

**PENGATURAN SUHU DESTILATOR PADA PROSES DESTILASI
BIO-ETANOL BERBASIS KENDALI PROPORSIONAL
MENGUNAKAN PLC OMRON CPM2A**

Paulus Tofan Rapiyanta¹, Bambang Sutopo², Indah Soesanti³

¹ Staff Pengajar AMIK BSI Yogyakarta

Jln. Ringroad Barat, Ambarketawang, Gamping, Sleman, Yogyakarta

^{2,3} Staff Pengajar Magister Teknik Instrumentasi Jurusan Teknik Elektro FT UGM

Jln. Grafika 2 Yogyakarta 55281 INDONESIA

tofanpaulus@gmail.com¹, bsutopo@te.ugm.ac.id², indah@mti.ugm.ac.id³

Abstract

Temperature control is the most important thing in distillation process. This research has a purpose to create appliance assist that able to do temperature's monitoring and controlling function during distillation process. In this research, temperature's control was applied in bio-ethanol's distillation which uses Omron's PLC type CPM2a. Proportional control design used Ziegler-Nichols method. Proportional control is made based on delphi programming algorithm. Controlling program in delphi connected with distillation plant through PLC. PLC get temperature data from LM35 censor then delivered to controller program in delphi. Controller's data output will be sent through PLC to control heater power. Change of heater power will influence temperature of distillation plant. Stability of destilator temperature will be used to analysing system performance. The result of this research is the stable destilator temperature controller system between 78 until 80°C. At the moment, oscilation still happened with steady state error below 3%. 1 litre of raw material can be destilated during one hour and can get about 100 ml etanol with rate 70%.

Keywords : *Proportional controller, distillation, etanol*

1. PENDAHULUAN

Ketersediaan bahan bakar fosil dunia kian menipis. Kondisi ini menuntut manusia untuk segera mencari alternatif sumber bahan bakar yang baru. Usaha untuk mendapatkan sumber energi baru telah dimulai dan telah membuahkan hasil berupa alternatif sumber energi terbaharukan. Salah satunya adalah bio-etanol. Masyarakat diharapkan bisa mandiri dalam memenuhi kebutuhan energinya sendiri tanpa menggantungkan diri pada subsidi dari pemerintah. Pembuatan bahan bakar nabati seperti bio-etanol sebenarnya dapat dilakukan sendiri oleh masyarakat dalam skala kecil. Permasalahan muncul ketika mutu produk tidak sebaik yang dihasilkan oleh pabrik, khususnya pada nilai persentasi kadar etanol yang dihasilkan. Untuk dapat digunakan sebagai pengganti minyak tanah, kadar etanol minimum harus mencapai 70%. Nilai ini sulit didapatkan dari unit pengolahan skala kecil, karena proses destilasi dan kondensasi yang dilakukan masih sangat konvensional (manual). Pengaturan suhu pada proses destilasi dan kondensasi sangat menentukan kadar etanol yang akan dihasilkan. Jika dilakukan secara manual maka akan terjadi ketidak-stabilan suhu yang akan menyebabkan kadar produk yang

rendah. Oleh karena itu, penelitian ini ingin memunculkan solusi untuk masalah tersebut. Pengendalian suhu yang baik diharapkan akan menghasilkan produk yang baik. Alat yang dihasilkan dari penelitian ini juga akan disesuaikan dengan kemampuan ekonomi masyarakat sehingga dapat dibuat dan digunakan oleh masyarakat luas walaupun dalam skala produksi kecil.

Masalah utama dalam pengolahan bio-etanol secara konvensional adalah kestabilan suhu destilator. Faktor suhu akan mempengaruhi kadar etanol yang dihasilkan. Penelitian ini akan mencoba menyelesaikan masalah tersebut dengan membuat sebuah alat bantu pengendalian yang diharapkan akan dapat menstabilkan suhu destilator pada kisaran 78 – 80 °C, sehingga akan didapatkan produk etanol dengan kadar yang cukup sebagai pengganti minyak tanah ($\geq 70\%$).

Perbedaan pengendali suhu destilator pada penelitian ini dengan pengendali suhu yang lain adalah nilai suhu yang ingin dicapai yaitu pada titik didih etanol. Waktu tunda sistem pengendali ini relatif lama karena pada plant destilator terjadi proses destilasi bertingkat. Hal ini menyebabkan osilasi / fluktuasi suhu disekitar titik didih etanol dengan toleransi suhu di bawah 5%. Kesalahan (*error*)

kurang dari 5% tidak akan berpengaruh banyak pada kadar produk etanol yang dihasilkan karena pada suhu tersebut air belum mencapai titik didihnya, sehingga jumlah air yang ikut menguap masih sedikit.

Penelitian ini menitik-beratkan pada proses destilasi dari keseluruhan proses pembuatan bio-etanol. Bahan baku yang digunakan untuk pembuatan etanol adalah tetes tebu (*mollase*) yang telah difermentasikan lebih dari 72 jam. Destilator yang digunakan menggunakan sistem *batch* (satu kali proses), sehingga larutan bahan baku tidak akan diganti atau ditambah selama proses berlangsung. Larutan bahan baku ini diasumsikan telah homogen dan alirannya tidak diperhitungkan secara khusus karena pengendalian suhu difokuskan pada pengaturan pemanas *boiler*. Suhu awal larutan bahan baku, plant destilator dan air pendingin berada pada suhu ruang yaitu 28 - 29 °C. Debit aliran air pendingin tidak diperhitungkan secara khusus, namun dikondisikan untuk selalu konstan selama proses berlangsung. Pengambilan data awal dan data utama dilakukan di laboratorium dengan pendingin udara bersuhu 22 °C.

Hasil etanol yang diinginkan adalah yang memiliki kadar minimal 70%. Variabel yang diatur adalah suhu pada destilator. Suhu yang diinginkan berada pada rentang 78°C sampai 80 °C. Suhu ini merupakan titik didih etanol.

Tipe pengendalian yang digunakan adalah tipe proporsional. Penalaan parameter proporsional menggunakan metode *Ziegler-Nichols*. Pengendalian ini dilakukan dengan menghubungkan *plant*, PLC dan komputer. PLC yang digunakan adalah PLC omron tipe CPM2a dengan tambahan modul analog MAD11 sebagai *converter* (ADC/DAC) yaitu piranti pengubah data digital menjadi analog dan sebaliknya.

Dengan adanya penelitian ini, diharapkan akan menciptakan sebuah alat bantu yang akan mendukung proses pembuatan bio-etanol, khususnya dalam proses destilasi. Selain itu, dengan adanya alat bantu ini, fungsi pengawasan dan pengaturan yang semula dikerjakan oleh operator dapat digantikan. Tentu saja, bila dilakukan oleh komputer maka diharapkan akan meningkatkan produktifitas karena akan meminimalisir faktor kesalahan manusia (*human error*). Produktifitas etanol yang diharapkan difokuskan pada kadar produk yang dihasilkan yaitu 70%.

Untuk lingkup yang lebih luas, diharapkan dengan adanya penelitian ini dapat menciptakan sebuah alat penghasil sumber energi alternatif yang dapat dibuat,

dioperasikan dan dimanfaatkan oleh masyarakat sendiri.

2. STUDI PUSTAKA

2.1. Bio-etanol

Bio-etanol merupakan salah satu jenis bahan bakar cair dari pengolahan tumbuhan (*biofuel*). Bio-etanol adalah etanol yang dihasilkan dari fermentasi glukosa yang dilanjutkan dengan proses destilasi (Musnif, 2009). Produksi *bio-etanol* meliputi 3 proses, yaitu ; persiapan bahan baku, fermentasi dan destilasi (www.alpensteel.com, 2009). Hasil fermentasi mengandung kadar alkohol yang rendah dan oleh sebab itu kadarnya perlu dinaikkan dengan cara destilasi. Maksud dari proses destilasi adalah untuk memisahkan etanol dari campuran etanol-air hasil fermentasi. Pada tekanan atmosfer, air mendidih pada 100°C dan etanol mendidih pada 78°C. Perbedaan dalam titik didih inilah yang memungkinkan pemisahan campuran etanol-air (Harahap, 2003).

2.2. Kendali Proporsional

Kontroler proporsional memiliki keluaran yang sebanding dengan besarnya masukan. Kontroler proporsional memiliki beberapa sifat yang harus diperhatikan jika akan diterapkan pada sebuah sistem, antara lain :

1. Jika nilai K_p kecil, kontroler *proportional* hanya mampu melakukan koreksi kesalahan yang kecil, sehingga menghasilkan respon sistem yang lambat.
2. Semakin besar nilai K_p , respon sistem akan semakin cepat mencapai keadaan mantapnya.
3. Nilai K_p yang berlebihan akan mengakibatkan sistem tidak stabil, atau respon sistem akan berosilasi.

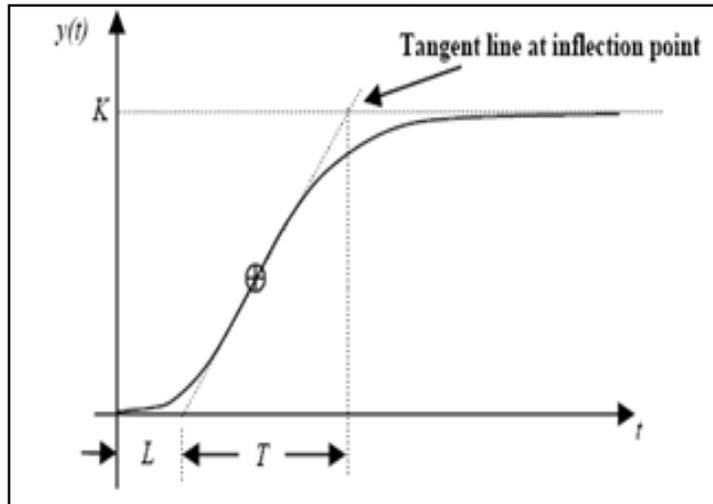
Kontroler Proporsional dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + U_b$$

Perancangan kontroler PID dapat dibagi menjadi beberapa metode, salah adalah metode *Ziegler-Nichols*. Metode *Ziegler-Nichols* memiliki dua cara, yaitu metode kurva reaksi dan metode osilasi (Astrom, 2003). Metode kurva reaksi didasarkan pada reaksi sistem untai terbuka.

Kurva keluaran dari sistem ini kemudian akan digunakan untuk mencari konstanta-konstanta yang akan dipakai untuk penalaan parameter PID. Konstanta yang dibutuhkan adalah waktu mati (L) dan waktu tunda (T).

Penentuan kedua konstanta tersebut ditunjukkan pada Gambar 1 (Juharsyah, 2011).



Gambar 1. Kurva Respon berbentuk S

Pada kurva dibuat suatu garis yang bersinggungan dengan garis kurva. Garis singgung itu akan memotong sumbu absis dan garis maksimum. Perpotongan garis singgung dengan sumbu absis ini adalah ukuran waktu mati dan perpotongan dengan garis maksimum merupakan ukuran waktu tunda.

Waktu mati adalah waktu yang dibutuhkan sistem dalam merespon masukan

untuk pertama kalinya, sedangkan waktu tunda adalah waktu yang dibutuhkan sistem sejak pertama kali merespon masukan hingga mencapai nilai yang diinginkan.

Ziegler dan Nichols melakukan eksperimen dan menyarankan penalaan parameter PID berdasarkan pada konstanta T dan L. Tabel 1 merupakan rumusan penalaan parameter PID dengan metode kurva reaksi.

Tabel 1. Penalaan Parameter PID dengan Metode Kurva Reaksi

Tipe Kontrol	Kp	Ti	Td
P	T/L	~	0
PI	0,9 T/L	L/0,3	0
PID	1,2 T/L	2.L	0,5.L

Pada penelitian ini, tipe pengendali yang dibuat adalah Proporsional sehingga menggunakan rumusan T/L untuk mendapatkan nilai Kp. Kp adalah Konstanta Proporsional yang merupakan bilangan yang nantinya akan dikalikan dengan selisih nilai suhu saat ini dengan suhu ideal yang ingin dicapai.

2.3. PLC Omron CPM2a

PLC OMRON merupakan sebuah alat instrumentasi yang memiliki banyak kemampuan. Selain sebagai pengolah data, PLC ini juga memiliki fungsi-fungsi tambahan seperti : *counter*, *timer*, ADC dsb. PLC tipe CPM2a ini juga memiliki modul tambahan berupa modul analog tipe MAD11 yang memiliki 2 analog input dan 1 analog output. Pengoperasian PLC cukup mudah karena berbasis pada pemrograman menggunakan diagram ladder. Koneksi dengan dunia luar juga sangat terbuka karena dapat dihubungkan

ke dalam komputer melalui komunikasi serial menggunakan port serial RS-232 (DB9). Dengan demikian, PLC juga memiliki kemampuan untuk menampilkan dan menyimpan data dalam aplikasi program yang lainnya, misalnya : program tampilan dan database. Program yang dapat digunakan sebagai program tampilan adalah Delphi sedangkan untuk database dapat menggunakan program *microsoft access* (OMRON, 2004).

PLC adalah piranti instrumentasi dan antar-muka (*interface*) antara manusia, komputer, dan alat destilasi yang akan digunakan untuk proses destilasi bio-etanol. Data suhu dari sensor akan dikirimkan melalui PLC Omron CPM2A untuk dapat diolah di dalam program (Komputer). Hasil pengendalian akan dikirimkan kembali ke alat melalui PLC ini.

Perancangan *CX-Programmer* ditujukan untuk mengatur PLC dan modul analog MAD11. Program yang dibuat berupa diagram ladder

yang berisi pengaturan daerah kerja ADC/DAC dan urutan proses yang dilakukan dalam PLC. Instruksi-instruksi yang digunakan dalam program *CX-Programmer* ini mengacu pada proses-proses yang akan dilakukan. Untuk proses pemindahan atau pengisian data pada alamat memori digunakan instruksi MOV. Dalam hal ini, jumlah data yang dipindahkan disesuaikan dengan jumlah bit pada alamat tujuan pemindahan. Instruksi lain yang digunakan adalah *SET/RESET* yang berfungsi untuk mengatur data 1 bit pada alamat tertentu. Untuk data bit = '1' digunakan instruksi *SET*, sedangkan instruksi *RESET* digunakan untuk mengatur data bit = '0' (OMRON, 2004).

Dalam program *CX-Programmer* terdapat pula intruksi *Compare* (CMP) yang digunakan dalam algoritma percabangan (*branch*). Intruksi ini digunakan dalam proses pengecekan status port komunikasi saat akan dilakukan transfer data antara PLC dan komputer. Bila status port ini dinyatakan siap (terhubung), maka program *CX-Programmer* akan mengatur PLC untuk mengirimkan data ke komputer dengan perintah *Transmit* (TXD). Selain proses percabangan, PLC juga memiliki fitur pewaktu (*timer*). Terdapat 4 macam *timer* yang dikelompokkan berdasarkan orde atau unit waktunya. Yang pertama, intruksi TIM yaitu *timer* dengan unit waktu 0,1 s. *Timer* kedua adalah *High-Speed Timer* (TIMH) yaitu *timer* dengan unit waktu 0,01 s. *Timer* ketiga adalah *Very High-Speed Timer* (TMHH) yaitu *timer* dengan unit waktu 1 ms. *Timer* keempat adalah *Long Timer* (TIML) yaitu *timer* dengan unit waktu 10 s. Dalam perancangan ini digunakan instruksi TIMH untuk mendapatkan unit waktu yang cukup cepat untuk membaca perubahan sensor (OMRON, 2004).

3. METODE PENELITIAN

Tahap-tahap yang dilakukan dalam penelitian ini terdiri dari 7 bagian utama, yaitu ;

1. Studi Pustaka

Langkah ini dilakukan sebelum dan selama penelitian berlangsung. Sumber yang digunakan mencakup pustaka cetak dan pustaka elektronik berupa hasil *download* dari internet.

2. Pengambilan data awal

Akuisisi data dilakukan sebelum melakukan perancangan. Langkah ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik sistem yang akan dikendalikan. Hasil dari langkah ini akan

digunakan sebagai acuan perancangan yaitu untuk penalaan parameter Kp.

3. Perancangan

Langkah ini terdiri dari perancangan perangkat keras (*hardware*) dan perancangan perangkat lunak (*software*). Perancangan *hardware* meliputi perancangan *plant* dan perancangan rangkaian pendukung, sedangkan perancangan *software* meliputi perancangan program pada PLC, program monitoring dalam Delphi dan basis data.

4. Realisasi perancangan

Setelah proses perancangan, maka dilanjutkan dengan proses pembuatan *hardware* dan *software* (realisasi). Bila seluruh unsur penyusun telah lengkap, maka akan dilakukan koneksi antara *plant*, PLC, modul analog dan komputer.

5. Uji validasi

Proses pengujian dapat dilakukan jika semua bagian sistem telah dapat bekerja dan berinteraksi dengan baik. Pada tahap ini dilakukan pengambilan data utama yang akan digunakan dalam proses analisis.

6. Analisis dan Kesimpulan

Analisis dilakukan berdasarkan data-data yang diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan. Hasil analisis ini diharapkan dapat memberikan kesimpulan yang memenuhi tujuan penelitian.

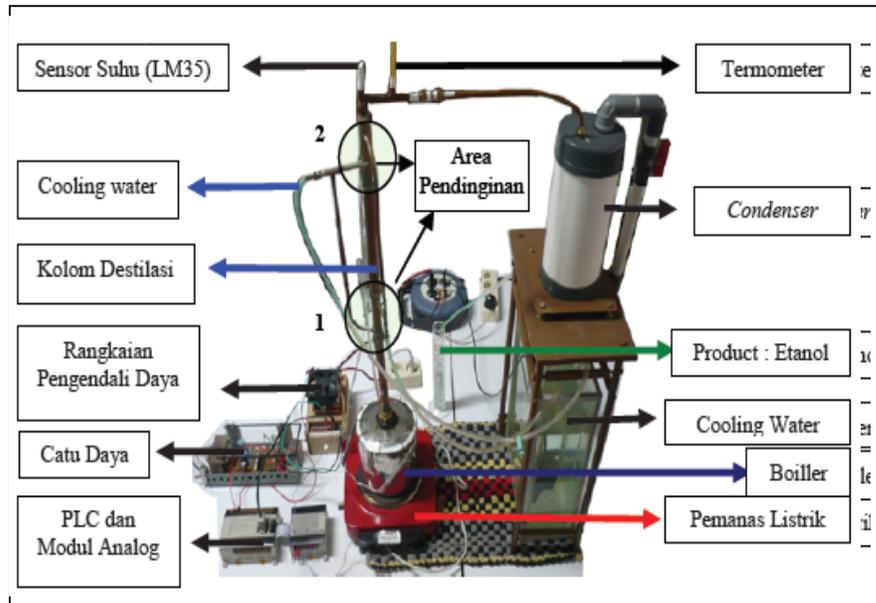
7. Revisi / koreksi

Langkah koreksi dilakukan setelah hasil penelitian ini diuji dan dipertahankan oleh peneliti di depan penguji. Dari hasil koreksi ini diharapkan bisa menjadi pertimbangan / masukan untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. *Plant hasil perancangan*

Pada *plant* destilator, sensor suhu LM35 dipasang di puncak kolom destilasi. Data sensor akan dibaca oleh modul analog untuk kemudian dikirimkan oleh PLC ke komputer. Hasil pengolahan di komputer akan dikirimkan kembali ke PLC untuk mengendalikan rangkaian pengendali daya. Masukan tegangan pengendali DC akan digunakan untuk mengatur tegangan keluaran AC pada rangkaian pengendali daya. Tegangan keluaran AC ini kemudian akan digunakan untuk mengatur pemanas listrik, untuk mengendalikan suhu *boiler*. *Plant* destilator yang dibuat ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. *Plant* Destilator
Sumber: Rapiyanta, 2011

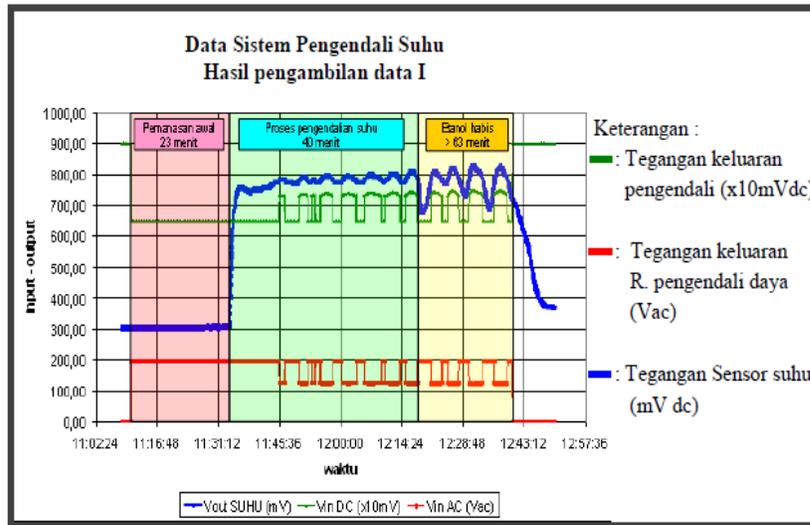
Plant destilator yang dibuat ditunjukkan pada Gambar 2. Termometer dipasang berdekatan dengan sensor suhu LM35 untuk mendapatkan kesesuaian dengan nilai yang sebenarnya. Data sensor akan dibaca oleh modul analog untuk kemudian dikirimkan oleh PLC ke komputer. Hasil pengolahan di komputer akan dikirimkan kembali ke PLC untuk mengendalikan rangkaian pengendali daya. Masukan tegangan pengendali DC akan digunakan untuk mengatur tegangan keluaran AC pada rangkaian pengendali daya. Tegangan keluaran AC ini kemudian akan digunakan untuk mengendalikan daya pemanas listrik, untuk menjaga suhu *boiler* agar dapat menghasilkan uap etanol pada titik didihnya.

Pada proses pemanasan awal, pemanas akan diberi tegangan masukan maksimum agar dapat memanaskan *boiler*. Etanol dalam *boiler* akan menguap dan terpisah dari larutan bahan baku bila dipanaskan di atas titik didihnya. Uap etanol akan mengalami 2 kali proses pendinginan awal saat melewati kolom destilasi. Pada area pendinginan 1 dan 2, uap etanol akan tertahan sementara karena terkondensasi oleh air pendingin. Uap etanol yang dihasilkan *boiler* akan terus bertambah banyak dan bertambah panas sampai uap ini mampu lolos dari area pendinginan. Pada proses pemanasan awal dibutuhkan waktu yang cukup lama agar uap etanol bisa lolos dan sampai ke puncak kolom destilasi. Hal ini disebabkan karena larutan bahan baku harus dipanaskan dari suhu awal sekitar 30°C hingga mencapai suhu di atas 80 °C. Setelah dihasilkan

uap etanol pada *boiler*, akan dibutuhkan waktu lagi untuk membuat uap etanol ini lolos dari 2 area pendinginan pada kolom destilasi. Uap etanol yang dihasilkan kemudian akan dilewatkan pada kondenser untuk mengubah uap etanol dari fasa gas menjadi fasa cair. Pada kondenser, uap etanol akan dikondensasi oleh air pendingin. Air pendingin (*cooling water*) ditempatkan pada sebuah wadah kaca di bawah *condenser*. Air ini dipompa oleh sebuah pompa aquarium berdaya 11 W untuk mensuplai air pendingin ke kolom destilasi dan *condenser*. Suhu air pendingin akan terus meningkat karena air pendingin ini tidak mengalami pergantian selama proses berlangsung. Jika akan digunakan untuk skala produksi yang lebih besar maka air pendingin ini harus selalu disirkulasi / ditambah dengan air baru agar proses pendinginan uap (kondensasi) dapat berlangsung dengan baik.

b. Hasil pengendalian suhu

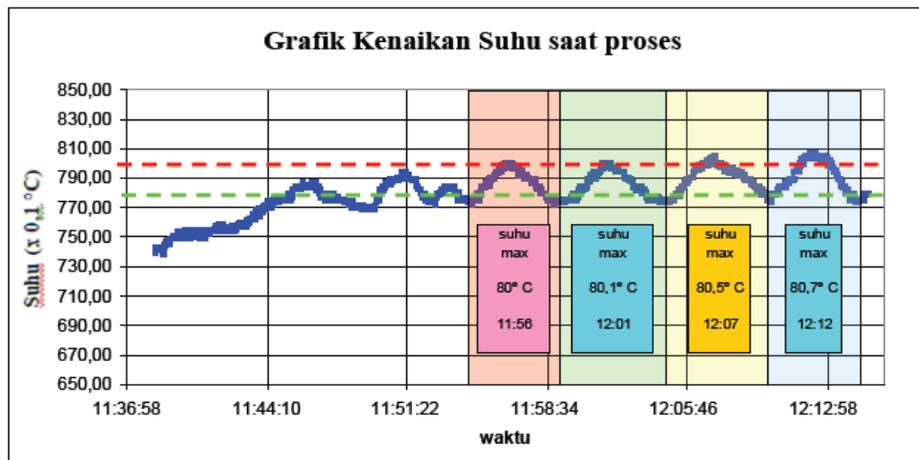
Data pengendalian didapatkan dari satu kali proses destilasi dari awal pemanasan sampai etanol yang diproses habis. Pada proses pengambilan data, pengamatan dilakukan pada beberapa parameter yaitu; waktu, tegangan keluaran sistem pengendali (mV DC), tegangan pemanas (AC), suhu destilator, dan jumlah etanol yang dihasilkan. Data-data ini kemudian ditampilkan dalam sebuah grafik. Data sistem pengendali suhu hasil pengamatan pertama pada tanggal 6 oktober 2010 ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik pengambilan data sistem I (Rapiyanta, 2011)

Pada Gambar 3 ditunjukkan 3 bagian utama dalam proses pengendalian suhu. Bagian pertama (berwarna merah muda) merupakan proses pemanasan awal, yaitu proses untuk menghasilkan uap etanol yang pertama. Bagian kedua (berwarna biru muda) merupakan proses utama pengendalian suhu. Pada proses ini sistem pengendali suhu bekerja untuk mengatasi fluktuasi suhu yang terjadi dengan mengatur tegangan keluaran yang diberikan pada pemanas. Faktor yang berpengaruh

terhadap perubahan suhu adalah jumlah larutan yang dipanaskan dan suhu air pendingin. Pengurangan volume larutan yang dipanaskan dan kenaikan suhu air pendingin akan menyebabkan peningkatan kecepatan pemanasan pada *plant* destilator. Perubahan ini akan menyebabkan kecenderungan peningkatan suhu pada destilator saat proses destilasi. Pada Gambar 4 ditunjukkan kenaikan suhu yang terjadi saat proses destilasi.



Gambar 4. Grafik kenaikan suhu saat proses destilasi (Rapiyanta, 2011)

Berdasarkan Gambar 4 dapat diketahui bahwa suhu maksimal yang terukur oleh sensor semakin meningkat yaitu berkisar dari 0,1° C sampai 0,4° C. Peningkatan suhu ini masih

berada dalam nilai toleransi karena pada nilai *error* suhu ini belum banyak mempengaruhi produk etanol yang dihasilkan. Pengendalian nilai kesalahan ini membuktikan bahwa

pengendali telah dapat meminimalisir lonjakan suhu.

Pada Gambar 4, suhu yang dibaca oleh sensor berada pada rentang 77,6 sampai 80,7° C. Hasil pengendalian ini masih memiliki kesalahan (*error*) sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Error batas bawah} &= [(FB_{\min} - SP_{\min}) / SP_{\min}] * 100\% \\ &= [(77,6 - 78) / 78] * 100\% \\ &= -0,51282\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Error batas atas} &= [(FB_{\max} - SP_{\max}) / SP_{\max}] * 100\% \\ &= [(80,7 - 80) / 80] * 100\% \\ &= 0,875\% \end{aligned}$$

Nilai *error* (SSE) saat pengendalian suhu pertama yang lebih kecil dari $\pm 1\%$ dan suhu maksimum destilator hanya mencapai suhu 80,7° C. Pada suhu ini, air yang ikut menguap relatif masih sedikit sehingga kadar etanol yang dihasilkan dapat tercapai yaitu 70%. Kadar ini diperoleh dari pengukuran menggunakan alkoholmeter.

Pada penelitian ini, pengendali proporsional diterapkan hanya pada proses pendinginan suhu dan tidak pada proses pemanasan. Hal ini disebabkan karena spesifikasi pemanas yang membutuhkan masukan maksimum agar dapat memanaskan *boiler* sehingga untuk proses pemanasan diberikan respon maksimum. Pada proses pendinginan diberikan nilai K_p pendinginan sebesar 3,49995. Pengaruh nilai K_p pendinginan tidak besar karena dikalikan dengan nilai *error* dalam orde puluhan millivolt, sedangkan keluaran pengendali dalam orde ribuan millivolt. Hal ini menyebabkan respon proses pendinginan menjadi lebih lambat.

Respon sistem pengendali suhu ini lebih cepat jika dibandingkan dengan sistem manual karena sistem pembacaan data sensor yang dilakukan setiap 3 detik oleh PLC, sehingga perubahan suhu dapat dibaca dan direpson dalam waktu yang singkat. Bahkan PLC Omron ini dapat diatur untuk melakukan proses pembacaan dan pengiriman data dalam orde waktu hingga 1 ms untuk sistem yang membutuhkan respon yang cepat.

PLC juga memiliki resolusi pembacaan data sensor yang jauh lebih baik dari sistem konvensional. Pengamatan termometer terbatas pada skala terkecil yang tertera yaitu 1°C, sedangkan jika dilakukan oleh PLC maka akan didapatkan resolusi yang lebih baik untuk perubahan tiap bit yaitu sebesar 0,0833°C.

Proses pengendalian suhu berlangsung selama 40 menit sampai etanol yang disuling habis. Penghentian proses destilasi dilakukan secara otomatis oleh program pengendali dengan memutuskan koneksi port komunikasi. Penghentian ini berdasarkan perhitungan perubahan suhu destilator yang menjadi detektor habisnya etanol. Bila etanol dalam larutan bahan baku telah habis maka akan memicu ketidak-seimbangan konsentrasi uap yang dihasilkan sehingga akan terjadi perubahan suhu yang drastis.

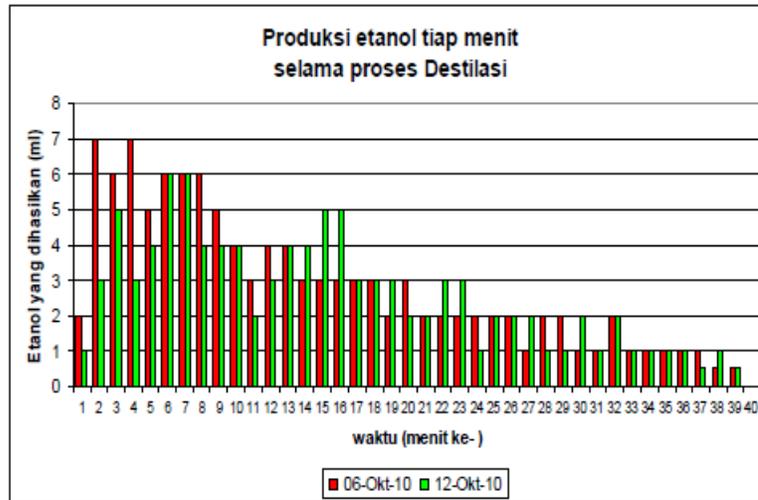
c. Waktu proses dan etanol yang dihasilkan

Waktu proses destilasi berkisar dari 60 - 70 menit. Untuk proses pemanasan awal membutuhkan waktu sekitar 20 - 25 menit dan untuk proses utama destilasi membutuhkan waktu sekitar 40 - 50 menit. Pada 40 menit proses utama destilasi, debit etanol yang dihasilkan berubah-ubah. Pada Gambar 5 ditunjukkan grafik produksi etanol tiap menit selama proses destilasi.

Pada Gambar 5 terlihat bahwa terjadi penurunan produksi etanol. Grafik produksi etanol ini membuktikan bahwa dengan bertambahnya jumlah etanol yang dihasilkan akan mengurangi konsentrasi etanol pada larutan bahan baku sehingga akan terjadi penurunan produksi etanol.

Tabel dan grafik produksi etanol ini membuktikan bahwa dengan bertambahnya waktu, maka etanol yang dihasilkan akan bertambah dan akan mengurangi volume cairan yang disuling. Jika diberikan perlakuan suhu pemanasan yang sama (*setpoint* = 78°C), maka akan mengakibatkan penurunan produksi etanol karena konsentrasi etanol pada larutan bahan baku yang juga semakin sedikit. Dengan fakta ini dapat diketahui pula bahwa jumlah air yang ikut menguap juga sedikit karena belum mencapai titik didih air, sehingga kadar etanol yang dihasilkan akan tetap berada pada nilai yang diinginkan yaitu 70%.

Pada penelitian ini, kecepatan produksi tidak dikendalikan secara khusus karena pengendalian hanya dilakukan untuk menjaga suhu *boiler* agar dapat menghasilkan uap etanol pada suhu didihnya yaitu 78 - 80°C. Produksi etanol dapat ditingkatkan jika pemanas yang digunakan memiliki kapasitas pemanasan yang besar sehingga proses penguapan dapat dipercepat dan menghasilkan uap etanol yang banyak. Selain itu, untuk mengimbangi proses penguapan yang cepat dibutuhkan pula sistem pendinginan uap yang lebih besar pada kondenser.



Gambar 5. Grafik produksi etanol tiap menit selama 40 menit proses utama Destilasi (Rapiyanta, 2011)

d. *Analisa ekonomi pembuatan etanol*
 Etanol 70% digunakan sebagai bahan bakar alternatif pengganti minyak tanah. Harga minyak tanah saat ini Rp. 6.500 per liter (november 2010). Etanol diharapkan dapat

menjadi bahan bakar terbaharukan yang lebih ekonomis. Pada Tabel II ditunjukkan rincian biaya yang digunakan untuk membuat 1,5 liter etanol.

Tabel 2. Rincian Biaya Yang Digunakan Untuk Membuat 1,5 Liter Etanol (Rapiyanta, 2011)

Proses	Pengeluaran	Jumlah	Harga/satuan	Total
Femertasi	Tetes	4,2 Kg	Rp 2.500 /Kg	Rp 10.500
	Ragi	4,2 gr	Rp 3.000/11 gr	Rp 1.145
	Pupuk NPK	10 gr	Rp 4.000 /Kg	Rp 40
	Pupuk Urea	2 gr	Rp 2.500 /Kg	Rp 5
Total: ~ 15 Kg	Air	10,8 Kg	-	-
Destilasi	Listrik Pompa 1	9kwh	Rp 3.000kwh	Rp 27.000
	Listrik Pompa 2	0,19kwh	Rp 3.000kwh	Rp 585
Total				Rp 39.275

Etanol yang dibuat menggunakan bahan baku tetes tebu yang dapat diperoleh dari pabrik gula. Bahan baku ini kemudian difermentasikan dengan ragi dan beberapa bahan tambahan lainnya. Setelah difermentasi, larutan ini kemudian disuling (destilasi). Proses ini membutuhkan energi dari sumber listrik PLN untuk pemanas *boiller* dan pompa air pendingin pada kondenser. Pada Tabel II, biaya untuk air dianggap 0 atau tidak ada karena pada pembuatan etanol ini, air dapat diperoleh dengan mudah tanpa membutuhkan tenaga atau biaya tambahan. Namun bila nantinya akan digunakan dalam pembuatan skala besar, maka biaya untuk pengadaan air harus ikut diperhitungkan. Demikian pula dengan biaya yang dibutuhkan untuk pengadaan pupuk NPK dan urea yang sangat kecil, sehingga baru akan diperhitungkan jika akan digunakan untuk pembuatan etanol skala besar.

Biaya total untuk memproduksi 1,5 liter etanol adalah Rp 39.275,- atau setara dengan Rp 26.183,- /liter. Harga ini masih lebih mahal jika dibandingkan dengan harga minyak tanah. Maka diperlukan kajian ulang untuk mengurangi biaya produksi etanol.

Pada sebuah artikel dalam majalah Gatra edisi 4 agustus 2010, Direktur PT. Energi Karya Madani, S. Adibrata, menerangkan bahwa biaya produksi total untuk 1 liter bio-etanol adalah Rp 3.400,- dan akan dijual dengan harga Rp 4.500,- / liter. Harga jual bio-etanol produk PT. Energi Karya Madani ini lebih murah dari harga minyak tanah saat ini sehingga dapat dikatakan bahwa bio-etanol berbahan baku singkong ini telah dapat menjadi energi alternatif pengganti minyak tanah yang lebih ekonomis.

5. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

1. Pengendali suhu telah dapat mengendalikan suhu destilator sehingga dapat bekerja pada rentang nilai titik didih etanol yaitu : 78 - 80°C.
2. Sistem telah dapat bekerja stabil dengan nilai kesalahan (*error*) suhu dibawah 3 %. Nilai kesalahan ini tidak banyak mempengaruhi hasil proses destilasi sehingga akan didapatkan produk etanol yang memiliki keseragaman kadar.
3. Sistem dapat menghasilkan produk etanol yang memiliki keseragaman kadar yaitu 70%. Etanol pada nilai ini telah dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif pengganti minyak tanah.
4. Pengaturan Bit rate komponen *ADConnection* pada program antar-muka (interface) yang dibuat dalam Delphi akan mempengaruhi akurasi data yang didapatkan dari sensor.
5. Kendali proporsional diterapkan pada proses pendinginan dengan nilai K_p sebesar 3,49995.
6. PLC Omron CPM2a dapat digunakan untuk proses akuisisi data sensor pada unit waktu yang kecil yaitu hingga orde 1 ms sehingga dapat digunakan untuk menangani proses yang cepat.
7. Penggunaan bahan baku dari tetes tebu (*mollase*) dan pemanas *boiler* dengan kompor listrik mengakibatkan biaya produksi etanol menjadi mahal sehingga hasil etanol dalam penelitian ini belum ekonomis.

Daftar Pustaka

Musanif, J., 2009 , “Bio-etanol”, <http://agribisnis.deptan.go.id/xplore/>

files / Pengolahan - hasil/BioEnergi Lingkungan / Bio Energi – Perdesaan / BIOFUEL / Bioethanol.pdf , Tgl akses 27 april 2010

-----, 2009, “Proses-produksi-bioetanol”, <http://www.alpensteel.com/article/51-113-energi-lain-lain/510-proses-produksi-bioetanol.html>, tanggal akses 27 april 2010

Harahap, H., 2003, “Produksi Alkohol”, <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/1337/1/tkimia-hamidah.pdf> , Karya ilmiah Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara , Tanggal akses 15 maret 2010.

Astrom, K. J. and Hagglund, T. , 2003 , “PID Control—Theory, Design, and Tuning“. Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Juharsyah, Deni, 2011, “Perbandingan Unjuk Kerja Kontroller PID Metode Pertama Ziegler-Nichols dan CMAC (*Cerebellar Model Articulation Controller*) pada Pengendalian *Plant* Suhu”, <http://www.eprints.undip.ac.id/25434/1/ML2F000592.pdf> , Tanggal akses 6 september 2012

-----, 2004 , “Programmable Controllers – Programming Manual” , Omron. Revised february 2004.

Rapiyanta,P.T., 2011, “Pengaturan Suhu Destilator Pada Proses Destilasi Bio-Etanol Berbasis Kendali Proporsional menggunakan PLC Omron CPM2A”, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.