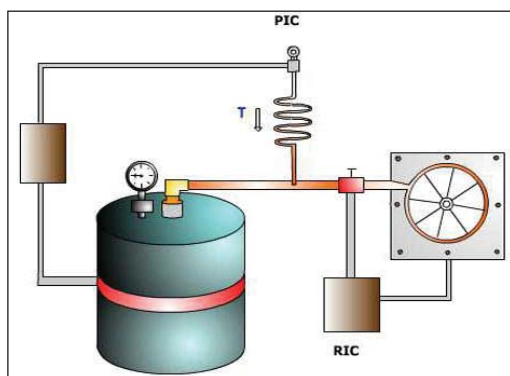
terdapat *Rotate Indicating Control* (RIC) yang membantu untuk mengetahui putaran turbin yang dihasilkan sehingga dapat diambil langkah kendali untuk katup. Adapun *Pressure Indicating Control* (PIC) yaitu digunakan sebagai bahan rujukan untuk pengendalian daya yang dibutuhkan oleh *heater*. Namun, untuk mencapai PIC, suhu harus didinginkan terlebih dahulu dengan memberikan lengkungan-lengkungan pada pipa. Tujuannya adalah untuk mencegah kerusakan pada sensor tekanan yang dipasang.

Selanjutnya adalah pembuatan *software*. *Software* yang dibangun terdiri atas dua mode, yaitu mode *off-line* dan mode *on-line*. Untuk mode *off-line*, *software* tidak perlu dihubungkan dengan perangkat *hardware*. Tipe ini hanya memanfaatkan rumus-rumus yang ada dan merupakan penunjukan secara teori. *Software* yang dibangun memiliki *input* sebanyak delapan variabel dan memiliki 19 variabel *output*.

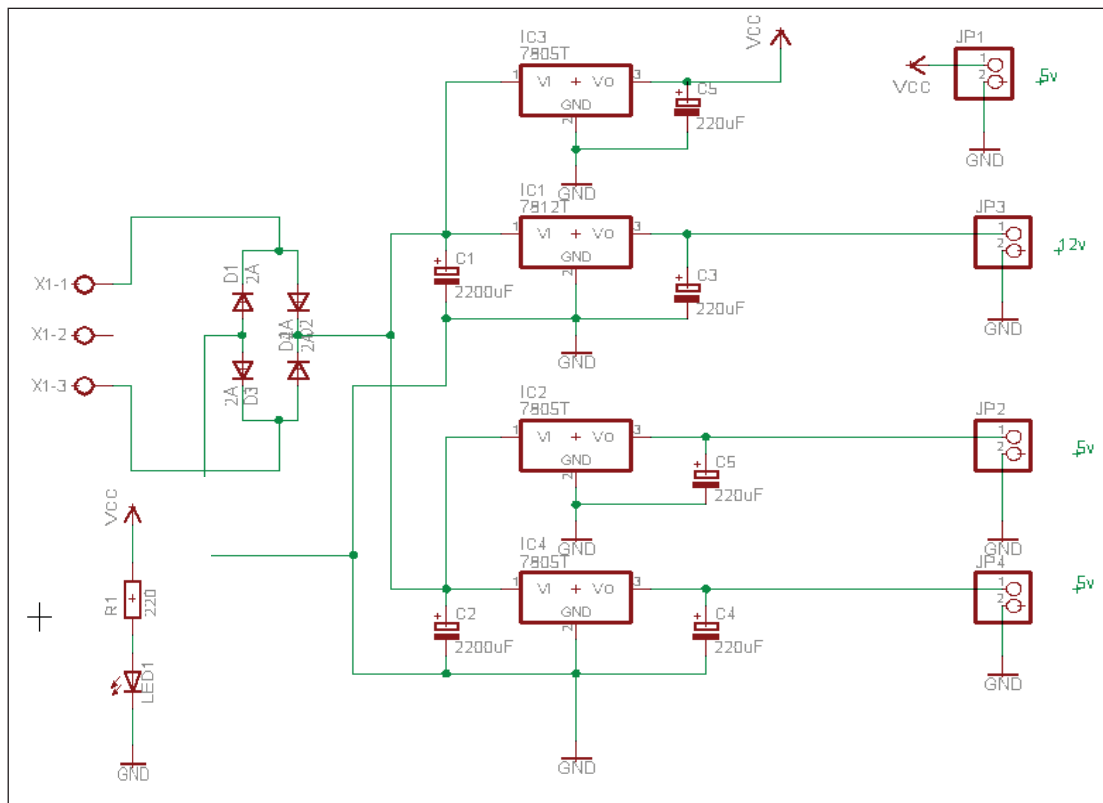
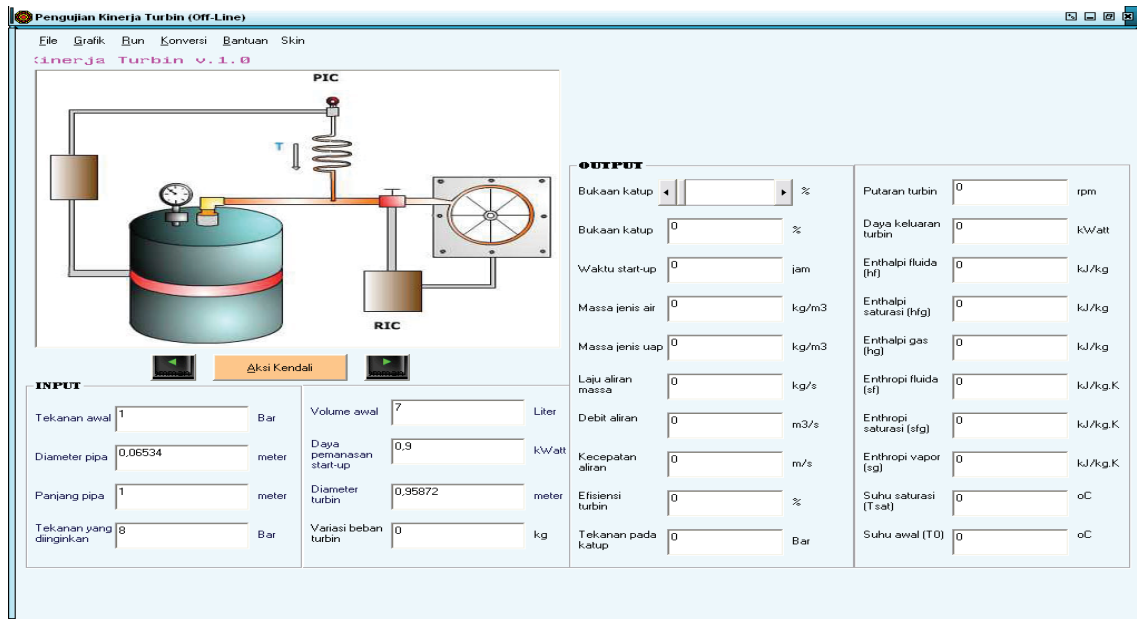
Untuk variabel *input* yang harus diisi, yaitu tekanan awal, tekanan yang diinginkan, panjang pipa, diameter pipa, diameter turbin, kecepatan awal, variasi beban, dan daya pemanas. Adapun variabel *output*nya adalah debit aliran, kecepatan aliran, tekanan katup, entalpi uap, entropi uap, putaran turbin, efisiensi turbin, entalpi fluida, entalpi saturasi, suhu saturasi, massa jenis air, waktu *start-up*, daya turbin, entropi fluida, entropi saturasi, suhu awal, massa jenis uap, dan laju massa.

Selain mode *off-line*, *software* yang dibuat juga memiliki mode *on-line*. Untuk mode ini *software* harus dihubungkan dengan *hardware* dengan metode *Human Machine Interface* (HMI). Mode *on-line* ini dapat digunakan untuk membaca hasil keluaran dari *hardware* dan melakukan pengendalian terhadap *hardware* itu sendiri.

Sistem *software* pada Gambar 2 ini memiliki cara kerja yaitu ketika *input* yang diinginkan telah dimasukkan, maka akan dilakukan pemeriksaan terhadap beban pada turbin terlebih dahulu. Setelah beban diketahui, aksi kendali akan memberikan respon kepada kendali katup, daya pemanas, PIC, dan RIC. Begitu beban dirubah kembali, maka iterasi akan berulang ke awal, begitu seterusnya hingga daya yang dihasilkan tetap stabil. Dalam hal ini perlu diperhatikan waktu *start-up* sebagai pemanas awal.

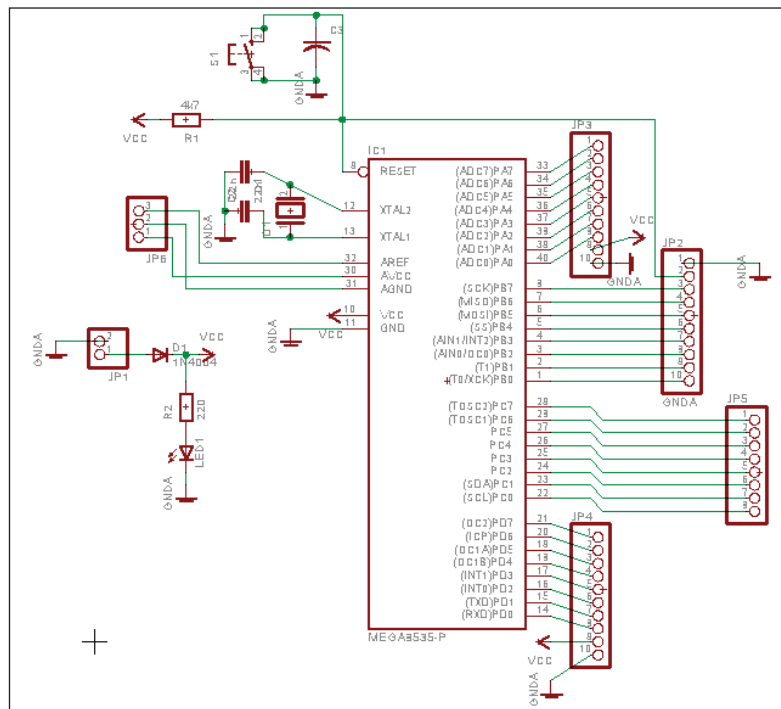


Gambar 1. Sistem Hardware yang Dibangun

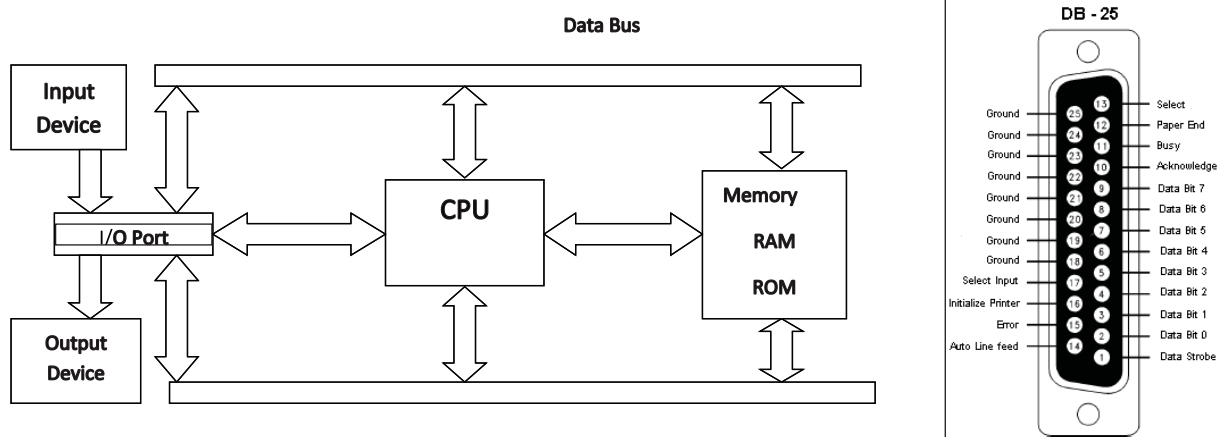


Setelah sistem *software* dan *hardware* dibangun, langkah berikutnya adalah pembuatan sistem kendali dengan menggunakan *microcontroller* AT8535. Pada Gambar 3 dan Gambar 4 menunjukkan catu daya dan penggunaan kaki-kaki IC AT8535.

Pada Gambar 3, 4 dioda disusun dan digunakan sebagai penyearah. IC 7805T berfungsi untuk membentuk keluaran menjadi 5V dan IC 7812T berfungsi untuk membentuk keluaran menjadi 12V.



Gambar 4. Penggunaan Kaki-kaki IC AT8535



Gambar 5. Sistem I/O pada Komputer (kiri) dan Port Paralel (kanan)²

Pada Gambar 4 ditunjukkan penggunaan kaki-kaki IC *microcontroller* yaitu dengan memanfaatkan kaki PA0-PA7 dan PB0-PB7 sebagai *input* putaran turbin dan pembacaan tekanan. Sementara itu, PC0-PC7 dan PD0-PD7 sebagai *output* yang digunakan sebagai referensi alat untuk melakukan aksi kendali.

Selanjutnya yang dilakukan adalah pembuatan sistem I/O ditunjukkan pada Gambar 5.

Pada Gambar 5 sistem I/O yang digunakan adalah dengan memanfaatkan *port* paralel. Di dalam pelaksanaannya, untuk pengaksesan I/O

diperlukan *setting Basic Input Output Systems* (BIOS). Beberapa jenis *port* paralel yang berbeda juga dapat dikombinasikan dalam satu modus. Terdapat beberapa pilihan yang disediakan oleh BIOS, yaitu *Printer mode* (disebut juga *Default* atau *Normal mode*), *Standard* dan *Bi-directional* (SPP) mode, EPP dan SPP mode, ECP mode, dan ECP dan EPP mode.² Untuk sistem I/O yang dikembangkan menggunakan mode SPP dikarenakan *port* paralel bukan hanya menerima *input* dari *hardware* (berupa pembacaan secara

langsung) namun juga memberikan *input* pada *hardware* untuk aksi kendali (bersifat dua arah).

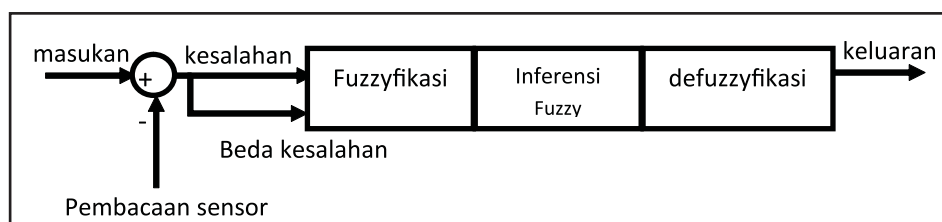
Di dalam pemrograman pada *Visual Basic* 6.0, perlu juga adanya pengaturan untuk sistem I/O yaitu dengan menambahkan program eksternal yang disebut dengan *Dynamic Link Library* (DLL)³. *Dynamic Link Library* ini berfungsi untuk membantu program yang telah dibangun pada *visual basic* untuk mengenali *input* yang berasal dari *port* paralel. *Dynamic Link Library* yang digunakan adalah *Inpout32.DLL*.

Langkah terakhir adalah penerapan logika *fuzzy* sebagai pengendali. Dalam penggunaannya *fuzzy* memiliki tiga tahapan sebagaimana yang

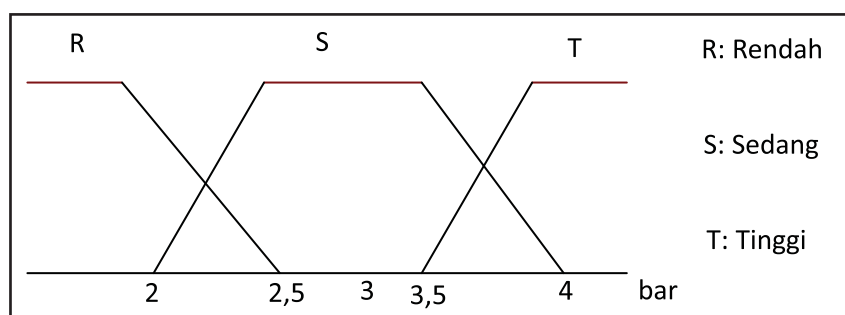
digambarkan pada Gambar 6. Prosesnya adalah *fuzzyfikasi*, evaluasi peraturan, dan *defuzzyfikasi*.⁴

Fuzzyfikasi merupakan proses pemetaan nilai-nilai *input* (*crisp input*) yang berasal dari sistem yang dikontrol (besaran non *fuzzy*) ke dalam himpunan *fuzzy* menurut fungsi keanggotaannya. Adapun inferensi *fuzzy* atau *rule evaluation* adalah proses penghubungan antara nilai-nilai *input* (*crisp input*) dan nilai-nilai *output* (*crisp output*) dengan aturan-aturan yang dikehendaki. *Defuzzyfikasi* adalah proses pemetaan bagi nilai-nilai *fuzzy output* yang dihasilkan pada tahap *rules evaluation* ke nilai-nilai *output* kuantitatif yang sesuai dengan sistem yang diharapkan.

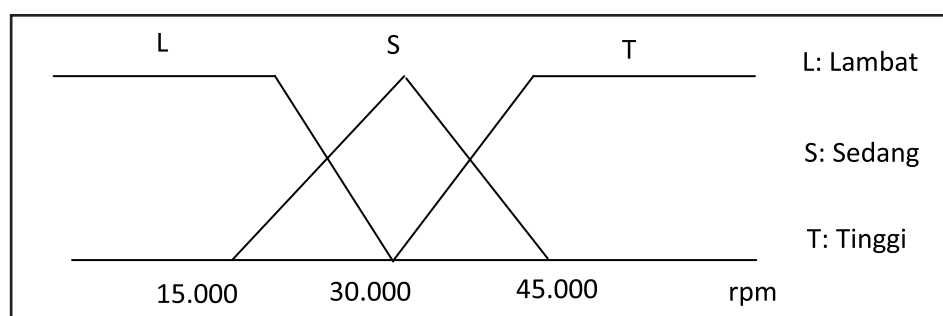
Berikut adalah aturan-aturan yang dibangun:



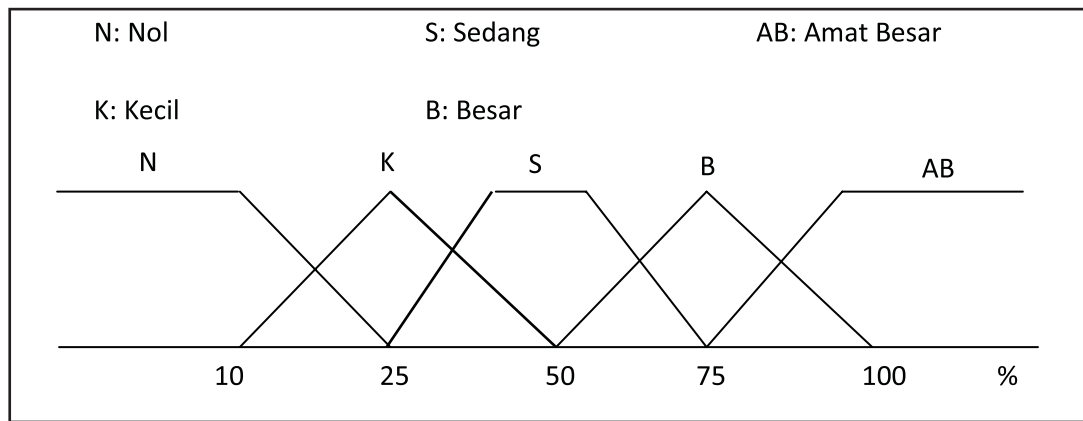
Gambar 6. Proses Penggunaan *fuzzy*



Gambar 7. Peraturan *Fuzzy* untuk Tekanan



Gambar 8. Peraturan *Fuzzy* untuk Putaran Turbin



Gambar 9. Peraturan *Fuzzy* untuk Bukaan Katup

Tabel 1. Pengaturan untuk tekanan

Putaran \ Tekanan	Tekanan		
	R	S	T
L	N	S	AB
S	K	S	B
T	S	K	AB

Pada Gambar 7, Gambar 8, dan Gambar 9 masing-masing memberikan derajat keanggotaan berdasarkan peraturan yang digunakan. Selanjutnya, untuk pengaturan bukaan katup mengacu kepada Tabel 1

Pada Tabel 1 terlihat aturan yang dilakukan untuk ukuran seberapa besar bukaan katup yang akan dilakukan. Untuk putaran turbin yang bersifat lambat (L) dengan tekanan yang rendah (R) maka bukaan katup adalah nol (N). Aturan ini dilakukan dengan logika apabila katup dibuka dengan kondisi tersebut maka tidak akan dihasilkan uap dengan tekanan tinggi, padahal uap bertekanan tinggi sangat dibutuhkan untuk memutar turbin. Begitu juga untuk kondisi lainnya. Adapun derajat keanggotaan yang digunakan untuk aturan pada Tabel 1 ditunjukkan oleh Gambar 9.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah sistem *software* dan sistem *hardware* dibuat, langkah berikutnya adalah melakukan simulasi. Simulasi yang dilakukan yaitu simulasi *software* baik yang bersifat *off-line* maupun yang bersifat *on-line*. Berikut adalah data *input* yang diberikan untuk sistem *software* yang bersifat *off-line*: tekanan awal = 1 bar; diameter pipa

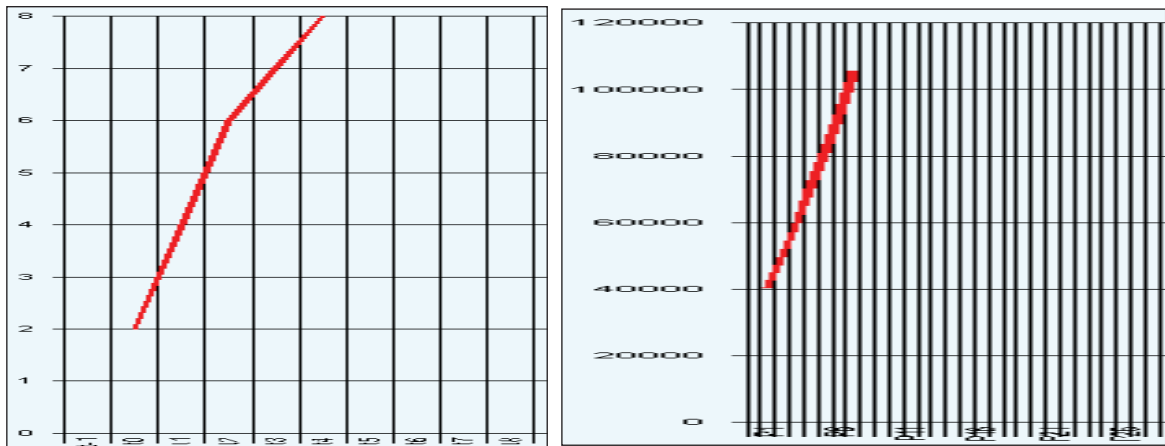
= 0,06 m, panjang pipa = 1 m, tekanan yang diinginkan = 8 bar, volume awal pada *heater* = 7 l, daya pemanasan *start-up* = 0,9 kWatt, dan diameter turbin = 0,9 m. Hasil dari simulasi ini ditunjukkan pada Gambar 10.

Selanjutnya apabila dari properti thermodinamika tersebut dibandingkan antara tabel properti yang sebenarnya (berdasarkan kepada literatur), maka dengan hasil pendekatan simulasi *off-line* akan diperoleh grafik seperti pada Gambar 11 (a), (b), (c), (d), (e), dan (f).

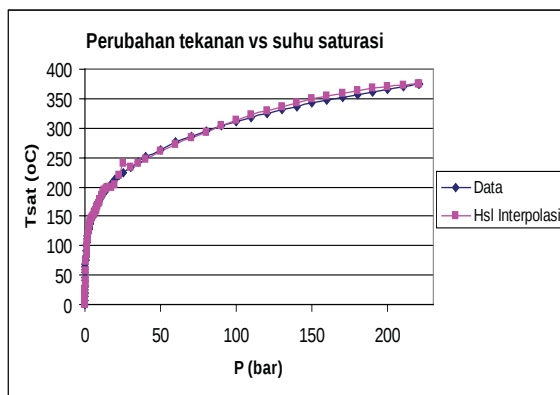
Dari grafik yang ditunjukkan dari Gambar 11 tersebut, kinerja dan hasil yang diperoleh mengikuti tabel properti thermodinamika. Dengan kata lain, persamaan-persamaan yang diturunkan sesuai dengan harapan secara teori.

Pada mode *on-line* maka proses pembacaan langsung dari *hardware* dilakukan dengan *input* tekanan yang diinginkan 6 bar, kemudian dilihat aksi kendali yang telah dirancang. Hasil kendali terhadap putaran turbin dengan variasi beban yang berbeda-beda ditunjukkan pada Gambar 12.

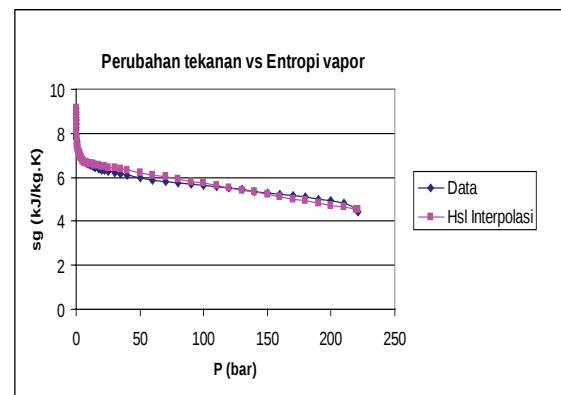
Dari Gambar 12 terlihat perubahan tekanan yang terjadi dikarenakan adanya pemberian beban yang bervariasi terhadap turbin. Beban yang diberikan pertama kali bernilai besar yang



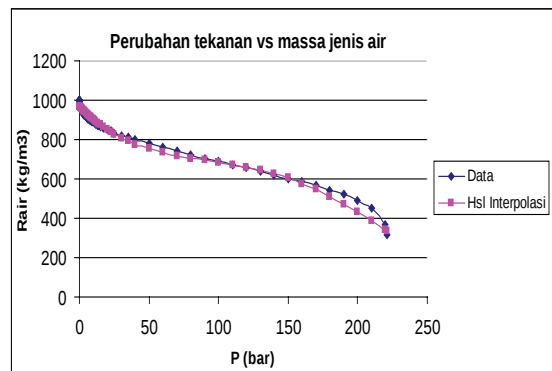
Gambar 10. Grafik tekanan terhadap waktu (kiri) dan tekanan terhadap putaran turbin (kanan)



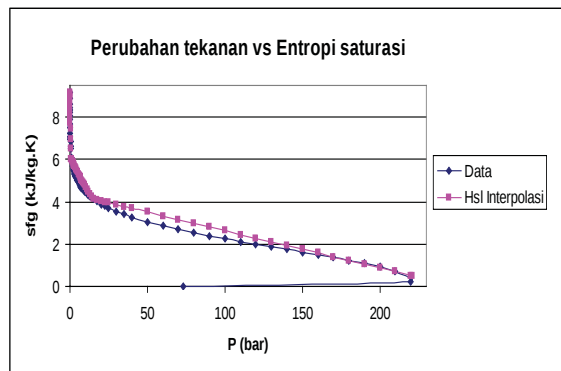
(a)



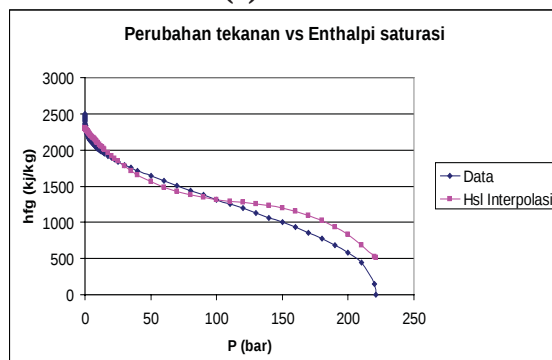
(b)



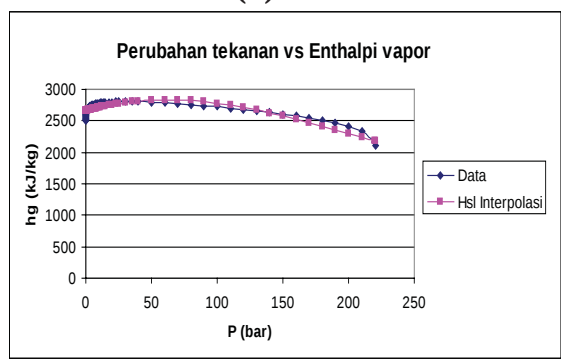
(c)



(d)

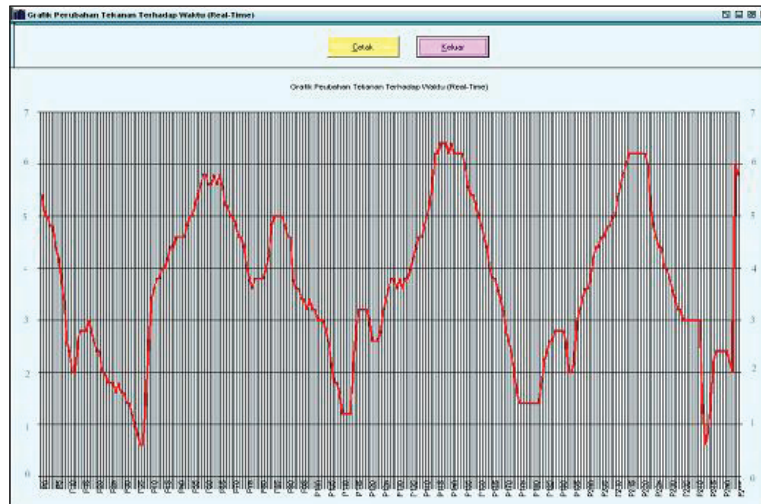


(e)



(f)

Gambar 11. Grafik perubahan tekanan terhadap properti thermodynamika



Gambar 12. Grafik perubahan tekanan terhadap waktu (*real-time*)

kemudian berangsur-angsur dikurangi. Kemudian, gangguan diberikan lagi dengan penambahan beban, begitu selanjutnya hingga terjadi aksi kendali yang berbeda-beda.

KESIMPULAN

Pembuatan simulator turbin uap untuk mode *off-line* dan *on-line* telah berhasil dilakukan. Mode *off-line* didasarkan kepada rumus yang dikembangkan, sedangkan untuk mode *on-line* dirancang dengan memanfaatkan logika *fuzzy*.

Untuk tahap lanjut, penelitian-penelitian dengan turbin yang sama perlu dilakukan. Hanya saja, metodenya dengan memvariasikan jumlah *blade* (sirip) yang berbeda sehingga diketahui turbin yang mana yang memiliki kemampuan yang terbaik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Dr. Ir. Andang Widi Harto, M.T. dan Nopriadi S.T., M.Sc. selaku pembimbing dan donatur dalam

melakukan penelitian ini dan secara khusus saya ucapkan terima kasih kepada Bapak Prof. Sunartoto Gunadi M.Eng. atas bimbingannya, pengarahan, dan koreksi terhadap karya tulis ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- ¹Widodo. 2005. *Sistem Neuro Fuzzy untuk Pengolahan Informasi, Pemodelan, dan Kendali*. Yogyakarta: Graha Ilmu
- ²Sutadi. 2002. *I/O Bus & Motherboard*. Yogyakarta: ANDI.
- ³Prasetya. 2004. *Interfacing Port Paralel dan Port Serial Komputer dengan Visual Basic 6.0*. Yogyakarta: ANDI.
- ⁴Yazid, E. 2008. Penerapan Kendali Cerdas pada Sistem Tanki Air Menggunakan Logika Fuzzy. *Widyaiset*, 11 (1): 104–105.
- ⁵White. 1994. *Fluid Mechanics 3rd Edition*. Singapura: McGraw-Hill Book Company.
- ⁶Cengel. 1994. *Thermodynamics An Engineering Approach*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- ⁷Widiyanto. 2001. *Seri Panduan Pemrograman Microsoft Visual Basic 6.0*. Yogyakarta: ANDI.

