

**RANCANG BANGUN INTELLIGENT CONTROL SYSTEM
BERBASIS JARINGAN SYARAF TIRUAN
SEBAGAI PENGENDALI SUHU PADA REAKTOR PYROLISIS**

Yayan Iscahyadi S.¹, Dwi Ana Ratna W., ST., M.Eng², Wahyudi Budi P., ST., M.Eng²

1 Penulis, Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro UII

2 Dosen Pembimbing, Staf Pengajar di Jurusan Teknik Elektro UII
Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia

Jalan Kaliurang Km 14,5 Sleman, Yogyakarta, 55584

email : jan_myung@yahoo.com

ABSTRAK

Dalam pengendalian suhu pyrolisis dibutuhkan pengendali yang dapat menghasilkan produk yang optimal. Pengendali JST memiliki keunggulan pada data pelatihan dimana tidak memiliki proses trial dan error. Pengendali konvensional yaitu pengendali PID bukan menjadi pilihan yang tepat, dikarenakan belum menemukan tuning PID yang optimal. Penelitian ini bertujuan merancang pengendali suhu furnace berbasis jaringan syaraf tiruan pada proses pyrolisis untuk bahan baku organik. Implementasi algoritma kontrol jaringan syaraf tiruan (JST) tipe backpropagation menggunakan mikrokontroler AVR ATMEGA 32 dengan compiler BASCOM AVR. Proses pelatihan dan pengujian dilakukan dengan menggunakan software MATLAB 2009. Pengujian dilakukan pada beberapa tipe JST yang dihasilkan dari tipe data pelatihan yang berbeda. JST terbaik dihasilkan pada data pelatihan dengan sampling data 10 menit, susunan neuron [10,1] dengan fungsi aktivasi logsig dengan target error sebesar 0,01, target epoch sebesar 20.000, dan learning rate sebesar 0,9. Performa terbaik ditunjukkan oleh JST dengan nilai overshoot 0,4444%, rise time sebesar 566,6667 detik, settling time sebesar 2.168 detik, dan peak time sebesar 4.310 detik. Pada pengujian suhu referensi naik, pengendali JST yang telah dirancang memiliki respon yang cukup cepat, relatif stabil dan konstan, serta mampu bekerja secara optimal pada rentang suhu 400^o – 500^oC.

Kata kunci: Jaringan syaraf tiruan, furnace, pyrolisis, mikrokontroler

1. Pendahuluan

Melihat produksi sampah yang dihasilkan dan dibuang oleh setiap negara berkembang di dunia ini, terutama Indonesia, telah mencapai kondisi yang kritis dan memprihatinkan. Sampah yang dihasilkan sudah sangat banyak dan mengganggu tatanan lingkungan. Beberapa penanganan dan pengelolaan sampah yang ada diantaranya seperti metode *landfill*, *open dump*, pembakaran dan lain sebagainya, masih kurang efektif dikarenakan masih memberikan dampak buruk bagi lingkungan dan kesehatan. Untuk itu, muncul alternatif lain dalam menangani masalah tersebut, yaitu dengan mengubah sampah tersebut menjadi bio-oil dengan teknologi pyrolysis.

Pyrolysis merupakan dekomposisi kimia bahan organik melalui proses pemanasan pada suhu tinggi tanpa adanya oksigen. Material atau bahan tersebut akan mengalami pecahan struktur kimia menjadi fase cair, gas, dan padatan. Di dalam fase tersebut nantinya akan digunakan sebagai sumber energi terbarukan.

Dalam sistem kontrol, pengendalian dilakukan pada *plant* untuk dapat mencapai *set point* dengan respon yang cepat. Masalah yang kemudian muncul adalah bagaimana menghasilkan respon yang cepat

pada *plant* yang akan dikendalikan disertai dengan pertimbangan *error* yang akan terjadi. Pada teknologi *pyrolysis*, terdapat beberapa elemen yang dapat dikontrol diantaranya adalah *heater* atau pemanas yang dapat bekerja pada suhu tinggi. Pengontrolan *heater* tersebut diharapkan dapat menghasilkan respon yang cepat dalam mencapai *set point* yang diinginkan.

Mengikuti perkembangan teknologi, metode sistem kendali konvensional tidak lagi dapat berperan efektif dalam mengendalikan sebuah *plant*. Untuk itu, sistem kendali cerdas (*Intelligent Control System*) dapat menjadi sebuah terobosan baru dalam mengendalikan sebuah *plant*. Dibandingkan dengan sistem kendali konvensional, sistem kendali cerdas menganut teori kecerdasan manusia sehingga diharapkan sistem kendali cerdas dapat memberikan efek yang baik pada *plant* terutama dalam mengontrol suhu yang tinggi dalam memberikan respon yang cepat.

2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Membuat suatu pengendali *furnace* untuk *plant pyrolysis* dengan menggunakan algoritma Jaringan Syaraf Tiruan

- Menghasilkan respon sistem yang optimal, dikhususkan pada suhu 450°C.
- Menghasilkan unjuk kerja sistem yang baik dan stabil dari pengendali sebelumnya.

3. Teori Penunjang

3.1 Pyrolysis

Pyrolysis dapat didefinisikan sebagai dekomposisi thermal material organik pada suasana *inert* (tanpa kehadiran oksigen) yang akan menyebabkan terbentuknya senyawa *volatile*. *Pyrolysis* pada umumnya diawali pada suhu 200°C dan bertahan pada suhu sekitar 450-500°C (Sheth and Babu, 2006). *Pyrolysis* suatu biomassa akan menghasilkan tiga macam produk, yaitu gas, cair, dan padat (*char*). Jumlah produk gas, cair, dan *char* tergantung pada jenis prosesnya (suhu dan waktu *pyrolysis*).

3.2 Jaringan Syaraf Tiruan

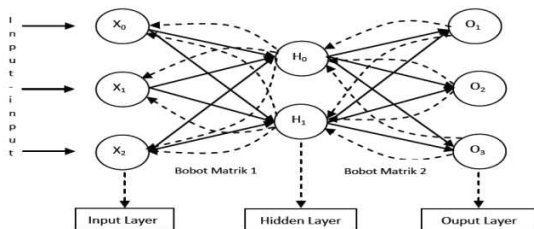
Metode pembelajaran jaringan syaraf rambat balik (*Backpropagation Neural Network*) menggunakan ide perambatan balik nilai *error* atau lebih dikenal sebagai *generalized delta rule*. *Delta rule* merupakan metode *gradient descent* untuk meminimalkan jumlah kuadrat *error* keluaran yang dihasilkan oleh jaringan.

Pembelajaran jaringan menggunakan metode *backpropagation* meliputi tiga langkah yaitu :

- Perambatan maju (*feedforward*) polam masukan input
- Perhitungan dan perambatan balik (*backpropagation*) nilai *error*, serta
- Penyesuaian nilai bobot jaringan berdasarkan besarnya *error* tersebut

Setelah pembelajaran, aplikasi dari jaringan terlatih merupakan fase perhitungan arah maju saja.

Arsitektur jaringan syaraf rambat balik dengan satu lapisan tersembunyi ditunjukkan oleh gambar berikut.

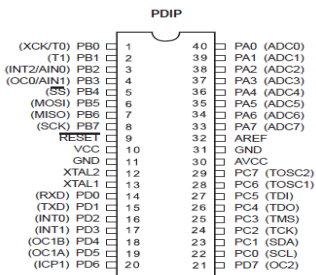


Gambar 1. Jaringan Syaraf Rambat Balik dengan Satu Lapisan Tersembunyi

3.3 Microcontroller AVR ATmega 32

Fitur-fitur yang dimiliki ATMEGA 32 sebagai berikut :

- Mikrokontroler AVR 8 bit yang memiliki kemampuan tinggi dengan daya yang rendah.
- Arsitektur RISC dengan *throughput* mencapai 16 MIPS pada frekuensi 16 MHz.
- Memiliki kapasitas *flash* memori 32 Kbyte, EEPROM 1024 Byte, dan SRAM 2 Kbyte.
- Saluran I/O sebanyak 32 buah, yaitu *Port A*, *Port B*, *Port C*, dan *Port D*.
- CPU yang terdiri dari 32 buah *register*.
- Unit interupsi internal dan eksternal.
- Port* USART untuk komunikasi serial.
- Fitur *peripheral*
 - Tiga buah *timer/counter* dengan kemampuan perbandingan.
 - Real time counter* dengan *oscillator* tersendiri
 - 4 *channel* PWM
 - 8 *channel*, 10 bit ADC
 - Byte oriented two wire serial interface*
 - Programmable serial UART*
 - Antarmuka SPI
 - Watchdog timer* dengan *oscillator interna*
 - On-chip analog comparator*



Gambar 2. Konfigurasi Pin AVR ATmega 32

3.4 Termokopel

Termokopel merupakan suatu sensor suhu dimana terbentuk dari jenis logam yang berbeda disatukan salah satu ujungnya dan ujung tersebut dipanaskan, sehingga menimbulkan beda potensial pada ujung-ujung yang lain. Hal ini diakibatkan oleh kecepatan gerak elektron dari dua material yang berbeda daya hantar panas sehingga mengakibatkan beda potensial.

Termokopel dibangun berdasarkan asas *Seebeck* dimana bila dua jenis logam yang berlainan disambungkan akan menjadi rangkaian tertutup sehingga perbedaan temperatur pada sambungan akan menimbulkan beda potensial listrik pada kedua logam tersebut.

3.5 Operational Amplifier LM358

3.6 TRIAC BT139

TRIAC BT 139 yang digunakan memiliki karakteristik sebagai berikut :

Tabel 1. Karakteristik BT139

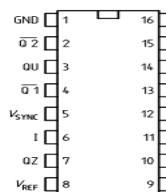
SYMBOL	PARAMETER	MAX.	MAX.	MAX.	UNIT
V_{DRM}	BT139-500	500	600	800	V
	BT139-500F	500F	600F	800F	
	BT139-500G	500G	600G	800G	
$I_{T(RMS)}$	Repetitive peak off-state voltages	500	600	800	A
	RMS on-state current	16	16	16	
	Non-repetitive peak on-state current	140	140	140	

Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa kemampuan TRIAC BT 139 dapat mengontrol hingga tegangan 800 Vac pada V_{DRM} , sedangkan arus maksimum yang bias dilewatkan sebesar 16 Ampere pada $I_{T(RMS)}$.

3.7 IC TCA 785

IC TCA 785 merupakan produk dari *Siemen Semiconductor* yang dibuat untuk menghasilkan pulsa pemicu (*trigger pulse*) untuk mengontrol fasa pada SCR, triac, dan transistor, antara $0^\circ - 180^\circ$ pada sumber tegangan ac, sedangkan jika sumber tegangannya dc maka diperlukan komutasi khusus.

IC ini dapat diaplikasikan pada kontrol tegangan ac terkontrol (*ac-ac converter*) satu fasa dan tiga fasa, penyearah terkontrol (*control rectifier*) satu fasa maupun tiga fasa dan kontrol tegangan dc terkontrol (*dc chopper*). IC ini memiliki kaki (pin) sejumlah 16 buah, seperti yang terlihat pada gambar berikut.



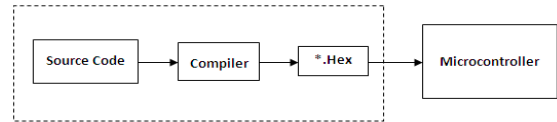
Gambar 3. Konfigurasi Pin IC TCA 785

3.8 BASCOM AVR 1.11.9.5

Secara umum, bahasa yang digunakan untuk pemrograman mikrokontroler adalah bahasa tingkat rendah, yaitu bahasa *assembly*. Setiap mikrokontroler memiliki bahasa-bahasa pemrograman yang berbeda. Karena banyaknya hambatan dalam penggunaan bahasa *assembly*, banyak berkembang compiler atau penerjemah untuk bahasa tingkat tinggi. Bahasa tingkat tinggi yang banyak dikembangkan antara lain BASIC, PASCAL, dan bahasa C.

Proses pemrograman mikrokontroler diawali dengan menulis program sumber (*source code*) baik dalam bahasa *assembly*, C maupun *basic*. *Source code* kemudian di-*compile* dan akan menghasilkan

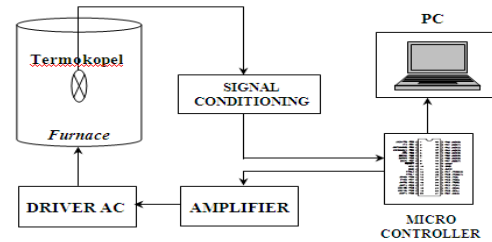
kode-kode yang dapat dimengerti oleh mikrokontroler (*format *.hex*).



Gambar 4. Proses Pemrograman Mikrokontroler

4. Perancangan Alat

Perancangan sistem pengendalian *furnace* untuk *plant pyrolysis* meliputi perancangan perangkat keras (*hardware*) dan perancangan perangkat lunak (*software*). Sistem yang akan dirancang akan membentuk suatu pengendalian suhu pada *furnace*. Pengendalian suhu *furnace* dilakukan dengan cara mengatur tegangan kontrol yang akan diberikan ke *furnace*, dimana pengaturan tersebut diatur oleh driver AC berdasarkan output kontrol JST (Jaringan Syaraf Tiruan). Berikut adalah gambar diagram blok dari sistem pengendalian suhu pada *furnace*.

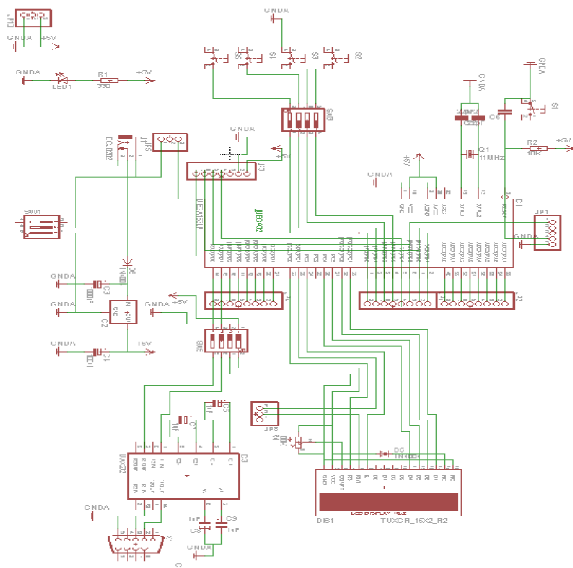


Gambar 5. Blok Diagram Sistem Kendali Suhu Furnace

4.1 Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

4.1.1 Rangkaian Sistem Minimum

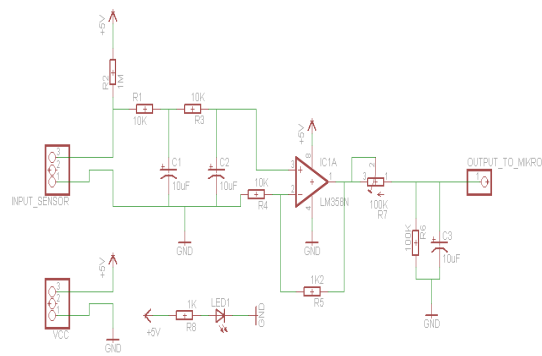
Sistem minimum merupakan rangkaian pengendali utama yang akan mengendalikan *plant furnace* dengan menanamkan program kontrol JST di dalamnya. Sistem minimum yang dirancang menggunakan mikrokontroler dengan tipe AVR ATmega 32. Sistem minimum juga telah terintegrasi dengan rangkaian LCD dan komunikasi serial. LCD berfungsi sebagai interface untuk menampilkan berbagai menu yang telah deprogram. Begitupun dengan komunikasi serial berfungsi sebagai jalur data yang dikirim dari pengendali untuk keperluan pengolahan data.



Gambar 6. Rangkaian Sistem Minimum

4.1.2 Rangkaian Pengkondisi Sinyal Termokopel

Sensor termokopel seri-K memiliki output tegangan yang sangat kecil, dimana setiap kenaikan satu derajat akan menghasilkan tegangan sebesar 0,04 mV. Sensor termokopel juga bersifat tidak linier atau tidak stabil dikarenakan output yang dihasilkan oleh sensor sangat sensitif sehingga berubah-ubah. Untuk itu pada rangkaian pengkondisi sinyal sensor termokopel terdapat rangkaian *low pass filter* analog dan rangkaian penguat tegangan. Rangkaian *low pass filter* berfungsi untuk menghilangkan noise atau meredam output dari sensor yang tidak stabil atau berubah-ubah menjadi lebih stabil. Sedangkan rangkaian penguat (Op-Amp) berfungsi untuk menguatkan nilai output dari sensor agar dapat dibaca oleh mikrokontroler sehingga menjadi lebih mudah dalam proses kalibrasi sensor.



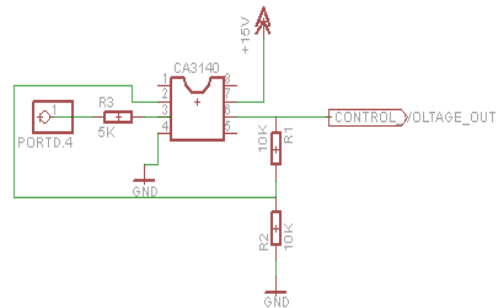
Gambar 7. (a) Rangkaian *Low pass filter* Analog dan (b) Rangkaian Op-Amp

4.1.3 Rangkaian Penguat Tegangan Kontrol

Rangkaian pengontrolan sudut fasa tegangan AC memerlukan tegangan kontrol sebesar 0 sampai 10 V_{DC} untuk menggeser pulsa 0° sampai 180°. Kemampuan dari mikrokontroler ternyata hanya mampu menghasilkan tegangan output maksimal sebesar 0 sampai 5 V_{DC}, sehingga perlu dilakukan penguatan sebanyak 2 kali agar dapat menghasilkan tegangan kontrol hingga 10 V_{DC}. Pada rangkaian ini digunakan Op-Amp CA3140 yang digunakan sebagai penguat non inverting.

Perhitungan nilai penguatan rangkaian penguat tegangan kontrol adalah :

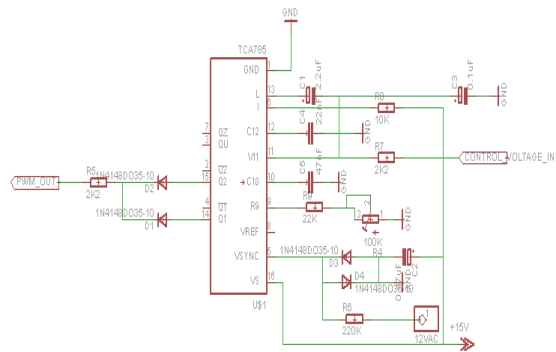
$$\begin{aligned}
 A &= V_o/V_i \\
 &= (1 + R_{10}/R_{11}) \\
 &= (1 + 10K/10K) = 2x
 \end{aligned}$$



Gambar 8. Rangkaian Penguat Tegangan Kontrol

4.1.4 Rangkaian Pengontrol Sudut Fasa Tegangan AC

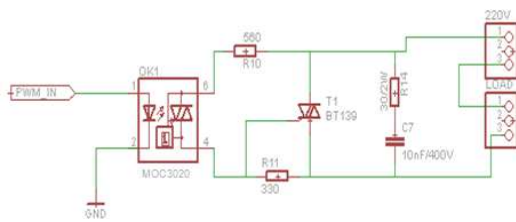
Pada rangkaian pengontrol sudut fasa tegangan AC pada pengendalian *furnace* menggunakan IC TCA785 sebagai komponen utama. IC TCA 785 adalah komponen pengendali tegangan AC dengan cara menggeser sudut fasa 0 – 180°. Komponen ini telah terintegrasi dengan rangkaian Zero Crossing Detector dan penggeser sudut fasa dari 0° sampai 180°. Berikut adalah rangkaian pengontrol sudut fasa tegangan AC pada pengendalian *furnace*.



Gambar 9. Rangkaian Pengontrol Sudut Fasa Tegangan AC

4.1.5 Rangkaian Saklar Elektronik

Rangkaian saklar elektronik berfungsi sebagai penyalur daya keluaran atau arus keluaran ke beban dan dapat dikendalikan untuk menghubungkan atau memutusinya. Pada rangkaian saklar elektronik menggunakan TRIAC BT139 sebagai komponen utama. TRIAC BT139 adalah komponen yang dapat mengatur jalur tegangan AC yang lewat dengan *gate* sebagai pemicunya. Untuk menghindari *short* atau lonjakan tegangan yang dapat merusak komponen, maka sebelum masuk ke rangkaian utama diberikan rangkaian MOC3020 sebagai pengaman. Berikut adalah rangkaian saklar elektronik dalam pengendalian *furnace*.

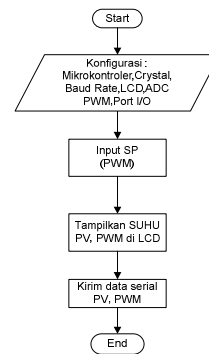


Gambar 10. Rangkaian Saklar Elektronik

4.2 Perancangan Perangkat Lunak (Software)

4.2.1 Program Pengambilan Data Pelatihan JST

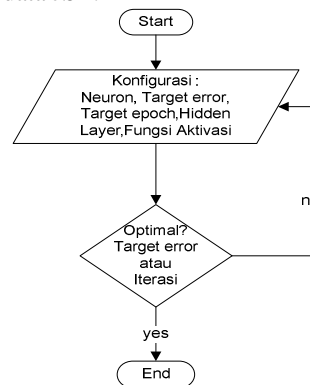
Pada perancangan program pengambilan data pelatihan JST (Jaringan Syaraf Tiruan) dengan cara memberikan variasi tegangan kontrol dari mikrokontroler berupa nilai PWM (Pulse Width Modulation) selama selang waktu tertentu, sampai terlihat perubahan suhu yang terjadi pada *furnace*. Nilai suhu PV (Present Value) pada *furnace* diprogram dan ditampilkan di LCD. Nilai PWM merupakan set point yang dimasukkan ke dalam kontroler sebagai supply tegangan ke *furnace*, sedangkan nilai PV menunjukkan suhu faktual yang terukur pada *furnace* sepanjang pemberian tegangan kontrol PWM. Sistem kontrol pada proses pengambilan data JST ini merupakan sistem kontrol *open loop*, dikarenakan tidak ada proses umpan balik dari suhu output ke kontroler untuk memperoleh nilai *error*. Berikut adalah alur program yang menunjukkan proses pengambilan data JST.



Gambar 11. Flowchart Program Pengambilan Data JST

4.2.2 Program Pelatihan Data JST

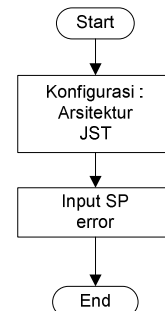
Program pelatihan data JST dibuat dengan menggunakan *software* MATLAB 2009. Program dibuat berdasarkan desain arsitektur JST terbaik yang telah diperoleh. Berikut adalah alur program pelatihan data JST.



Gambar 12. Flowchart Program Pelatihan Data JST

4.2.3 Program Pengujian JST

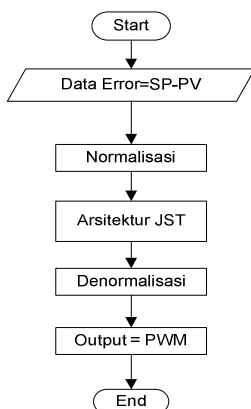
Program pengujian data JST menggunakan *software* MATLAB 2009 dengan memanfaatkan fasilitas *simulink* untuk proses simulasi sebelum diimplementasikan ke *hardware*. Hal ini bertujuan untuk mengetahui apakah sistem kontrol JST sudah menunjukkan unjuk kerja yang baik untuk diterapkan ke *plant*. Berikut adalah alur program pengujian data JST menggunakan *simulink* MATLAB 2009.



Gambar 13. Flowchart Program Pengujian Data JST

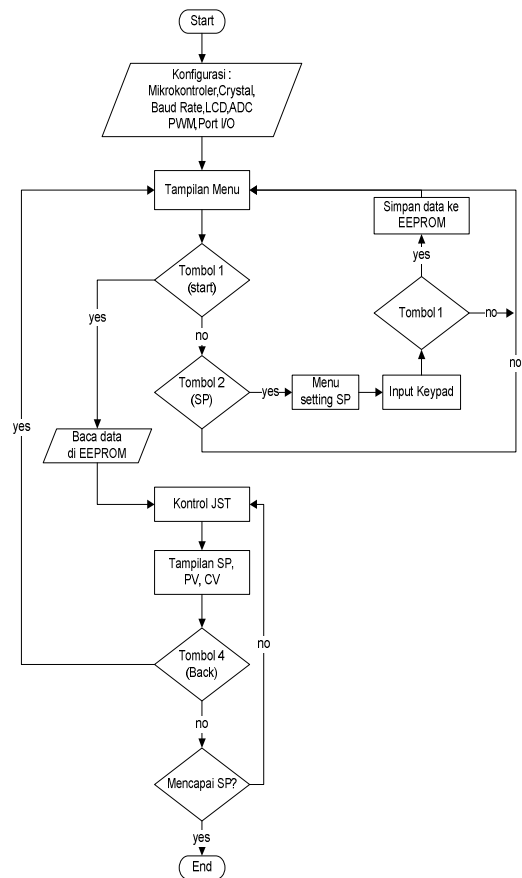
4.2.4 Program Utama Kontrol JST

Program utama kontrol JST diimplementasikan ketika telah mendapatkan arsitektur JST yang paling optimal. Implementasi dilakukan dengan cara memasukkan nilai bobot dan bias yang telah didapatkan ke dalam program utama JST. Program dimulai dengan nilai *error* yang didapat dari selisih dari nilai *set point* dengan nilai *present value* dari suhu *plant*. Kemudian data tersebut diolah lebih lanjut dengan proses normalisasi terlebih dahulu. Hasil normalisasi kemudian diproses ke dalam arsitektur JST yang telah dibuat. Proses optimasi JST mengacu pada nilai bobot dan bias yang telah didapatkan pada proses pelatihan sebelumnya. Hasil proses JST, kemudian menghasilkan nilai output yang akan dinormalisasikan selanjutnya. Hasil dinormalisasi, output JST berupa nilai PWM yang akan memberikan tegangan kontrol ke *plant furnace*. Berikut alur program kontrol JST dijelaskan berikut ini.



Gambar 14. Flowchart Program Kontrol JST

Program kontrol JST pada gambar diatas, kemudian diimplementasikan dengan program sistem secara keseluruhan, dimana meliputi pemrograman yang merujuk pada kesatuan sistem kendali JST.



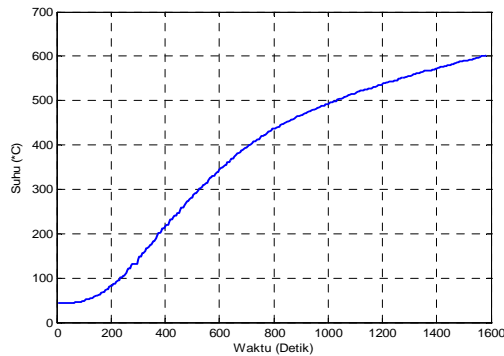
Gambar 15. Flowchart Program Kontroler Hardware

5. Pengujian Dan Analisa

5.1 Pengujian Sistem JST

5.1.1 Pengujian Sistem Kalang Terbuka (*Open Loop*)

Pengujian sistem kalang terbuka (*open loop*) dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik *plant furnace* yang akan dikendalikan. Pengujian dilakukan dengan cara memberikan nilai tegangan penuh ke *plant*. Nilai tegangan yang diberikan berupa nilai PWM yang diberikan dari mikrokontroler. Nilai range PWM yang akan mengontrol *plant*, mulai dari 0 – 255. Nilai tegangan penuh pada PWM bernilai 255 setara dengan nilai output port PWM sebesar 0 Vdc. Dimana, nilai PWM 255 akan menyebabkan *furnace* menghasilkan tingkat pemanasan yang maksimal, sedangkan nilai PWM 0 akan menyebabkan *furnace* menghasilkan tingkat pemanasan yang minimal. Berikut adalah grafik yang menunjukkan hasil pengujian pada sistem kalang terbuka.



Gambar 16. Grafik Respon Sistem Dengan Pengujian Kalang Terbuka

Dari gambar diatas, maka dapat dilihat bahwa pengujian sistem dilakukan dengan memberikan nilai tegangan penuh berupa nilai PWM sebesar 255. Suhu

awal dimulai dengan suhu 43°C dan akan terus menerus naik hingga lebih dari 600°C, dengan kenaikan suhu sebesar $\pm 0.353^\circ\text{C}$ setiap detiknya.

5.1.2 Pengujian Sistem Dengan Variasi Tipe Data JST

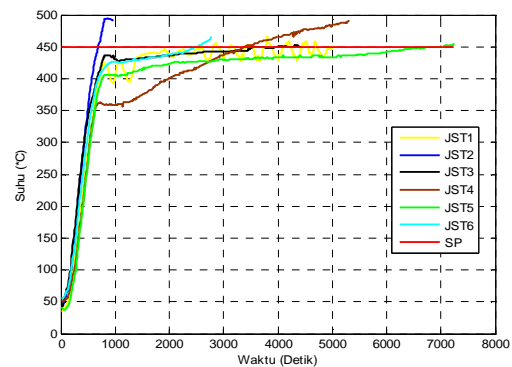
Tujuan dari pengujian sistem dengan variasi tipe data pelatihan ini adalah untuk mendapatkan tipe data pelatihan JST yang paling optimal dan baik yang dapat di implementasikan nantinya. Pengujian ini dilakukan dengan cara menguji beberapa tipe data pelatihan yang memiliki *sampling* data yang berbeda-beda. Variasi tipe data pelatihan JST dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2. Variasi Tipe Data Pelatihan JST

Spesifikasi JST	Tipe JST					
	JST 1	JST 2	JST 3	JST 4	JST 5	JST 6
Sampling Data (menit)	2	6	10	20	-	-
Neuron	[20,1]	[10,1]	[10,1]	[10,1]	[5,1]	[5,1]
Aktivasi	logsig, logsig	logsig, logsig	logsig, logsig	logsig, logsig	logsig, logsig	Logsig, logsig
Target error	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Target epoch	20000	20000	20000	20000	20.000	20.000
Learning rate	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9

Berdasarkan tabel di atas, terdapat enam jenis tipe data JST yang memiliki *sampling* data yang bervariasi. Tabel di atas juga menjelaskan spesifikasi tiap JST pada saat proses pelatihan meliputi susunan neuro, fungsi aktivasi, target error, target epoch, dan *learning rate*, dimana parameter tersebut merupakan parameter penting dalam proses pelatihan JST.

Setelah hasil proses pelatihan diketahui, langkah selanjutnya adalah pengujian tiap tipe data JST ke *plant*. Pengujian dilakukan dengan memberikan suhu referensi (*set point*) kepada tiap-tiap tipe data JST yang sudah diimplementasikan ke *plant*. Suhu referensi yang diberikan untuk pengujian adalah sebesar 450°C.



Gambar 17. Grafik Respon Sistem Pada Pengujian Beberapa Tipe Data JST

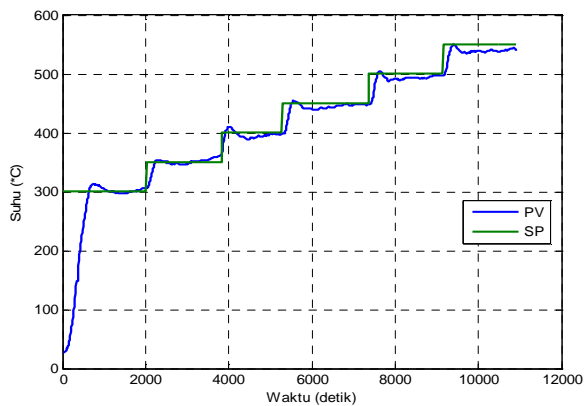
Dari gambar 17, maka dapat diperoleh karakteristik respon sistem tiap tipe data JST.

Tabel 3. Karakteristik Respon Sistem Pada Beberapa Tipe Data JST

Suhu Referensi (SP)	Parameter	Tipe JST					
		JST 1	JST 2	JST 3	JST 4	JST 5	JST 6
450	Rise Time (s)	543.5333	426.5714	566.6667	2029.8	1075	563.9
	Settling Time (s)	4893.4	Nan	2618	Nan	5997.6	Nan
	Settling Min	393	413	409	410	410	411
	Settling Max	466	495	452	490	455	465
	Overshoot	3.5556	10	0.4444	8.8889	1.1111	3.3333
	Undershoot	0	0	0	0	0	0
	Peak	466	495	452	490	455	465
	Peak Time (s)	3790	850	4310	5300	7240	2770

5.1.3 Pengujian Dengan Suhu Referensi Naik

Pengujian dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kecepatan respon sistem JST terhadap perubahan kenaikan suhu referensi. Hal ini penting untuk untuk mengetahui apakah sistem kendali JST yang telang dirancang mampu bekerja pada suhu referensi yang lebih luas. Pengujian dilakukan dengan beberapa suhu diantaranya 300°C, 350°C, 400°C, 450°C, dan 500°C. Perubahan suhu referensi dilakukan ketika sistem telah mencapai suhu sistem dalam keadaan tunak.

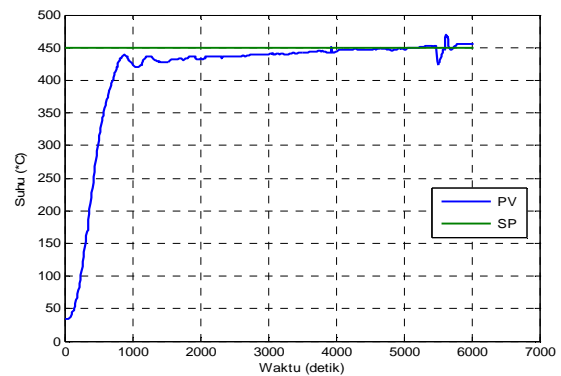


Gambar 18. Grafik Respon Sistem Pada Suhu Referensi Naik

5.1.4 Pengujian Dengan Pemberian Gangguan

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui unjuk kerja sistem ketika diberi gangguan ketika berada pada keadaan tunak. Dalam hal ini gangguan yang akan diberikan adalah berupa kipas angin yang akan meniup ke arah plant furnace. Tujuannya untuk mengetahui seberapa cepat respon sistem untuk kembali keadaan tunak setelah diberikan gangguan tersebut, dimana waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi semula adalah waktu pemulihan. Pengujian dengan gangguan panas tidak

diberikan karena tidak dibuat untuk melakukan proses pendinginan.



Gambar 19. Grafik Respon Sistem Dengan Pemberian Gangguan

6. Penutup

6.1 Kesimpulan

Dari hasil perancangan, pengujian dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan diantaranya sebagai berikut:

1. Hubungan antara nilai PWM dengan nilai tegangan output pada Port PWM adalah berbanding terbalik, dimana semakin besar nilai PWM, maka menyebabkan nilai tegangan output Port PWM akan menjadi semakin kecil. Hal ini disebabkan pada pemrograman pada konfigurasi PWM menggunakan mode *clear up*. Tetapi, hubungan antara nilai PWM dengan tegangan kontrol beban, memiliki hubungan yang berbanding lurus, dimana semakin besar nilai PWM, maka nilai tegangan kontrol yang *disupply* ke beban akan semakin besar juga.
2. Pada pengujian sistem kalang terbuka (*open loop*) diperoleh nilai rata-rata kenaikan suhu sebesar 0,353°C setiap detiknya.

3. Pada hasil pelatihan beberapa tipe data JST, JST 1 menunjukkan bahwa target *error* tidak tercapai, namun target *epoch* telah tercapai. Sedangkan untuk JST 2, 3, 4, 5 dan 6 target *error* telah tercapai dalam *epoch* yang tidak terlalu banyak.
4. Pada pengujian suhu referensi 450°C, JST 3 yang menunjukkan respon paling optimal dibandingkan dengan JST lainnya. JST 3 memiliki nilai *overshoot* yang paling kecil yaitu 0,4444%, waktu penetapan sebesar 2.618 detik, dan suhu puncak sebesar 452°C, meskipun waktu naik (*rise time*) yang ditunjukkan tidak begitu cepat, namun hasil terbaik ditunjukkan pada performa pada saat telah mencapai suhu referensi. Respon yang ditunjukkan relatif stabil dan konstan.
5. Pada pengujian suhu referensi naik telah menunjukkan respon yang cepat di tiap daerah suhu referensi, namun pada suhu referensi 550°C, sistem pengendali tidak mampu untuk mencapai nilai suhu tersebut dikarenakan telah berada pada daerah yang jenuh. Hal ini menunjukkan bahwa suhu operasi kerja sistem yang optimal berada pada daerah suhu 400° – 500°C.
6. Pada suhu referensi 450°C, sistem telah dapat mencapai dengan respon yang baik dan relatif konstan. Hal ini menunjukkan bahwa pengendali JST sangat optimal digunakan untuk pengendalian *furnace* dalam prose *pyrolysis* untuk bahan baku organik.
7. Pada pengujian dengan pemberian gangguan, *plant* sangat sensitif terhadap gangguan berupa kipas, meskipun pemberian gangguan diberikan dengan waktu yang cukup singkat yaitu 5 detik, akan menyebabkan penurunan suhu yang sangat signifikan, dan akan menyebabkan *overshoot* terlebih dahulu untuk mencapai keadaan normal kembali dengan waktu yang cukup lama.

6.2 Saran

Adapun saran yang ingin penulis harapkan, diantaranya sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan identifikasi sistem untuk mendapatkan fungsi alih dari *plant furnace*, dimana bertujuan untuk melakukan simulasi terlebih dahulu, sebelum implemmentasi *real* ke *plant*..
2. Untuk mempercepat proses pendinginan, perlu ditambahkan aktuator pendingin guna membantu dalam proses pengendalian, sehingga dapat mempercepat respon sistem untuk mencapai suhu referensi tertentu.

7. Daftar Pustaka

1. Widjanarka N, Wijaya, Ir. 2006. *Teknik Digital*. Jakarta: Erlangga.
2. Putra, Agfianto Eko. 2006. *Belajar Mikrokontroler AT89C51/52/55*. Yogyakarta: Gaya Media.
3. Budiharto, Widodo dan Sigit F. 2005. *Elektronika Digital dan Mikroprocessor*. Yogyakarta : Andi.
4. Ogata, Katsuhiko. 1996. *Teknik Kontrol Automatik*. Jakarta : Erlangga.
5. Bejo, Agus. 2008. *C & CAVR Mikrokontroler ATmega 8535*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
6. Ana Ratna Wati, D. 2011. *Sistem Kendali Cerdas*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
7. Andrianto, Heri. 2008. *Pemrograman Mikrokontroler AVR ATmega 16*. Bandung : Informatika
8. Hanung Pratama N., 2011."Pengendali Suhu Water Heater dengan Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation", skripsi, Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Elektro, UII, Yogyakarta.
9. Sri Utami Kusumadewi., 2007."Implementasi Jaringan Syaraf Tiruan berbasis Metode Backpropagation sebagai Pengendali Kecepatan Motor DC", skripsi, Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Elektro, UII, Yogyakarta.
10. Jhon Hendra, 2006."Simulasi Jaringan Syaraf Tiruan berbasis Metode Backpropagation sebagai Pengendali Level Air", skripsi, Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Elektro, UII, Yogyakarta.
11. Insan Kamil Ahmad P., 2011."Sistem Kendali Suhu Furnace berbasis PID", skripsi, Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Elektro, UII, Yogyakarta.