

TEKNOIN

JURNAL TEKNOLOGI INDUSTRI

ISSN 0853-8697

Volume 18, Nomor 1, Maret 2012

Studi Perancangan Pengontrol Suhu Pemanas Air dengan Jaringan Syaraf Tiruan
Dwi Ana Ratna Wati, Wahyudi Budi Pramono, Hanung Pratama Nugraha

Model Optimasi Tangki Tandon Air Perumahan yang Meminimumkan Total Biaya
Farham HM Saleh

Wattmeter Digital Berbasis Mikrokontroler
Freddy Kurniawan

Alat Anotasi untuk Sel Epitel pada Citra Pap Smear
Izzati Muhimmah, Pranajaya

Pengujian Keandalan Sistem Elektronis dan Telecommand
pada Robot Penjelajah
Romi Wiryadinata , Frandi Adi Kaharjito

Pirolisis Tongkol Jagung dan Tempurung Kelapa Sekaligus
Pengambilan Asap Cair (Liquid Smoke) secara Kondensasi
Siti Jamilatun

Kajian Produksi Hidrogen dari Biomassa
Sutarno, Arif Hidayat dan Faisal RM

TEKNOIN

Jurnal Teknologi Industri

Jurnal Teknologi Industri TEKNOIN adalah jurnal yang mengkaji masalah yang berhubungan dengan teknologi industri. Penelitian yang dilaporkan dapat berupa penelitian untuk pengembangan keilmuan atau terapan.

Jurnal ini terbit empat kali dalam setahun,
setiap bulan Maret, Juni, September, dan Desember

Pelindung
Gumbolo Hadi Susanto

Pemimpin Umum
Agus Taufiq

Pemimpin Redaksi
M. Ridlwan

Sekretaris Redaksi
Winda Nur Cahyo

Dewan Redaksi
R. Chairul Saleh
Hari Purnomo
Asmanto Subagyo
Sri Kusumadewi
Mauridy Heri Purnomo
Tito Yuwono
Waziz Wildan

Administrasi
Pangesti Rahman
Sarjudi

Alamat Redaksi
Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang Km. 14,5 Yogyakarta 55501
Telp. (0274) 895287, Faks. (0274) 895007
E-mail: teknoin@fti.uii.ac.id

DAFTAR ISI

- 1-7 **STUDI PERANCANGAN PENGONTROL SUHU PEMANAS AIR DENGAN JARINGAN SYARAF TIRUAN**
Dwi Ana Ratna Wati, Wahyudi Budi Pramono, Hanung Pratama Nugraha
- 8-12 **MODEL OPTIMASI TANGKI TANDON AIR PERUMAHAN YANG MEMINIMUMKAN TOTAL BIAYA**
Farham HM Saleh
- 13-25 **WATTMETER DIGITAL BERBASIS MIKROKONTROLER**
Freddy Kurniawan
- 26-31 **ALAT ANOTASI UNTUK SEL EPITEL PADA CITRA PAP SMEAR**
Izzati Muhimmah, Pranajaya
- 32-39 **PENGUJIAN KEHANDALAN SISTEM ELEKTRONIS DAN TELECOMMAND PADA ROBOT PENJELAJAH**
Romi Wiryadinata , Frandi Adi Kaharjito
- 40-46 **PIROLISIS TONGKOL JAGUNG DAN TEMPURUNG KELAPA SEKALIGUS PENGAMBILAN ASAP CAIR (LIQUID SMOKE) SECARA KONDENSASI**
Siti Jamilatun
- 47-69 **KAJIAN PRODUKSI HIDROGEN DARI BIOMASSA**
Sutarno, Arif Hidayat dan Faisal RM

Redaksi menerima tulisan yang belum pernah diterbitkan atau dalam proses penerbitan dari kalangan akademisi dan peneliti. Redaksi berhak mengubah tulisan tanpa mengurangi atau mengubah maksudnya. Pedoman penulisan tercantum pada bagian akhir Jurnal ini.

STUDI PERANCANGAN PENGONTROL SUHU PEMANAS AIR DENGAN JARINGAN SYARAF TIRUAN

Dwi Ana Ratna Wati, Wahyudi Budi Pramono, Hanung Pratama Nugraha
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia
Jalan Kaliurang Km.14,5 Sleman, Yogyakarta 55501

ABSTRACT

Water heater is applied in many process in industry and in many home appliance. The control algorithm is needed in the heater to maintain the temperature of the water. This research proposed new method on controlling the heater using backpropagation neural network. LM35 was used as the temperature sensor, connected to the analog input NI DAQ USB 6009 as the acquisition hardware. The neural network control algorithm, implemented in Matlab Simulink, generated control signal in the range of 0-5 volt that was applied to manipulated the power supplied to the heater. Based on the experiment, the neural network structure with 2 hidden layers with 10 and 5 neurons in each, and tangent sigmoid activation function is the best structure with 9.68815×10^{-8} Mean Square Error (MSE). This neural network controller also has good performance on step response in the set point range of 40°C - 90 °C and able to compensate the disturbance with fast response.

Keywords : neural network, temperature control, water heater.

1. PENDAHULUAN

Teknik pengontrolan otomatis memberikan peranan yang sangat besar dalam kehidupan, baik dalam aplikasi di rumah tinggal, transportasi, komunikasi maupun di industri. Beberapa diantaranya adalah pengaturan suhu ruangan, pengaturan kelembaban, pengaturan level air, pengaturan kecepatan motor, dan pengaturan tekanan udara. Sistem kontrol memungkinkan sebuah sistem bekerja dengan performansi yang baik, sehingga tercapai tujuan perancangannya yaitu untuk kenyamanan, keamanan, dan efisiensi proses.

Sistem kontrol suhu pada pemanas air dibutuhkan untuk kepentingan rumah tangga maupun industri. Sistem pemanas air banyak digunakan dalam industri pengolahan minyak, pengolahan pupuk, pengolahan makanan, pengolahan tambang, dan sebagainya. Dalam prosesnya, pemanas air membutuhkan sistem pengontrol yang dapat mengatur suhu. Pengontrolan bisa dilakukan secara manual maupun secara otomatis. Sistem kontrol tersebut dibutuhkan untuk

menjaga kondisi agar suhu air dalam keadaan suhu yang diinginkan.

Dalam penelitian ini, dirancang dan direalisasikan sistem kontrol pemanas air dengan menggunakan algoritma jaringan saraf tiruan *Backpropagation*. Tujuannya adalah dihasilkannya sistem pemanas air dengan respon yang cepat, sekaligus mempunyai kestabilan yang baik.

Perancangan pengendali dimulai dari tahap identifikasi sistem yaitu pengambilan data input dan output yang akan digunakan sebagai data pelatihan. Jaringan saraf tiruan dilatih dan diimplementasikan dengan *software Matlab* dan *Simulink*. NI DAQ USB 6009 digunakan sebagai perangkat akuisisi data dari sensor suhu LM35 dan sebagai ADC yang dihubungkan ke aktuator.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian mengenai identifikasi sistem pemanas air telah dilakukan (Priawan, Rizki: 2010). Penelitian ini mengakuisisi data dan identifikasi data serta model matematis pemanas air. Data diperoleh dari nilai tegangan sensor suhu LM35 yang diambil

oleh perangkat keras akuisisi data NI DAQ 6009 dan hasilnya disimpan dalam PC menggunakan *Labview*. Setelah data diperoleh, proses identifikasi dilakukan dengan perangkat lunak *Matlab*. Data input berupa nilai tegangan yang dikeluarkan NI DAQ 6009 dan data output berupa nilai suhu yang telah dikonversi dari hasil pembacaan sensor LM35. Data yang diperoleh dibagi dua yaitu data estimasi dan data validasi. Data estimasi digunakan dalam proses identifikasi untuk mendapatkan persamaan matematis sistem pemanas air yaitu berupa fungsi alih dan proses model. Data validasi digunakan untuk menguji model hasil identifikasi tersebut. Model yang diperoleh dapat digunakan sebagai acuan dalam perancangan sistem kontrol pemanas air.

Penelitian perancangan pengendali suhu pemanas air dengan metode PID juga telah dilakukan (Andika, Roni: 2010). Pada penelitian ini telah dirancang dan diimplementasikan sistem kendali tipe PID untuk pengendalian suhu pada pemanas air. Sistem kendali tipe PID dibuat dengan menggunakan *Labview* 8.6 dengan nilai *setpoint* suhu sebagai masukan. Analog input (AI) NI DAQ 6009 terhubung dengan sensor suhu LM35 dan analog output (AO) terhubung dengan *driver* AC. Pada penelitian ini telah didapatkan performansi respon sistem pemanas air yang dapat mengikuti nilai suhu referensi, namun masih terdapat *overshoot* yang cukup tinggi.

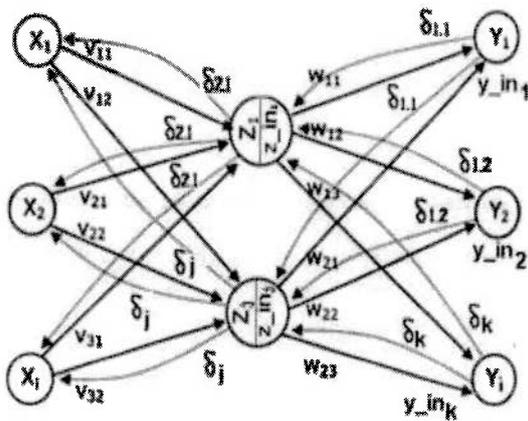
Penelitian tentang perancangan pengendali pemanas air dengan algoritma fuzzy telah dilakukan (Isnanto: 2011). Penelitian tersebut memfokuskan pada perancangan sistem *control and monitoring* suhu pemanas air. Sebagai pengendali digunakan logika *fuzzy*. *Control and monitoring* sistem dilakukan secara *real time* pada sebuah PC dengan menggunakan program *Labview* sebagai *Graphical User Interface* (GUI)-nya, sedangkan proses akuisisi datanya menggunakan NI USB - 6009. Perancangan *Fuzzy Logic Controller* (FLC) menggunakan *Labview PID and Fuzzy*

Logic Toolkit. Jaringan saraf tiruan merupakan bagian dari

Artificial Intelligence (AI). Sebagai sistem pengolah informasi, jaringan saraf tiruan mempunyai karakteristik yang sama dengan jaringan syaraf biologi. Jaringan syaraf tiruan telah dikembangkan sebagai generalisasi model matematis kognisi manusia atau syaraf biologi. Kemampuan yang dimiliki oleh jaringan saraf tiruan diperoleh dari proses belajar / pelatihan dengan menggunakan data yang diperoleh dari sistem dimana jaringan saraf tiruan tersebut akan diaplikasikan. Aplikasi jaringan saraf tiruan meliputi bidang pengolahan sinyal, pengenalan pola, klasifikasi pola sampai pada bidang kendali cerdas. Jaringan syaraf tiruan sebagai sistem kendali cerdas memiliki keunggulan sebagai berikut :

- a. Jaringan syaraf belajar dari pengalaman bukan diprogram.
- b. Jaringan syaraf memiliki kemampuan untuk melakukan generalisasi data yang tersembunyi berdasarkan data pelatihan yang ada.
- c. Jaringan syaraf memiliki kecepatan komputasi yang cepat dan dapat diimplementasikan secara *real time*.

Jaringan saraf tiruan *backpropagation* atau jaringan saraf tiruan rambat balik, ditunjukkan oleh gambar 1, adalah jaringan saraf dengan metode pembelajaran yang paling sederhana dan mudah dipahami dari metode - metode yang lain. jaringan saraf tiruan rambat balik ini akan merubah bobot dan biasanya untuk mengurangi perbedaan (*error*) antara output jaringan dan target output. Setelah pelatihan selesai, dilakukan pengujian terhadap jaringan yang telah dilatih. Pembelajaran algoritma jaringan syaraf membutuhkan perhitungan arah maju dan diikuti dengan perambatan mundur atau umpan balik nilai *error*. Keduanya dilakukan untuk semua pola pelatihan.

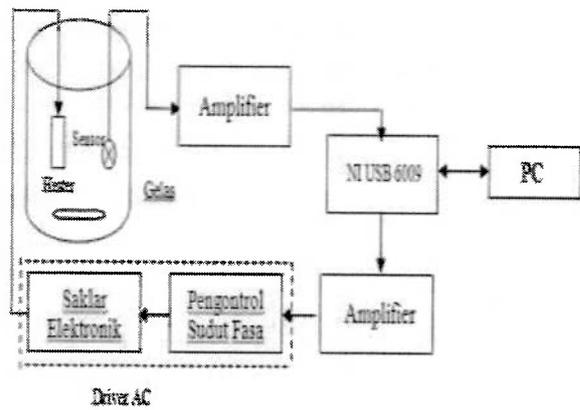


Gambar 1. Arsitektur Algoritma *Backpropagation*

3. PERANCANGAN SISTEM

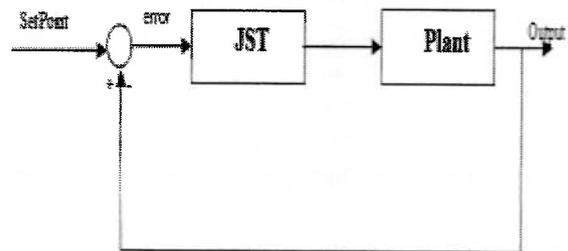
Pengendalian suhu air dilakukan dengan mengatur tegangan yang diberikan ke *heater*. Pengaturan tegangan dilakukan oleh blok driver AC berdasarkan output dari pengendali dengan algoritma jaringan syaraf tiruan *backpropagation*. Blok diagram sistem ditunjukkan gambar 2.

Tabung / tangki air menggunakan sebuah gelas ukur tahan panas sampai 200 °C dengan kapasitas maksimal 1 Liter. Sebagai pemanas digunakan sebuah elemen *heater* yang biasa digunakan pada pemanas air konvensional. *Plant* juga dilengkapi dengan *stirrer* / kipas yang akan memutar air sehingga penyebaran panasnya dapat lebih cepat merata. Penginderaan suhu air dilakukan oleh sensor suhu LM35 yang dibungkus dengan bahan anti air untuk menghindari terjadinya *short circuit*. Sensor suhu LM35 memiliki keluaran cukup kecil yaitu tiap kenaikan 1 °C akan menghasilkan kenaikan tegangan *output* sebesar 10 mV. Tegangan *output* sensor suhu LM35 masih dalam orde mV, sehingga perlu dikuatkan dengan menggunakan *amplifier* (*Op-Amp*) agar dapat dibaca oleh NI USB - 6009 dan dikirim ke PC sebagai data masukan.



Gambar 2. Blok Diagram Sistem

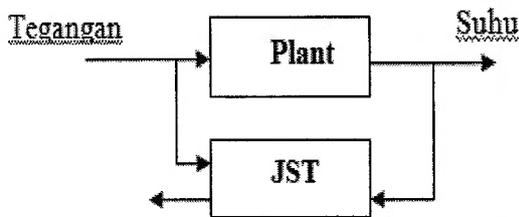
Perancangan jaringan saraf tiruan sebagai sistem pengendali suhu pemanas air didasarkan pada data hasil identifikasi sistem pemanas air secara kalang terbuka, yaitu tegangan kontrol ke pemanas air divariasikan dan nilai suhu air sebagai *output* sistem diobservasi. Data hasil identifikasi ini digunakan sebagai data pelatihan jaringan saraf tiruan dengan input berupa sinyal error suhu dan *output* atau target adalah perubahan sinyal kontrol. Dalam implementasinya sebagai pengendali, jaringan saraf tiruan akan dihubungkan secara kalang tertutup dengan *plant* pemanas air seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Blok Diagram Sistem Kendali Kalang Tertutup Menggunakan Jaringan Saraf Tiruan (JST)

Saat SP (*Setting Point*) diinputkan ke dalam sistem, maka sistem akan menghitung *error* (*e*). Variabel *error* (*e*) ini akan menjadi *input* dalam jaringan saraf tiruan yang berupa perangkat lunak sistem. *Output* dari jaringan

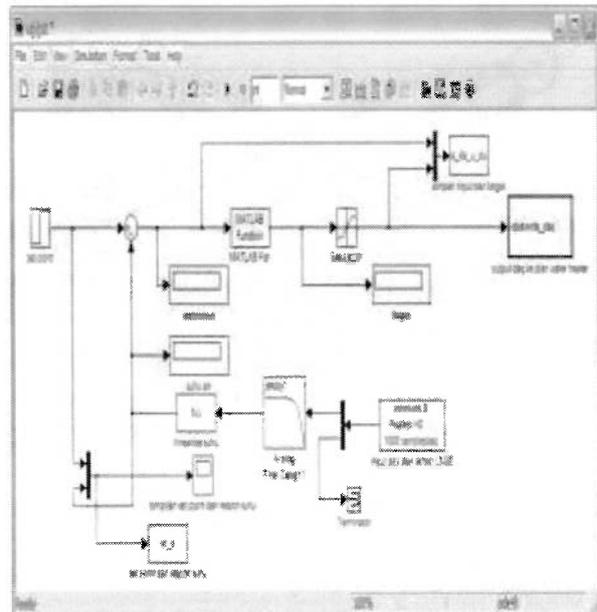
saraf tiruan memberikan aksi kendali pada *plant*, dalam hal ini mengaktifkan *driver* AC untuk mengatur *supply* tegangan 0 - 220 Volt AC ke *heater*. Suhu *output plant* akan diumpankan balik guna menghitung sinyal *error*.



Gambar 4. Model *Inverse* Pelatihan

Pelatihan dari sistem pengendalian dirancang dengan menggunakan metode *inverse* (gambar 4), dimana masukan dari *plant* adalah sebagai target atau keluaran dari jaringan saraf tiruan, sehingga skenario keluarannya akan digunakan kembali sebagai masukan. Karena pada pelatihan menggunakan metode *inverse*, maka masukan dan keluaran dari sistem kendali yang sebenarnya akan dibalik pada saat pelatihan. Pada saat pelatihan masukan dari jaringan saraf tiruan adalah suhu, sedangkan keluaran atau target dari jaringan saraf tiruan adalah merupakan tegangan kontrol.

Hasil pelatihan terbaik diperoleh struktur jaringan saraf tiruan terdiri dari satu sel neuron input yaitu selisih antara *setpoint* dan harga suhu aktual. Lapisan tersembunyi terdiri atas dua lapisan masing - masing dengan 10 sel *neuron* dan 5 sel *neuron*. Fungsi aktivasi yang digunakan pada lapisan tersembunyi adalah fungsi *sigmoid bipolar*, sedangkan pada lapisan keluaran menggunakan fungsi aktivasi identitas. Gambar 5 menunjukkan blok diagram *simulink* yang digunakan untuk implementasi jaringan saraf tiruan sebagai pengendali pemanas air.

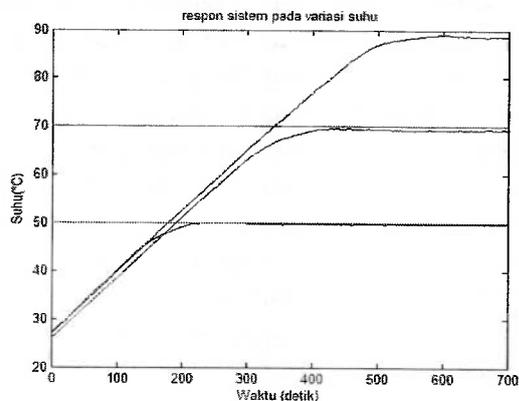


Gambar 5. *Simulink* Pengendali Pemanas Air Berbasis Jaringan Saraf Tiruan

4. ANALISIS HASIL PENGUJIAN

Untuk mengukur kinerja jaringan saraf tiruan yang telah dilatih, dilakukan tiga jenis pengujian yaitu pengujian sistem dengan variasi *setpoint*, pengujian sistem pada suhu referensi naik, serta pengujian sistem dengan pemberian gangguan. Pada pengujian dengan variasi nilai *setpoint*, dilakukan dengan cara memberikan nilai *setpoint* tertentu untuk mendapatkan grafik *step response*-nya. Pengujian dilakukan dengan memberikan suhu referensi *setpoint* sebesar 50 °C, 70 °C dan 90 °C. Hasil pengujian tersebut ditunjukkan oleh grafik pada gambar 6 dan spesifikasi *step response* dirangkum pada tabel 1. Pada saat *setpoint* 50°C waktu naik (*rise time*) yang dicapai adalah 152 detik, waktu mencapai *steady-state* (*settling time*) adalah 209 detik, lonjakan maksimum (*overshoot*) memiliki nilai yang kecil, yaitu 0.035 % dan waktu puncak (*peak time*) terjadi pada detik ke 252. Dengan demikian pada saat *setting value* 50°C sistem dapat bekerja dengan cukup baik. Pada saat *setpoint* 70 °C, waktu naik (*rise time*) yang dicapai adalah 291 detik, waktu mencapai *steady-state* (*settling time*) adalah 558 detik. Dari waktu *settling time* yang dihasilkan,

sistem membutuhkan waktu yang cukup lama untuk bisa mencapai kondisi *steady*. Lonjakan maksimum (*overshoot*) tidak terjadi, tetapi jika dilihat pada gambar respon yang dihasilkan sistem tidak dapat mencapai suhu referensi. Hal tersebut terjadi karena pada saat suhu *maximum* tercapai sebesar 69.63°C tegangan yang diberikan ke sistem dari hasil pelatihan jaringan saraf tiruan tidak dapat menaikkan suhu lagi. Waktu puncak (*peak time*) terjadi pada detik ke-437. Berdasarkan *step response* yang dihasilkan pada saat *setpoint* 70°C sistem masih dapat bekerja dengan cukup baik walaupun terjadi selisih dengan suhu target (*steady-state error*), tetapi masih cukup kecil. Pada saat *setpoint* 90 °C, waktu naik (*rise time*) yang dicapai adalah 416 detik. Karena suhu masih terus berosilasi cukup besar sampai dengan detik ke-700, maka *settling time* tidak terdeteksi (NaN) dan lonjakan maksimum (*overshoot*) tidak terjadi namun terjadi kesalahan keadaan tunak atau *offset*. Saat suhu mendekati *setting value*, pemanas sudah tidak dapat menaikkan suhu lagi dikarenakan tegangan yang diberikan ke pemanas semakin mendekati setting value semakin kecil. Semakin besar *setpoint* yang diberikan *offset* yang terjadi akan semakin besar dikarenakan tegangan yang dibutuhkan semakin besar atau tidak sama besarnya pada saat *setpoint* tertentu untuk mencapai keadaan tunaknya. Waktu puncak (*peak time*) terjadi pada detik ke-596.

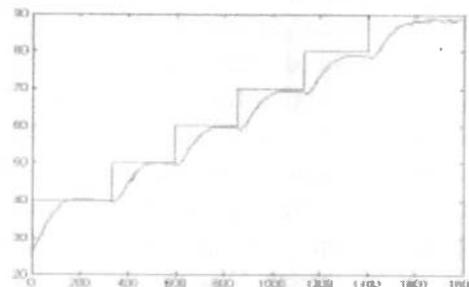


Gambar 6.Respon Sistem Pada Variasi Set Point

Tabel 1.Karakteristik Respon Sistem

Suhu Referensi	Parameter	
50°C	Rise Time (s)	152.5005
	Settling Time (s)	209.6798
	Settling Min (°C)	47.7646
	Settling Max (°C)	50.0175
	Overshoot (%)	0.0350
	Undershoot (%)	0
	Peak (°C)	50.0175
	Peak Time (s)	252
70°C	Rise Time (s)	291.1207
	Settling Time (s)	558.3409
	Settling Min (°C)	65.7025
	Settling Max (°C)	69.6357
	Overshoot (%)	0
	Undershoot (%)	0
	Peak (°C)	69.6357
	Peak Time (s)	437
90°C	Rise Time (s)	416.0944
	Settling Time (s)	NaN
	Settling Min (°C)	83.6706
	Settling Max (°C)	89.7913
	Overshoot (%)	0
	Undershoot (%)	0
	Peak (°C)	89.7913
	Peak Time (s)	596

Gambar 7 menunjukkan pengujian pada suhu referensi naik yang bertujuan untuk mengetahui kecepatan respon sistem pengendali jaringan saraf tiruan terhadap perubahan kenaikan suhu referensi. Hal ini penting untuk mengetahui apakah jaringan saraf tiruan yang dirancang dapat bekerja baik pada daerah operasi yang lebih luas. Pengujian dilakukan dengan cara memberikan variasi suhu masukan (referensi) sebesar 40 °C, 50 °C, 60°C, 70 °C, 80 °C dan 90 °C. Perubahan suhu referensi dilakukan ketika suhu *plant* berada pada keadaan *steady-state* pada tiap suhu referensinya. Berikut ditampilkan data grafik hasil pengujianya.

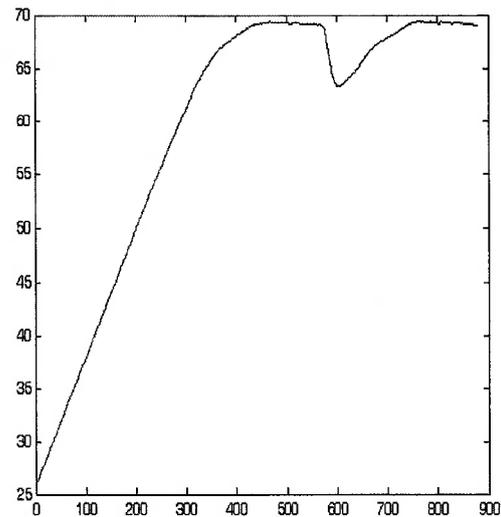


Gambar 7.Grafik Respon Sistem Pada Suhu Referensi Naik

Mula - mula suhu referensi sebesar 40 °C, setelah 129 detik suhu *plant* mencapai 40 °C dan terus berada di sekitar nilai referensinya. Perubahan nilai suhu referensi dilakukan tiap 200 detik yaitu saat suhu *plant* berada pada keadaan tunak atau stabil. Berdasarkan grafik pada gambar 7 terlihat suhu air pada *plant* dapat merespon perubahan referensi yang diberikan dengan bergerak mengikuti perubahan suhu referensinya. Akan tetapi tiap kenaikan suhu referensi terjadi nilai *steady - state error* yang terjadi semakin besar. Hal tersebut dimungkinkan terjadi karena data pelatihan dari jaringan saraf tiruan masih kurang lengkap informasinya untuk kondisi suhu tinggi, sehingga sistem bekerja kurang baik saat suhu referensi tinggi. Dari pengujian ini dapat disimpulkan jaringan saraf tiruan yang dirancang mempunyai respon yang cukup baik pada daerah 40°C - 70°C saja.

Untuk mengetahui daya tahan sistem terhadap gangguan, maka dilakukan pengujian dengan memberikan gangguan berupa penambahan es batu pada sistem yang telah mencapai kestabilan untuk suatu *setting value*. Pada pengujian ini gangguan yang diberikan dengan cara memasukkan es batu ke dalam *plant* suhu yang telah mencapai suhu 70°C. Pengujian dengan gangguan panas tidak diberikan karena sistem tidak dibuat untuk melakukan pendinginan. Tujuan pengujian dengan gangguan ini adalah mengetahui kecepatan respon sistem untuk kembali ke referensi semula setelah diberikan gangguan, waktu yang diperlukan untuk kembali ke referensi semula disebut sebagai waktu pemulihan. Grafik respon pengujian dengan pemberian gangguan diperlihatkan pada gambar 8. Pada pengujian ini mula - mula ditetapkan suhu referensi sebesar 70 °C. Nilai suhu awal adalah 27 °C. Setelah 441 detik suhu air akan mencapai sekitar 69 °C dan bertahan pada keadaan tersebut. Setelah 566 detik dari suhu awal dan ketika suhu sudah stabil, es batu dimasukkan dalam *plant*, selanjutnya diketahui suhu air dalam *plant* turun sampai

63.2855°C pada detik ke-604, kemudian berangsur - angsur kembali ke semula pada detik 745 dan kemudian bertahan di sekitar suhu referensinya. Hal ini menunjukkan bahwa pengendali suhu pemanas air dengan jaringan saraf tiruan mampu menangani adanya gangguan suhu dari luar berupa penurunan suhu air.



Gambar 8. Grafik Respon Sistem Dengan Gangguan

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian serta analisis tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Struktur terbaik jaringan saraf tiruan untuk kendali suhu air dari 10 sel neuron lapisan *input*. Lapisan tersembunyi terdiri dari 5 lapisan, lapisan tersembunyi kedua terdiri dari 1 sel neuron . MSE yang dihasilkan 9.68815×10^{-8} dengan fungsi aktivasi *sigmoid bipolar-sigmoid bipolar-identitas*
2. Berdasarkan pengujian pada suhu naik, pengendali dengan jaringan saraf tiruan yang dirancang mempunyai respon yang cukup cepat dan mampu beroperasi pada 40 °C - 70°C dengan unjuk kerja yang baik.

3. Pengendali jaringan syaraf tiruan yang dibuat mampu beradaptasi terhadap gangguan dari luar.

DAFTAR PUSTAKA

Ana Ratna Wati, D. (2011) *Sistem Kendali Cerdas*. Penerbit Graha Ilmu.

Andika, Roni. (2010) Perancangan Pengendalian PID Digital Pada Heater, Skripsi, tidak diterbitkan. Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Isnanto. (2011) Aplikasi Logika Fuzzy Pada Pengendalian Suhu Water Heater Berbasis LabView. Skripsi, tidak diterbitkan. Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Priawan, Rizki. (2010) Akuisisi Data dan Identifikasi Sistem Pemanas Air. Skripsi, tidak diterbitkan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Siang, Jong Jek. (2005) *Jaringan Syaraf Tiruan dan Pemrograman Menggunakan Matlab*. Penerbit Andi Yogyakarta.

Wiryadinata, Romi dan Ana Ratnawati, D. (2005) Simulasi Jaringan Syaraf Tiruan Berbasis Metode Backpropagation Sebagai Pengendali Kecepatan Motor, *Prosiding Seminar Nasional SNATI*.

MODEL OPTIMASI TANGKI TANDON AIR PERUMAHAN YANG MEMINIMUMKAN TOTAL BIAYA

Farham HM Saleh

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia

Jl.Kaliurang Km.14,5 Yogyakarta

Email: farham@fti.uii.ac.id

ABSTRACT

One of costs component of household electricity is for pump power that is used to drain water from the wells to the reservoir tank of water prior to distribution for various household needs. Unit cost of electricity more and more expensive, therefore it must be efficient and savings. One way that can be used is to choose a water reservoir tank dimensions with a minimum total cost. This research produced a mathematical model that could be used to determine the dimensions of the reservoir tank in " Tandon Water System " with the total cost that consisting of cost of electricity usage charges for water distribution, pump maintenance costs, and expenses reservoir holder, is minimum. From the model that is formulated, can be determined the optimum dimensions of the tank.

Keywords : optimization, reservoir, mathematical formulation, dimension

1. PENDAHULUAN

Dari tahun ke tahun jumlah penduduk Indonesia terus bertambah dari tahun ke tahun seperti ditunjukkan Tabel 1. Seiring dengan semakin bertambahnya jumlah penduduk maka akan semakin bertambah juga kebutuhan akan sumber - sumber baik sumber daya alam seperti kebutuhan bahan pokok dan bahan bangunan maupun sumber daya lain seperti finansial, pendidikan dan kesehatan. Sementara itu ketersediaan sumber - sumber semakin terbatas. Hal ini tentu berdampak pada semakin mahalnya biaya biaya hidup.

Tabel 1. Jumlah Penduduk Indonesia tahun 2007-2011

No.	Tahun	Jumlah penduduk Indonesia, juta orang
1	2007	232,91
2	2008	237,54
3	2009	237,55
4	2010	237,61
5	2011	237,64

Sumber: Google Search dan diolah, diakses 18 Juli 2012

Biaya hidup yang semakin mahal membuat setiap individu berusaha melakukan efisiensi dan penghematan menggunakan setiap sumber daya atau menggunakan peralatan atau fasilitas yang hemat sumber daya seperti mobil hemat BBM, peralatan elektronik hemat listrik, dan lain sebagainya. Dalam dunia bisnis dan industri, efisiensi dan hemat harus dilakukan jika ingin tetap eksis. Sikap berusaha selalu efisien dan hemat juga terjadi pada warga perumahan maupun perkampungan. Salah satu sumber yang berusaha digunakan secara efisien dan hemat adalah penggunaan listrik.

Setiap rumah di perumahan bahkan di perkampungan, umumnya menggunakan tandon air sebagai penampung sementara sebelum didistribusikan untuk berbagai kebutuhan rumah tangga dan lainnya. Air dipompa dari dalam sumur kemudian dialirkan untuk berbagai kebutuhan rumah tangga. Pompa memerlukan energi listrik untuk mengalirkan air dari sumur ke tandon air. Demikian yang terjadi setiap hari sehingga kebutuhan akan listrik untuk

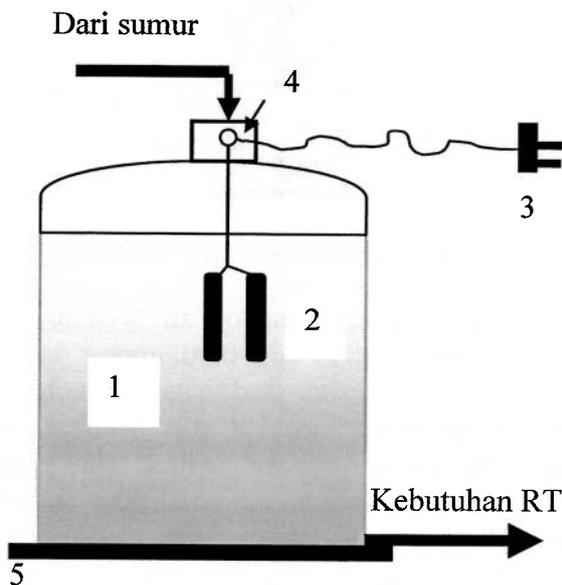
memompa air ternyata merupakan salah satu komponen yang cukup besar dari total biaya listrik rumah tangga setiap bulan.

Pemilik rumah terutama ibu-ibu berkeinginan agar beban biaya pemakaian listrik setiap bulannya minimum. Apalagi tarif listrik dapat mengalami kenaikan setiap tahunnya. Oleh karena itu pada kajian ini akan disusun model matematik yang dapat digunakan untuk menentukan dimensi tangki yang optimum, yang hemat beban biaya pemakaian listrik.

2. PERMASALAHAN

1. Diskripsi Sistem

Sistem yang ingin dimodelkan adalah sistem pengaliran dan distribusi air pada setiap rumah khususnya pada tandon air. Secara skematis, sistem tandon air ditunjukkan Gambar 1.



Gambar 1. Sistem Tandon Air

Keterangan Gambar 1:

- 1 : Tandon air, tangki tempat menampung air sementara sebelum didistribusikan untuk berbagai kebutuhan rumah tangga
- 2 : Bandul, pengatur *on-off* sumber listrik
- 3 : Sakelar, penyambung ke sumber listrik
- 4 : Stop kontak *on-off* listrik
- 5 : Dudukan tandon, terbuat dari beton

Air dipompa dari sumur, dialirkan ke Tandon untuk ditampung sementara sebelum didistribusikan untuk berbagai kebutuhan rumah tangga. Sistem tandon air dapat dioperasikan secara *batch* maupun kontinyu.

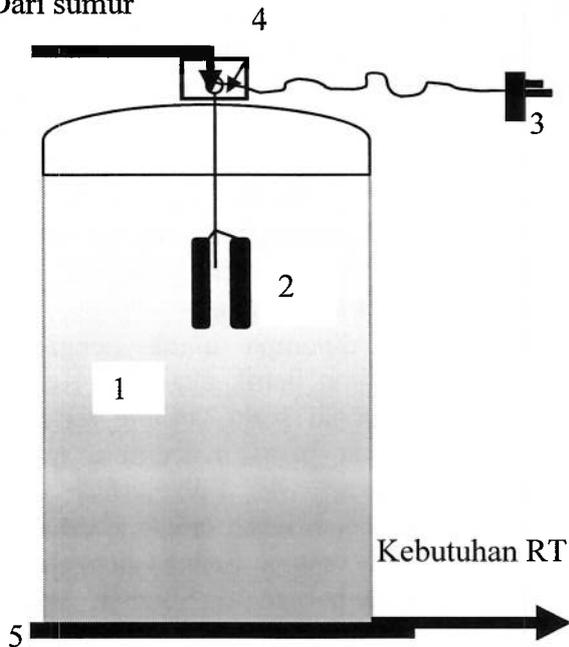
Dioperasikan secara *batch* apabila tandon diisi dengan air sampai batas maksimum dan pengisian dihentikan. Selanjutnya air dari tandon dialirkan untuk berbagai kebutuhan rumah tangga sampai batas minimum, baru tandon diisi lagi. Sedangkan pengoperasian secara kontinyu apabila selama pengisian air dari sumur ke tandon, pada saat bersamaan juga dari tandon dialirkan air untuk berbagai kebutuhan rumah tangga. Umumnya sistem tandon air dioperasikan secara kontinyu.

Ketika air dipompa untuk pengisian tandon, maka aliran listrik akan *on*. Ketika tandon terisi sampai pada volume tertentu atau sampai pada batas maksimum, maka aliran listrik akan *off*. Selanjutnya dari tandon, air dialirkan untuk berbagai kebutuhan rumah tangga. Selama pengaliran air dari tandon ke berbagai kebutuhan rumah tangga, maka aliran listrik akan *off*. Namun ketika volume air dalam tandon mencapai batas tertentu atau batas minimum, maka aliran listrik akan *on* kembali. Interval waktu terjadinya *on-off* aliran listrik akan menentukan besaran beban biaya listrik dan biaya perawatan pompa. Jika interval waktu *on-off* relatif kecil maka beban pemakaian listrik akan besar. Pada saat *off* ke *on*, beban daya listrik yang digunakan besar. Jika kondisi seperti ini sering terjadi maka beban biaya listrik dan beban biaya perawatan pompa akan besar. Pompa merupakan peralatan elektronik yang kalau sering terjadi *on-off*, maka akan cepat rusak sehingga sering dilakukan perbaikan. Uraian ini menjelaskan bahwa perlu memilih dimensi tangki yang optimum agar beban biaya pemakaian listrik dan perawatan pompa minimum.

2. Diskripsi Permasalahan

Dari uraian pada sub bab Diskripsi Sistem di atas, mulai jelas permasalahannya yaitu berkaitan dengan beban biaya pemakaian listrik dan perawatan pompa. Untuk itu pada sub bab ini akan diperjelas lagi permasalahannya. Pada Gambar 2, ditunjukkan Tandon Air berdiameter besar.

Dari sumur



Gambar 2. Tandon Air Berdiameter Besar

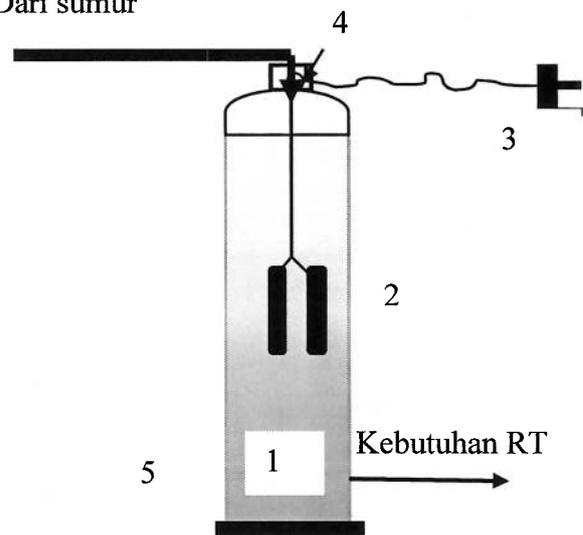
Ketika air dialirkan dari sumur ke tandon, karena tandon air relatif besar maka dibutuhkan waktu yang relatif lama untuk mencapai volume air maksimum yang ditentukan, sehingga aliran listrik dari *on* menjadi *off*. Pada keadaan ini maka volume air yang dialirkan ke tandon relatif besar. Keadaan yang sama terjadi ketika air dialirkan dari tandon untuk berbagai kebutuhan rumah tangga, memerlukan waktu yang relatif lama sampai aliran listrik *on* kembali.

Pada kedua kejadian pada tandon berdiameter besar di atas yaitu ketika pengisian air ke tandon dan ketika air didistribusikan untuk berbagai kebutuhan rumah tangga, maka interval waktu antara terjadinya *on-off* relatif lama. Jika interval waktu antara terjadinya *on-off* relatif lama,

maka biaya beban pemakaian listrik dan perawatan pompa relatif kecil. Namun demikian biaya dudukan tandon menjadi besar. Sebagaimana dikemukakan pada sub bab Deskripsi Sistem, bahwa dudukan tandon terbuat dari beton, dapat bertulang atau dapat tidak bertulang. Untuk dudukan berdiameter besar maka biayanya akan besar juga.

Pada kondisi lain yaitu tandon air berdiameter kecil, sebagaimana ditunjukkan Gambar 3.

Dari sumur



Gambar 3. Tandon Air Berdiameter Kecil

Berbeda dengan tandon air berdiameter besar, pada tandon air berdiameter kecil, lama waktu pengisian tandon sampai volume maksimum relatif singkat dan volume air yang dipindahkan relatif sedikit. Hal yang sama terjadi ketika air dialirkan untuk kebutuhan rumah tangga juga volumenya sedikit sehingga hanya memerlukan waktu yang singkat. Hal ini berdampak pada interval waktu antara listrik mulai *on* dan listrik mulai *off* relatif kecil. Dampak selanjutnya sebagaimana dikemukakan pada sub bab sebelumnya yaitu frekuensi terjadinya *on-off* menjadi tinggi, yang berakibat pada tingginya beban biaya pemakaian listrik dan perawatan pompa. Pada sisi sebaliknya, karena diameter tandon

kecil maka diameter dudukan tandon kecil sehingga biaya untuk dudukan relatif kecil.

Dari kedua kondisi di atas yaitu pada tandon air berdiameter besar dan tandon air berdiameter kecil, terjadi dilema antara biaya pemakaian listrik dan perawatan pompa.

Dengan biaya untuk dudukan tandon, semakin besar diameter tandon air, maka akan semakin kecil biaya pemakaian listrik dan biaya perawatan pompa sedangkan biaya dudukan tandon semakin besar. Sebaliknya semakin kecil diameter tandon air, maka akan semakin besar biaya pemakaian listrik dan biaya perawatan pompa, sedangkan biaya dudukan tandon semakin kecil.

3. FORMULASI MODEL MATEMATIK

1. Notasi yang digunakan

Untuk melakukan formulasi model, digunakan notasi - notasi berikut:

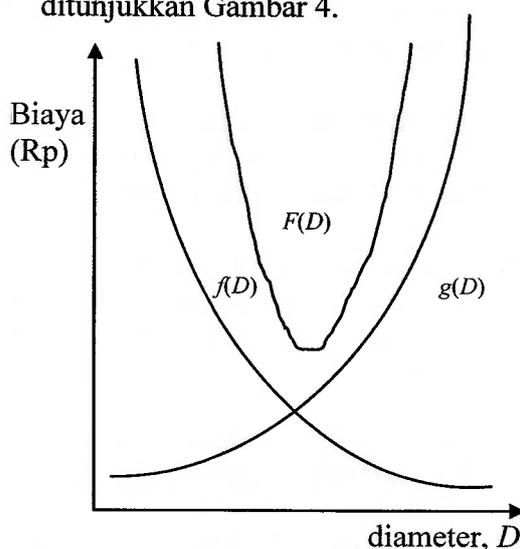
D : diameter tandon air, satuan panjang

H : tinggi tandon air, satuan panjang

a, b, p, q : parameter model

2. Formulasi Model

Kondisi dilema antara tandon air berdiameter besar dengan tandon air berdiameter kecil di atas, jika digambarkan maka seperti ditunjukkan Gambar 4.



Gambar 4. Dilema Tandon Air Berdiameter Besar dan Kecil

Keterangan gambar :

$f(D)$: Fungsi biaya pemakaian listrik dan perawatan pompa, Rupiah

$g(D)$: Fungsi biaya dudukan tandon air, Rupiah

$F(D)$: Fungsi total biaya yaitu biaya beban pemakaian listrik + biaya perawatan Pompa + biaya dudukan tandon air.

Model diformulasikan dengan tujuan meminimumkan total biaya sebagaimana yang diinginkan pengguna tandon air umumnya. Dengan memperhatikan Gambar 4, maka model matematik dari Sistem Tandon Air dapat diformulasikan seperti berikut:

$$F(D) = f(D) + g(D) \dots\dots\dots(1)$$

4. PEMBAHASAN

1. Komponen Biaya

Komponen biaya yang dilibatkan dalam model, ada yang bersifat diskrit dan ada yang bersifat kontinyu. Yang bersifat diskrit adalah biaya perawatan pompa dan biaya dudukan tandon air. Yang bersifat kontinyu adalah biaya beban pemakaian listrik. Kenapa kedua macam biaya tersebut dapat terdapat dalam satu model?. Tandon air umumnya terbuat dari plastik sintesis, yang dapat bertahan lama sampai bertahun-tahun. Biaya perawatan pompa dapat dilakukan tiap tiga bulan, tiap semester atau setiap tahun, sedangkan biaya dudukan tandon air hanya dikeluarkan satu kali yaitu saat instalasi. Lama umur tandon, dapat dianggap sebagai horison perencanaan, sehingga biaya tetap dapat diposisikan sebagai biaya variabel. Hal ini menunjukkan bahwa dari sifat data biaya, model yang diformulasikan sudah tepat.

Faktor lain yang berkaitan dengan komponen biaya adalah belum semua biaya yang mungkin terjadi pada sistem tandon air dilibatkan dalam formulasi model. Misalnya biaya bahan untuk membuat tandon atau

harga beli tandon. Harga beli tandon dipengaruhi oleh kualitas bahan dan kapasitasnya. Kualitas bahan diasumsikan standar, sehingga konstan. Sedangkan biaya kapasitas dapat dijelaskan seperti berikut : jika dengan teliti memperhatikan dimensi tandon air yang dijual di pasaran, baik yang berkapasitas besar maupun berkapasitas kecil, maka akan terlihat keharmonisan antara tinggi dan diameternya atau rasio H/D tertentu. Ini berarti bahwa dengan memilih kapasitas tertentu, cukup dicari salah satu dari dimensi tandon tersebut, D atau H . Dengan demikian jelas bahwa kurang relevan untuk melibatkan komponen biaya kapasitas dalam model.

2. Solusi Model

Model optimasi Sistem Tandon Air, diformulasikan dengan meminimumkan total biaya, sesuai dengan tujuan model. Syarat perlu suatu model matematik untuk mempunyai nilai ekstrim (minimum atau maksimum) adalah diferensial pertama sama dengan nol ($= 0$). Jika Persamaan (1) didiferensialkan dan diambil sama dengan nol, maka diperoleh Persamaan (2) berikut:

$$F'(D) = f'(D) + g'(D) = 0 \dots\dots\dots(2)$$

Persamaan (2) masih bersifat umum, belum secara jelas memperlihatkan nilai optimumnya. Dimisalkan, fungsi penurunan biaya beban pemakaian listrik dan perawatan pompa berupa fungsi eksponensial seperti ditunjukkan Persamaan (3) dan fungsi kenaikan biaya dudukan tandon air juga berupa fungsi eksponensial seperti ditunjukkan Persamaan (4).

$$f'(D) = e^{a-bD} \dots\dots\dots(3)$$

$$g'(D) = e^{p-qD} \dots\dots\dots(4)$$

Jika Persamaan (3) dan Persamaan (4) didiferensialkan dan disubstitusikan pada Persamaan (2), kemudian disederhanakan, diperoleh solusi model sebagaimana ditunjukkan Persamaan (5) berikut:

$$D = \frac{\ln \frac{b}{q} + a - p}{b + q} \dots\dots\dots(5)$$

5. KESIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Model matematik Sistem Tandon Air yang meminimumkan total biaya, yang dihasilkan adalah:

$$F(D) = f(D) + g(D)$$

2. Dengan mengambil fungsi-fungsi biaya berbentuk eksponensial, dapat ditentukan diameter tandon dengan rumus:

$$D = \frac{\ln \frac{b}{q} + a - p}{b + q}$$

DAFTAR PUSTAKA

Brownell, L.E., & Young, E.H. (1959) *Process Equipment Design, 2nd Ed.* John Willey & Sons, Inc. New York.

Coulson, J.M., and Richardson, J.F. (1983) *Chemical Engineering Design, 6nd Ed.* Vol. 6. Pegamon Press, Oxford.

Edgar, T.F., Himmelblau, D.M., and Lasdon, L.S. (2001) *Optimization of Chemical Processes.* McGraw-Hill, printed in Singapore.

www.google.co.id, di Akses 18 April 2012 (data jumlah penduduk Indonesia).

www.okezone.com, di Akses 18 April 2012 (macam tangki air bersih).

WATTMETER DIGITAL BERBASIS MIKROKONTROLER

Freddy Kurniawan

Jurusan Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto, Yogyakarta

Email: freddykurniawan@yahoo.com

ABSTRACT

This research is one of the researches of the roadmap "Power Grid Monitoring Based on Microcontroller". This research has been preceded by the research with title "Measure RMS Voltages and Currents in Power Grid Based on Microcontroller". In that research, the microcontroller ADC samples the voltage and current grid 64 times per period of the grid voltage with 8 bit data format, so that we obtain 64 instantaneous values of grid voltage and current per period. The result can measure RMS voltage from 25 V to 250 V at frequency from 22 Hz to 80 Hz and current up to 5 A. To expand its ability to measure power and power factor of load, this research must add an algorithm to calculate it.

This research was done by adding three special algorithms. First algorithm will multiply each of instantaneous value of grid voltage and its corresponding current data, so that we obtain instantaneous electric power value. Second algorithm integrates all the instantaneous electric power values so that we obtain electric power value. The last algorithm computes power factor that is a comparison between the value of electric power and the product of RMS voltage and current. All calculation have been done quickly without involving floating point numbers and held on the sidelines of the sampling process.

Product of this research is a digital wattmeter that can measure frequency, RMS voltage and current, power and power factor up to 1 kVA of loads. Maximum measurement error of power and power factor is 2 %. All of those quantities are calculated ten times per second and display is updated once per second by average value of ten existing data. Next research, this microcontroller-based system should be added an algorithm for data reporting to computer, so that we can monitor all values graphically in computer screen.

Keyword: digital wattmeter, power-grid monitoring, measure power and power factor, microcontroller - based system

1. PENDAHULUAN

Penelitian ini dilakukan sebagai salah satu tahapan untuk merealisasikan *roadmap* penelitian "Pemonitor Daya Listrik Berbasis Mikrokontroler". Alat ukur hasil penelitian ini diharapkan dapat mengukur nilai frekuensi, tegangan dan arus RMS, daya dan faktor daya sebagaimana *wattmeter digital*. Lebih jauh lagi, alat ini diharapkan dapat memberikan laporan hasil pengukuran ke komputer (sebagaimana *data logger*) sehingga kelima parameter di atas dapat selalu dipantau secara waktu nyata (*real time*). Alat ukur yang akan digunakan dalam praktek ini diharapkan juga dapat

menampilkan grafik tegangan dan arus sesaat di layar komputer.

Pada penelitian sebelumnya yaitu "Pengukur Nilai Tegangan dan Arus RMS Berbasis Mikrokontroler", telah dapat dibentuk sistem yang dapat mengukur frekuensi, tegangan dan arus RMS jala - jala listrik dari 25 V hingga 250 V dengan frekuensi dari 22 Hz hingga 80 Hz dengan arus hingga 5 A. Galat absolut hasil pengukuran bernilai nol untuk kisaran tegangan 170 V hingga 250 V dengan frekuensi 45 Hz hingga 62 Hz, sedangkan galat absolut pengukuran arus dengan harmonik kecil bernilai di bawah 1,5 % (Kurniawan, 2011). Melalui penelitian ini,

sistem tersebut dikembangkan sehingga ketelitian pengukuran arus dapat meningkat dan dapat menghitung nilai daya dan faktor daya beban listrik.

Hampir semua pengukur arus, daya dan energi menggunakan transformator arus dan IC khusus untuk pengukur arus atau daya aktif (Haque, dkk., 2011). Pada penelitian ini, tegangan bolak-balik dari sensor arus diumpungkan langsung ke masukan ADC mikrokontroler setelah melalui pengkondisi isyarat. *Wattmeter portabel* ini diusahakan menggunakan komponen elektronis seminim mungkin. Peningkatan fungsional dilakukan dengan pengembangan program di mikrokontroler. *Wattmeter* ini tidak menggunakan sumber daya terpisah, melainkan mengambil daya dari sumber tegangan yang diukur, sehingga alat ukur ini dapat mendukung pengambilan data di lapangan.

2. TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk :

- a. Meningkatkan ketelitian pengukuran arus pada pengukur tegangan dan arus RMS hasil penelitian sebelumnya.
- b. Mengembangkan pengukur tegangan dan arus RMS hasil penelitian sebelumnya menjadi pengukur daya dan faktor daya berbasis mikrokontroler ATmega8535.
- c. Menganalisis ketepatan pengukuran daya dan faktor daya.

3. HIPOTESIS

- a. Dengan mengubah panjang bit data hasil cuplikan arus dari 8 bit menjadi 10 bit, galat pengukuran arus dapat diturunkan.
- b. Sistem pengukur nilai tegangan dan arus RMS dapat dikembangkan menjadi alat pengukur daya dan faktor daya.
- c. Galat hasil pengukuran daya dan faktor daya tidak akan melebihi 5 % pada beban yang menarik arus dengan harmonik kecil.

4. TINJAUAN PUSTAKA

4.1 Penghitungan Nilai RMS dan Daya Listrik

Nilai efektif atau nilai RMS (*root-mean square*) suatu isyarat $v(t)$ dengan periode T dinyatakan sebagaimana Persamaan (1) (Boylestad, 1992).

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [v(t)]^2 dt} \dots\dots\dots(1)$$

Agar dapat dikerjakan oleh mikrokontroler, Persamaan (1) dijadikan diskrit menjadi Persamaan (2).

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} [v_n]^2} \dots\dots\dots(2)$$

N merupakan cacah cuplikan per periode tegangan, sedangkan v_n merupakan nilai tegangan sesaat ke- n . Dari Persamaan (2), dapat diindikasikan bahwa untuk menentukan nilai RMS, harus ditentukan terlebih dahulu nilai periode tegangan.

Nilai arus RMS ditentukan menggunakan Persamaan (3)

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} [i_n]^2} \dots\dots\dots(3)$$

Daya listrik adalah merupakan perkalian tegangan dan arus sesuai Persamaan (4).

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T v(t).i(t) dt \dots\dots\dots(4)$$

Agar dapat dihitung oleh mikrokontroler Persamaan (4) dijadikan diskrit menjadi Persamaan (5).

$$P = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} v_n.i_n \dots\dots\dots(5)$$

Sedangkan nilai faktor daya dapat dihitung menggunakan Persamaan (6).

$$pf = \frac{P}{V_{RMS} \times I_{RMS}} \dots\dots\dots(6)$$

4.2 Pencuplikan oleh ADC Mikrokontroler

Mikrokontroler keluarga AVR ATmega8535 merupakan salah satu mikrokontroler AVR dengan memori (SRAM) 512 *byte* yang mempunyai fasilitas ADC 10 bit dengan 8 saluran masukan. Proses konversi pada ADC menggunakan metode *successive approximation* (Atmel, 2006), sehingga waktu konversi ADC atau t_{ADC} bersifat konstan dan tidak terpengaruh oleh nilai tegangan masukan (Tozzi, 1998).

Data keluaran ADC mempunyai galat 1,5 bit jika dioperasikan pada frekuensi *clock* sekitar 200 kHz. Satu kali proses konversi ADC pada *mode normal* membutuhkan waktu 13,5 *clock* (Atmel, 2006). Agar proses pencuplikan dapat berjalan, maka periode cuplikan (T_S) harus lebih besar daripada lama ADC melakukan proses konversi (t_{ADC}).

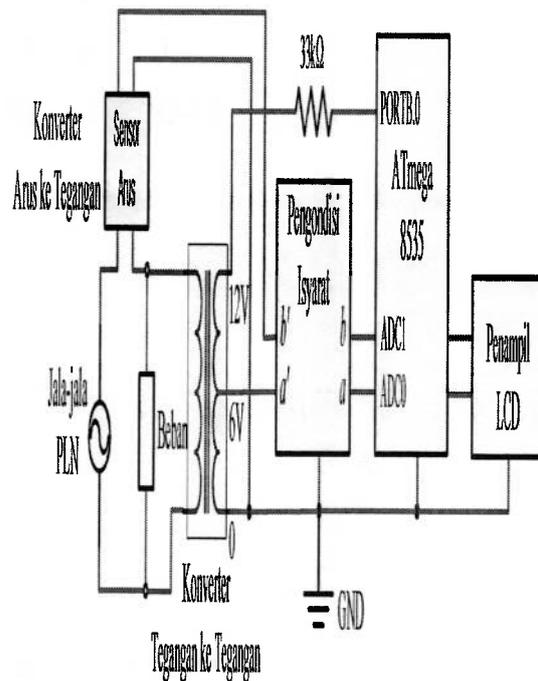
Agar dapat mengukur nilai arus RMS pada tegangan jala - jala dengan frekuensi f_{PLN} dengan memperhitungkan komponen harmonik hingga orde ke- k , maka nilai frekuensi cuplikan (f_S) minimal harus mengikuti Persamaan (8) (Kuc, 1998).

$$f_S = 2 \times k \times f_{PLN} \dots\dots\dots(7)$$

5. METODE PENELITIAN

5.1 Diagram Blok Sistem

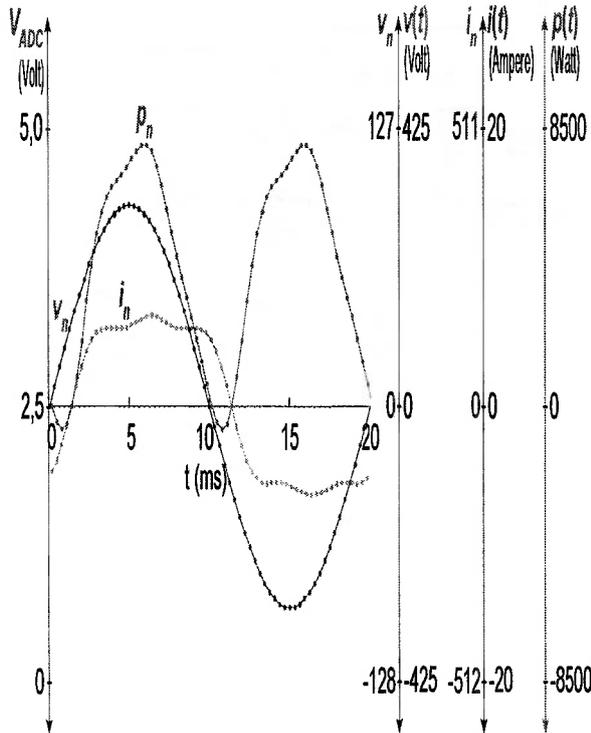
Sistem pengukur daya dan faktor daya penelitian ini merupakan pengembangan dari sistem pengukur tegangan dan arus hasil penelitian sebelumnya. Sistem yang menggunakan mikrokontroler ATmega8535 sebagai komponen utama ini dibuat mengikuti diagram blok pada penelitian sebelumnya. Sistem yang menggunakan mikrokontroler ATmega8535 sebagai komponen utama ini dibuat mengikuti diagram blok pada.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Isyarat tegangan jala-jala diturunkan oleh sebuah transformator penurun tegangan. Keluaran tegangan bolak - balik sekunder trafo 12 volt dilewatkan ke resistor 33 kΩ dan diumpankan ke *PORT B.0* mikrokontroler untuk membentuk untai *zero crossing* bersama dua dioda internal mikrokontroler (Atmel, 2003). Sebuah algoritma khusus digunakan untuk menghitung periode dan frekuensi gelombang kotak yang masuk ke mikrokontroler ini.

Keluaran tegangan bolak - balik sekunder trafo 6 volt dimasukkan ke masukan *a'* blok pengondisi isyarat. Di blok ini, tegangan tersebut ditambah *offset* DC 2,5 V. Isyarat keluaran *a* blok ini dimasukkan ke saluran 0 ADC (ADC0) mikrokontroler dan dicuplik 64 kali dalam satu periode untuk ditentukan nilai tegangan RMS berdasar Persamaan (2). Sistem dirancang untuk dapat mengukur hingga tegangan puncak 425 V atau $V_{RMS} = 300$ V sebagaimana Gambar 2. Grafik v_n pada gambar tersebut merupakan grafik nilai cuplikan atas tegangan 220 volt 50 Hz.



Gambar 2. Pencuplikan Isyarat Tegangan dan Arus

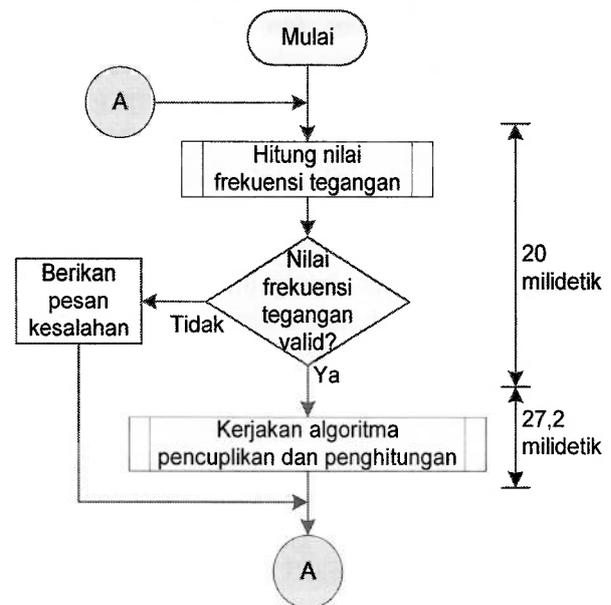
Isyarat arus beban dilewatkan sensor arus *hall effect* ACS712 ELCTR-20AT sebagaimana diagram blok pada Gambar 1. Sensor ini mengonversi isyarat arus bolak-balik jala-jala dengan nilai arus puncak 20 A ke isyarat tegangan bolak-balik maksimal 5 Vpp (Allegro, 2011). Di blok pengondisi isyarat, tegangan ini ditambah *offset* DC 2,5 volt untuk kemudian diumpungkan ke saluran 1 ADC mikrokontroler dan dicuplik 64 kali dalam satu periode untuk ditentukan nilai arus RMS berdasar Persamaan (3).

Sistem dirancang untuk dapat mengukur arus puncak hingga 20 A sebagaimana Gambar 2. Grafik i_n pada gambar tersebut merupakan grafik nilai cuplikan atas arus 4 ampere 50 Hz yang tertinggal $22,5^\circ$ dan terdistorsi komponen harmonik orde ke-3 dan ke-5 dengan amplitudo $1/5$ dan $1/10$ amplitudo komponen fundamental.

5.2 Diagram Alir Sistem

Sistem berjalan mengikuti diagram alir sebagaimana Gambar 3. Dengan menggunakan pemacu sebuah interupsi yang

dibangkitkan sewaktu, diagram alir tersebut dikerjakan sepuluh kali per detik. Dengan cara ini, dalam satu detik akan didapat sepuluh nilai frekuensi, tegangan dan arus RMS, daya dan faktor daya hasil pengukuran. Sedangkan tampilan (*display*) hasil pengukuran diperbarui satu kali per detik dengan rerata kesepuluh data yang telah tersimpan di memori.



Gambar 3. Diagram Alir Sistem

5.3 Penghitungan Nilai Frekuensi Tegangan

Frekuensi fundamental tegangan jala-jala listrik biasanya bernilai jauh di bawah 1 kHz, maka penghitungan frekuensi tegangan lebih teliti bila dilakukan dengan cara mengukur periode gelombang (Kurniawan, 2009). Pada penelitian ini, berbasis cacahan pewaktu 8 bit, sebuah algoritma khusus digunakan untuk mengukur periode tegangan. Dari nilai periode, ditentukanlah nilai frekuensi f dengan format 16 bit tak bertanda.

Nilai f ini merupakan nilai frekuensi yang dikalikan seratus. Nilai ini kemudian diubah ke format *ASCII* dan ditampilkan ke LCD menggunakan format XX.X Hz. Sistem ini telah dapat mengukur frekuensi tegangan dari 22 Hz hingga 80 Hz dengan galat

absolut maksimal 0,04 %. Bahkan alat ini dapat mengukur frekuensi dari 42 Hz hingga 62 Hz dengan galat nol (Kurniawan, 2011).

5.4 Penghitungan Nilai Tegangan dan Arus RMS, Daya dan Faktor Daya

Sebagaimana diagram alir pada Gambar 3, sistem menghitung nilai frekuensi tegangan terlebih dahulu. Jika frekuensi tegangan dinyatakan valid maka sistem akan mencuplik isyarat tegangan dan arus 64 kali dalam satu periode dengan nilai periode cuplikan $T_s = \frac{1}{64} T_{v(t)}$. Untuk tegangan jala-jala dengan frekuensi 50 Hz, nilai periode cuplikan $T_s = 312,5$ mikrodetik.

Proses pencuplikan isyarat tegangan dan arus dilakukan oleh algoritma pencuplikan dan perhitungan sebagaimana Gambar 4. Isyarat tegangan dicuplik pertama dan dihasilkan data tegangan sesaat v_n , selanjutnya isyarat arus dicuplik dan dihasilkan data sesaat arus i_n . Proses ini berlangsung selama Δt_{ADC} .

Mikrokontroler dioperasikan dengan frekuensi *clock* 7,3728 MHz. Nilai tersebut merupakan nilai frekuensi *clock* tertinggi di bawah 8 MHz agar dapat dibentuk komunikasi data menggunakan *USART* dengan pesat bit hingga 230,4 kbps dengan galat 0 %. Sehingga nantinya sistem dapat ditambah algoritma pengiriman data ke komputer dengan kecepatan tinggi.

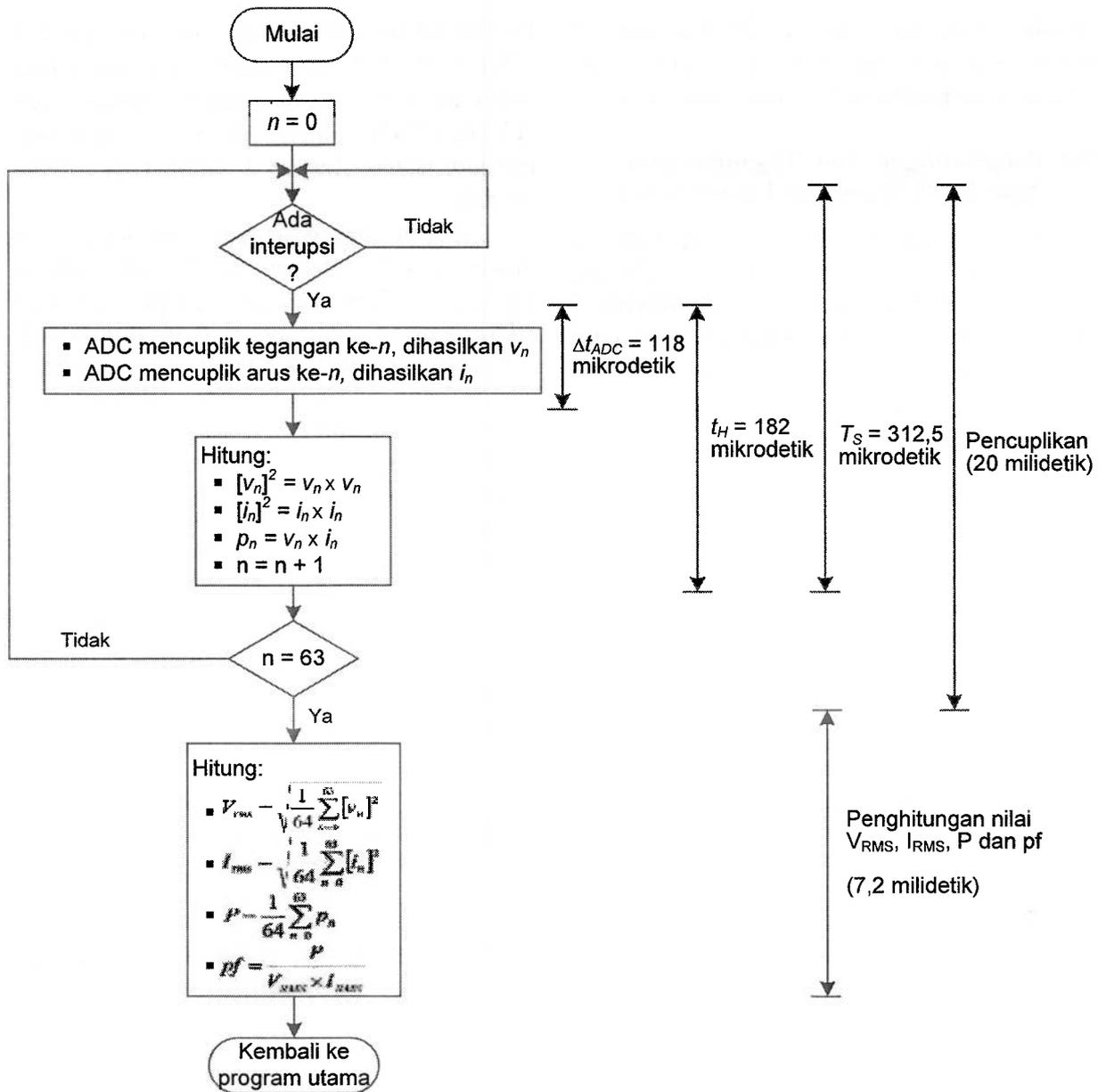
Pemilihan nilai frekuensi *clock* di bawah 8 MHz juga dilakukan agar jika diperlukan, mikrokontroler dapat diganti dengan seri ATmega8535L untuk dapat dikembangkan menjadi sistem dengan konsumsi daya lebih rendah.

Dengan menggunakan *prescaler* 16, maka didapat frekuensi *clock* ADC sebesar $f_{clock-ADC} = 230,4$ kHz sehingga periode *clock* ADC sebesar $T_{clock-ADC} = 4,34$ mikrodetik. Satu kali proses konversi membutuhkan waktu 13,5 *clock* atau sekitar 58,6 mikrodetik, sehingga untuk mencuplik isyarat tegangan dan arus hanya dibutuhkan waktu sekitar $\Delta t_{ADC} = 118$ mikrodetik sebagaimana Gambar 4.

Dikarenakan Δt_{ADC} masih bernilai jauh di bawah T_s , maka setelah proses pencuplikan dapat dilanjutkan dengan proses penghitungan nilai RMS dan daya dengan mengerjakan sebagian perhitungan untuk menyelesaikan persamaan (2), (3) dan (5), yaitu:

1. $[v_n]^2 = v_n \times v_n$
2. $[i_n]^2 = i_n \times i_n$
3. $p_n = v_n \times i_n$

Estimasi waktu eksekusi (Δt) proses pencuplikan dan perhitungan yang didapat dari simulasi dengan *Proteus* dapat dilihat pada diagram alir pada Gambar 4



Gambar 4. Diagram Alir Algoritma Pencuplikan dan Penghitungan Beserta Estimasi Waktu Eksekusi

Data asli hasil cuplikan tegangan menggunakan format 8 bit tak bertanda. Nilai ini dikonversi ke format 8 bit bertanda dan disimpan sebagai v_n . Sedangkan data asli hasil cuplikan arus menggunakan format 10 bit tak bertanda. Nilai ini dikonversi ke format 10 bit bertanda dan disimpan dalam memori 16 bit sebagai i_n .

Sebagaimana diagram alir pada Gambar 4, di akhir setiap proses pencuplikan ke- n , nilai v_n dikuadratkan menjadi $[v_n]^2$ dengan format 16 bit tak bertanda; nilai i_n

dikuadratkan menjadi $[i_n]^2$ dengan format 32 bit tak bertanda. Nilai v_n juga dikalikan dengan nilai i_n sehingga dihasilkan nilai p_n dengan format 32 bit bertanda. Format data beberapa variabel penting ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Setelah isyarat tegangan dan arus dicuplik 64 kali ($n=63$), akan didapat 64 nilai v_n , i_n , dan p_n , dengan $n=0 \dots 63$. Selanjutnya semua nilai v_n dan i_n diakumulasi sehingga

dihasilkan $\sum_{n=0}^{63} [v_n]^2$ dan $\sum_{n=0}^{63} [i_n]^2$ dengan format 32 bit tak bertanda. Nilai pertama dibagi dengan suatu konstanta bulat K_V dan diakar sehingga dihasilkan nilai tegangan RMS (V_{rms}). Nilai kedua dibagi dengan suatu konstanta bulat K_I dan diakar sehingga dihasilkan nilai arus RMS (I_{rms}).

Semua nilai p_n juga diakumulasi sehingga dihasilkan nilai $\sum_{n=0}^{63} P_n$ dengan format 32 bit bertanda. Nilai tersebut dibagi dengan suatu konstanta bulat K_P sehingga dihasilkan nilai daya dengan format 16 bit takbertanda. Nilai K_V , K_I dan K_P ditentukan melalui proses kalibrasi.

Tabel 1.Format Data yang Digunakan

Variabel	Format Data	
v_n	8 bit	bertanda
i_n	10 bit	bertanda
$[v_n]^2$	16 bit	takbertanda
$[i_n]^2$	16 bit	takbertanda
p_n	16 bit	bertanda
V_{rms}	16 bit	takbertanda
f	16 bit	takbertanda
I_{rms}	16 bit	takbertanda
P	16 bit	takbertanda
pf	8 bit	takbertanda

Nilai V_{rms} yang menggunakan format 16 bit tak bertanda secara langsung mewakili nilai tegangan RMS. Nilai ini kemudian diubah ke format *ASCII* dan ditampilkan ke LCD menggunakan format XXX V. Nilai I_{rms} yang juga menggunakan format 16 bit tak bertanda merupakan nilai arus RMS yang dikalikan seratus. Nilai ini kemudian diubah ke format *ASCII* dan ditampilkan ke LCD menggunakan format XX.XX A. Sedangkan nilai daya yang juga menggunakan format 16 bit tak bertanda juga diubah ke format *ASCII* dan ditampilkan ke LCD dengan format XXXX W.

Selanjutnya nilai daya dikalikan dengan seratus untuk kemudian dibagi dengan nilai

tegangan dan arus RMS sehingga dihasilkan nilai faktor daya dengan format data 8 bit tak bertanda. Nilai yang mempunyai kisaran 000 hingga 100 ini ditampilkan sebagai X.XX.

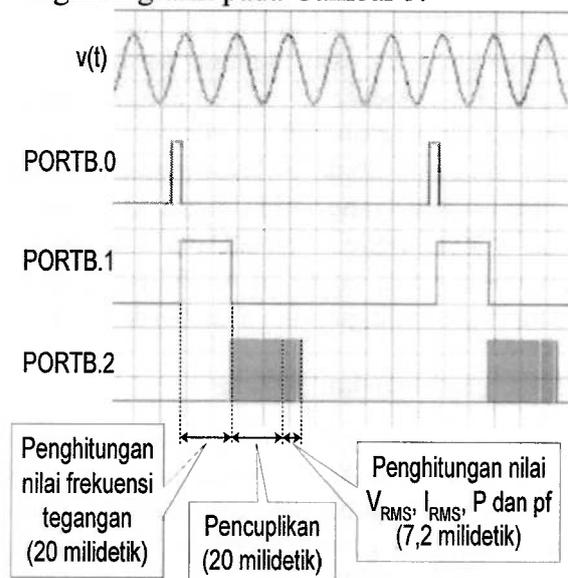
Dengan metode tersebut, meskipun tampilan frekuensi, arus dan faktor daya menggunakan angka di belakang koma, namun seluruh proses perhitungan dikerjakan dengan tidak melibatkan bilangan *floating point*. Hal ini dilakukan agar eksekusi program menjadi jauh lebih cepat.

5.5 Penelusuran Jejak Perjalanan Program

Untuk memudahkan usaha pengembangan hasil penelitian ini, perjalanan program dapat ditelusuri jejaknya (*di-trace*) dengan melihat grafik tegangan pada keluaran beberapa *PORT* berikut:

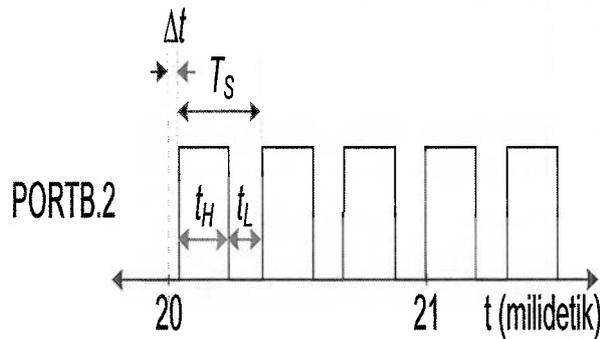
1. *PORTB.0*, untuk mengetahui bekerjanya rangkaian *zero crossing*.
2. *PORTB.1*, untuk mengetahui bekerjanya algoritma penghitungan frekuensi tegangan.
3. *PORTB.2*, untuk mengetahui bekerjanya algoritma pencuplikan dan penghitungan.

Pada tegangan $v(t) = 220$ volt 50 Hz, logika keluaran ketiga *PORT* tersebut akan mengikuti grafik pada Gambar 5.



Gambar 5.Penjadwalan Prosesor

Skala horisontal (*time/div*) grafik keluaran *PORTB.2* dapat diperbesar untuk mengetahui siklus kerja prosesor dan ADC selama mengerjakan algoritma pencuplikan dan penghitungan pada diagram alir pada Gambar 4. Dalam durasi waktu T_S , saat *CPU* dan *ADC* sibuk, *PORTB.2* dijadikan berlogika 1 sehingga didapat grafik *clock* di *PORTB.2* sebagaimana Gambar 6.



Gambar 6. Siklus Kerja Proses Pencuplikan

Pada grafik tersebut, durasi waktu *PORTB.2* berlogika 1 atau $t_H = 182$ mikrodetik. Dengan kata lain, satu kali pencuplikan tegangan dan arus beserta perhitungan untuk mendapatkan $[v_n]^2$, $[i_n]^2$, dan p_n dilaksanakan selama 182 mikrodetik. Siklus kerja *clock*

$$\eta = \frac{t_H}{T_S} \times 100\% = \frac{182}{312,5} \times 100\% = 58,4\%$$

Dengan kata lain, selama satu periode pencuplikan sebesar $T_S = 312,5$ mikrodetik, hanya 58,4% atau 182 mikrodetik *CPU* dalam keadaan sibuk. Sebagaimana Gambar 4, sisa waktu yang ada hanya digunakan untuk menunggu terjadinya interupsi berikutnya yang memicu mulainya proses pencuplikan tegangan dan arus berikutnya.

5.5 Pengkalibrasian Sistem

Format data cuplikan tegangan v_n adalah bilangan bertanda 8 bit dengan kisaran -128 hingga 127. Sebagaimana grafik pada Gambar 2, nilai $v_n = 0$ mestinya tepat untuk tegangan di pin *ADC0* (V_{ADC0}) = 2,5 V. Nilai

ini mewakili tegangan sesaat jala - jala listrik $v(t) = 0$ V. Namun karena ketidak-presisian nilai komponen elektronis yang digunakan, nilai V_{ADC0} kadang tidak tepat = 2,5 V untuk $v_n = 0$. Kalibrasi tidak dilakukan dengan menepatkan tegangan menjadi 2,5 V menggunakan resistor variabel, namun justru dilakukan dengan menggeser naik atau turun nilai v_n saat itu.

Penggeseran nilai v_n ini berlaku untuk setiap nilai hasil cuplikan tegangan. Nilai pergeseran ini disimpan di *EEPROM*. Biasanya kalibrasi dengan cara penggeseran ini cukup dilakukan satu kali.

Format data cuplikan arus i_n adalah bilangan bertanda 10 bit dengan kisaran -512 hingga 512. Nilai $i_n = 0$ mestinya juga tepat untuk tegangan di pin *ADC1* (V_{ADC1}) = 2,5 V. Nilai ini mewakili arus sesaat $i(t) = 0$ A. Di sini kalibrasi juga dilakukan dengan menggeser naik atau turun nilai i_n saat itu. Nilai penggeseran setiap nilai hasil cuplikan arus ini juga disimpan di *EEPROM*.

Di blok pengkondisi isyarat juga terdapat resistor variabel untuk mengatur amplitudo v_n dan i_n . Pengkalibrasian nilai tegangan RMS terukur dilakukan dengan mengaplikasi suatu tegangan tertentu, diikuti dengan pengaturan amplitudo v_n . Pada saat yang bersamaan nilai konstanta bulat K_V juga diubah - ubah agar didapat nilai terkecil sehingga proses perhitungan nilai tegangan RMS dapat dilaksanakan secepat mungkin.

Proses pengkalibrasian nilai arus RMS terukur juga dilakukan dengan cara sama, yaitu mengubah - ubah amplitudo i_n . Bersamaan dengan itu, nilai K_I juga diubah agar didapat nilai terkecil.

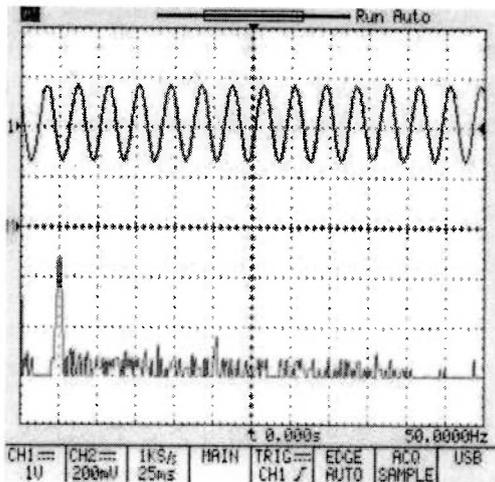
5.6 Pengujian dengan Tiga Kategori Beban

Arus yang mengalir ke beban mempunyai amplitudo komponen harmonik cukup bervariasi. Pengujian pengukuran daya dan faktor daya dilakukan atas beban hingga 1 kVA dengan tiga tingkat komponen harmonik.

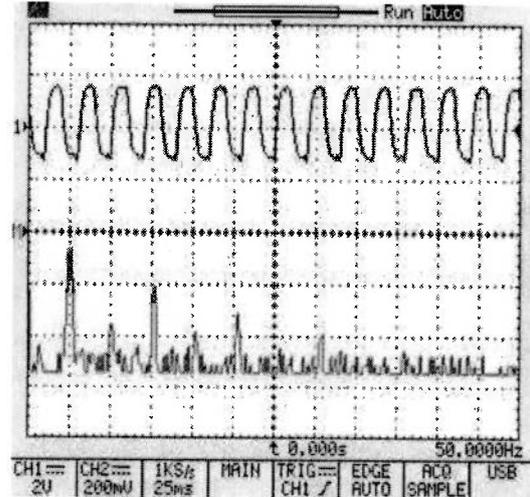
1. Beban dengan tingkat harmonik rendah
Tegangan jala - jala listrik yang digunakan mempunyai komponen harmonik, sehingga arus yang mengalir pada beban resistif pun mengandung komponen harmonik meskipun cukup kecil. Beban dengan tingkat harmonik rendah menggunakan kombinasi beban resistif berupa: lampu pijar 40 W dan 60 W, filamen, dan kompor listrik. Arus yang ditarik oleh beban resistif mempunyai komponen harmonik cukup berarti di orde ke-9 sebagaimana grafik spektrum pada Gambar 7(a).

2. Beban dengan tingkat harmonik tinggi
Beban berharmonik tinggi diwakili oleh kombinasi lampu TL 10 W dan 20 W. Beban tersebut mempunyai amplitudo komponen harmonik tinggi di orde ke-3, 5, 7, 9, dan 13 sebagaimana grafik spektrum pada Gambar 7(b).

3. Beban dengan tingkat harmonik sedang
Arus yang mengalir pada beban berupa motor AC biasanya mempunyai komponen harmonik kecil. Namun adanya komponen harmonik pada tegangan menjadikan komponen harmonik pada arus yang di tarik motor AC menjadi lebih besar. Kombinasi lampu TL, motor AC, dan beban resistif dikategorikan sebagai beban dengan tingkat harmonik sedang.



(a) Dengan Tingkat Harmonik Rendah



(b) Dengan Tingkat Harmonik Tinggi

Gambar 7. Grafik Arus Beban dan Spektrumnya

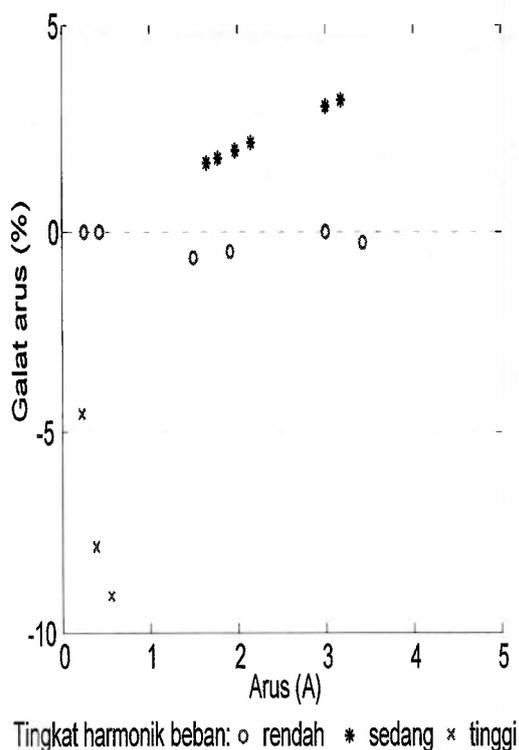
6. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Percobaan pengukuran daya dan faktor daya pada penelitian ini dilakukan pada saat tegangan jala - jala sebesar 226 V dengan frekuensi 50,1 Hz. Sistem dapat mengukur dengan tepat nilai tegangan dan frekuensi tersebut.

6.1 Galat Pengukuran Arus RMS

Pada penelitian ini, format data cuplikan arus dinaikkan dari 8 bit menjadi 10 bit. Efek dari penambahan panjang format data tersebut adalah adanya penurunan galat absolut pengukuran arus RMS.

Pada penelitian sebelumnya, galat absolut maksimal pengukuran arus untuk beban dengan tingkat harmonik kecil adalah 1,5 %. Sebagaimana grafik galat pada Gambar 8, pada penelitian ini, galat maksimal tersebut dapat diturunkan menjadi 0,5 %. Sedangkan untuk beban dengan tingkat harmonik sedang mempunyai galat absolut maksimal 3 %. Sedangkan pada beban yang menarik arus dengan tingkat harmonik tinggi, galat absolut pengukuran arus adalah 9 %. Dengan demikian, semakin tinggi tingkat harmonik arus yang ditarik beban, maka galat pengukuran arus cenderung semakin besar.



Gambar 8. Grafik Galat Pengukuran Daya

6.2 Galat Hasil Pengukuran Daya dan Faktor Daya

Dari grafik galat pengukuran arus terlihat bahwa semakin tinggi tingkat harmonik arus, maka galat pengukuran arus cenderung semakin besar. Daya merupakan hasil integrasi dari hasil perkalian tegangan dan arus, maka galat hasil pengukuran daya dan faktor daya mestinya mempunyai kecenderungan sama dengan galat pengukuran arus.

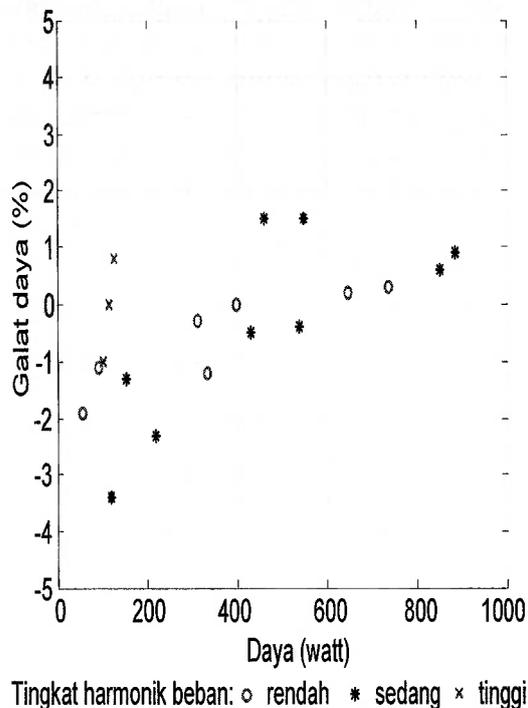
Hasil pengukuran daya untuk beban dengan tingkat harmonik rendah, sedang dan tinggi dapat dilihat pada

Gambar 9. Grafik galat pengukuran faktor daya untuk berbagai nilai daya dapat dilihat pada

Gambar 10. Sedangkan grafik galat pengukuran faktor daya untuk berbagai nilai faktor daya dapat dilihat pada

Gambar 11.

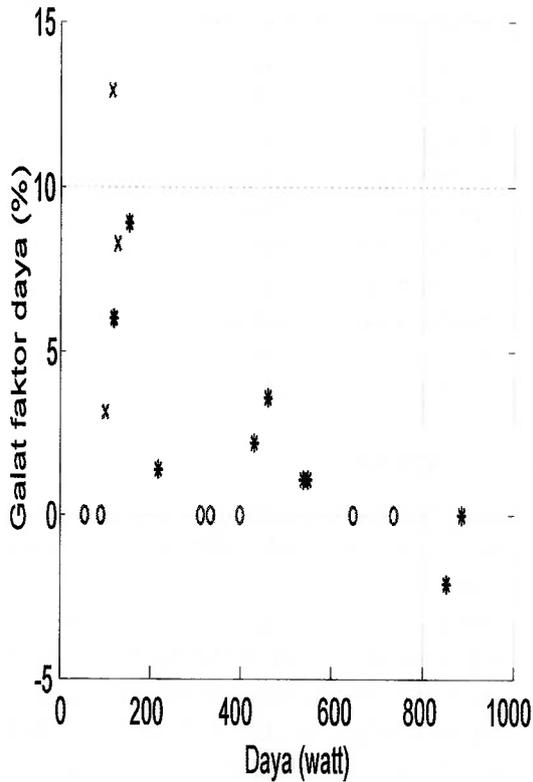
Dari grafik pada Gambar 8 terlihat bahwa sistem dapat digunakan untuk mengukur daya untuk beban dengan tingkat harmonik rendah dengan galat absolut bernilai di bawah 2 %. Nilai galat ini cenderung mengecil dengan naiknya daya beban.



Gambar 9. Grafik Galat Pengukuran Daya

Hasil pengukuran nilai faktor daya beban resistif adalah satu, dan sistem dapat mengukur dengan tepat nilai faktor daya ini sebagaimana grafik pada Gambar 9.

Adanya komponen harmonik cukup berarti di orde ke-9 sebagaimana grafik spektrum pada Gambar 7(a) tidak mengacaukan hasil hitungan sistem.

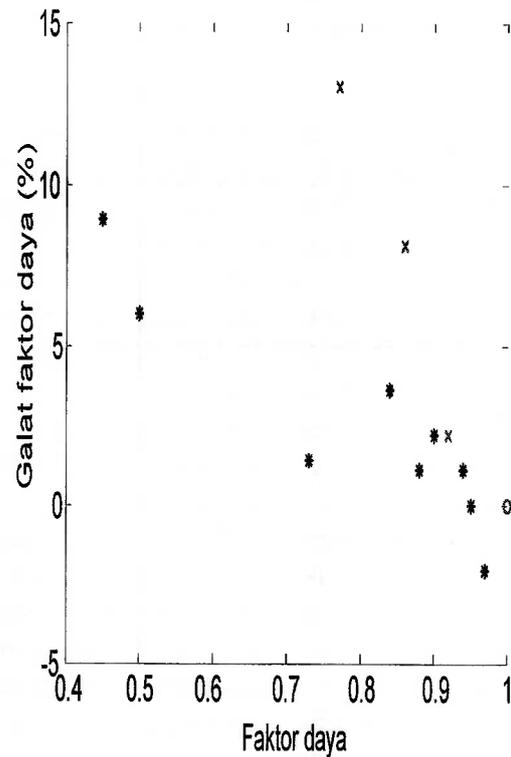


Tingkat harmonik beban: o rendah * sedang x tinggi

Gambar 10. Grafik Galat Pengukuran Faktor Daya Atas Perubahan Daya

Pada Gambar 8, untuk beban yang menarik arus dengan harmonik lebih tinggi, galat absolut pengukuran daya menjadi lebih tinggi, namun masih di bawah 5 %. Nilai galat ini cenderung mengecil dengan naiknya nilai daya beban. Sistem juga dapat mengukur nilai faktor daya cukup baik dengan galat absolut di bawah 10 %. Nilai galat ini cenderung mengecil dengan naiknya nilai daya beban dan naiknya nilai faktor daya sebagaimana

Gambar 10 dan
Gambar 11.



Tingkat harmonik beban: o rendah * sedang x tinggi

Gambar 11. Grafik Galat Pengukuran Faktor Daya

Pada beban dengan tingkat harmonik tinggi sebagaimana grafik spektrum pada Gambar 7(b), nilai daya masih dapat terukur dengan cukup baik dengan galat absolut di bawah 2 % sebagaimana

Gambar 9. Namun hasil pengukuran faktor daya masih menunjukkan galat cukup tinggi, yaitu mencapai 13 % sebagaimana

Gambar 10. Nilai galat ini pun cenderung mengecil dengan naiknya nilai faktor daya sebagaimana

Gambar 11.

6.3 Analisis Penyebab Galat dan Solusinya

Salah satu kemungkinan penyebab tingginya nilai galat absolut pengukuran pada daya dan faktor daya dengan tingkat harmonik tinggi adalah kurangnya kepekaan

sistem atas keberadaan komponen harmonik dengan orde tinggi.

Dengan menggunakan frekuensi cuplikan sebesar 64 kali frekuensi fundamental, sistem dapat menanggapi keberadaan komponen harmonik hingga orde ke-31. Namun semakin tinggi orde komponen harmonik, maka tanggapan sistem akan semakin berkurang. Akibatnya semakin tinggi orde komponen harmonik, maka nilai amplitudo orde komponen harmonik tersebut akan semakin terbaca lebih kecil dari semestinya.

Salah satu solusi untuk mengurangi galat absolut pada pengukuran arus dengan tingkat harmonik tinggi adalah dengan mempertinggi frekuensi cuplikan. Namun usaha ini harus diimbangi dengan penambahan kebutuhan memori dan penjadwalan ulang prosesor agar pelaksanaan semua algoritma di mikrokontroler dapat berjalan sesuai target waktu yang ditetapkan.

6.4 Pengembangan Sistem

Prosentase waktu sibuk *CPU* saat mengerjakan algoritma pencuplikan cukup rendah. Banyak waktu yang hanya digunakan untuk menunggu. Demikian pula, pada saat mengerjakan algoritma penghitungan frekuensi tegangan, sebagian besar waktu hanya digunakan untuk menunggu terjadinya sisi naik dan sisi turun isyarat yang masuk ke *PORTB.0*.

Grafik isyarat pada *PORTB.2* pada Gambar 5 juga memperlihatkan bahwa setelah selesai dikerjakannya algoritma penghitungan, *CPU* masih menunggu waktu cukup lama untuk kemudian mengulang mengerjakan serangkaian algoritma untuk mengukur daya dan faktor.

Dengan demikian masih dimungkinkan *wattmeter digital* berbasis mikrokontroler ini ditambah algoritma untuk pelaporan data (*data-logging*) ke komputer. Data yang mewakili nilai tegangan, arus dan daya sesaat dapat dikirim ke komputer agar dapat

diketahui grafik tegangan dan arus seperti yang dapat ditampilkan osiloskop digital.

Data perubahan nilai frekuensi, tegangan dan arus RMS, daya dan faktor daya yang tercatat sepuluh kali per detik dapat dikirim ke komputer agar dapat diketahui fluktuasi ketiga parameter tersebut secara waktu nyata (*real time*). Dengan demikian alat ukur ini dapat dikembangkan menjadi pemonitor daya listrik berbasis mikrokontroler.

7. KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Dari pembahasan yang telah dipaparkan di muka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Dengan mengubah panjang bit data hasil cuplikan arus dari 8 bit menjadi 10 bit, galat absolut maksimal pengukuran arus dapat diturunkan dari 1,5 % menjadi 0,5 % untuk arus dengan tingkat harmonik kecil.
2. Pada sistem ini, mikrokontroler ATmega8535 dapat dijadikan komponen utama pengukur nilai daya dan faktor daya dengan galat absolut di bawah 2 %.
3. Sistem juga dapat mengukur nilai daya dan faktor daya dengan galat di bawah 5 % dan 10 % untuk beban dengan tingkat harmonik sedang.
4. Semakin tinggi nilai daya atau faktor daya beban, galat absolut hasil pengukuran daya dan faktor daya cenderung semakin kecil.
5. Semakin tinggi tingkat harmonik arus yang ditarik beban, galat absolut hasil pengukuran daya dan faktor daya cenderung semakin besar.

7.2 Saran

Dari kesimpulan yang telah dipaparkan di muka dapat diajukan beberapa saran sebagai berikut.

1. Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan menaikkan frekuensi cuplikan untuk meningkatkan akurasi pengukuran.

2. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan menambah fasilitas *data logger* dan membuat perangkat lunak berbasis visual untuk membentuk grafik nilai tegangan, arus dan daya secara waktu nyata (*real time*) di layar komputer.
3. Sistem juga dapat dikembangkan dengan menambah fasilitas *data logger* di kartu memori sehingga sistem ini dapat lebih fleksibel digunakan untuk pengambilan data di lapangan.

Tocci, Ronald J., Neal S. Widmer. (1988) *Digital Systems, 7th edition*. Prentice Hall. Inc. New Jersey. USA.

Haque, M, Hossain, K, Ali, , Sheikh, RI. (2011) *Microcontroller Based Single Phase Digital Prepaid Energy Meter for Improved Metering and Billing System. International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS)*. Vol.1. No.2. December 2011. pp. 139 - 147.

DAFTAR PUSTAKA

Allegro. (2011) *ACS712, Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*. Allegro MicroSystem. Inc. Massachusetts, USA.

Atmel. (2003) *AVR182:Zero Cross Detector, 8-bit AVR RISC Microcontroller – Application Note*. Atmel Corporation. California. USA.

Atmel. (2006) *ATmega8535 8-bit Microcontroller with 8K Bytes In-System Programmable Flash*. Atmel Corporation. California. U.S.A.

Boylestad, Robert, Noshelsky, Louis. (1992) *Electronic Devices & Circuit Theory, Fifth Edition*. Prentice-Hall International Inc. USA.

Kuc, Roman. (1998) *Introduction to Digital Signal Processing*. McGraw-Hill International Editions. Singapore.

Kurniawan, Freddy. (2009) Implementasi Mikrokontroler sebagai Pencacah Frekuensi Berbasis Pengukuran Periode Isyarat Masukan. *Jurnal Telkomnika*. Vol. 7. No. 1. hal 57 – 64.

Kurniawan, Freddy. (2011) Analisis Ketepatan Pengukur Nilai Tegangan dan Arus RMS Jala - jala Listrik Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Angkasa*. Vol 3. No. 2. November 2011. hal. 53-64.

ALAT ANOTASI UNTUK SEL EPITEL PADA CITRA *PAP SMEAR*

Izzati Muhimmah¹, Pranajaya²

Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia

Email : izzati@uii.ac.id

ABSTRACT

Reading papsmeas slide under microscope is a challenging task. Having a records on individual cell quatitatively for further evaluation purposes becomes impossible. This research proposed a computer assisted system for annotation of papsmeas cells. The system provide facilities for pathologists to annotate individual cells and allowing them to put classification of the cells into four categories, ie nucleus, cytoplasm, inflammatory, and undefined class. Meanwhile in the background, the system recorded the coordinates of each annotated cell and measure its area. It also has facitily to save the annotated images into jpeg format. This system can be used for training and provide the quantitative measures of individual cells for further papsmeas analysis.

Keyword : Annotation Tool, Papsmeas, Computer Assisted System, Pathologist.

1. LATAR BELAKANG

Kanker serviks adalah penyakit akibat tumor ganas pada daerah mulut rahim sebagai akibat dari adanya pertumbuhan jaringan yang tidak terkontrol dan merusak jaringan normal di sekitarnya (FKUI, 1990). WHO mengatakan saat ini penyakit kanker serviks menempati peringkat teratas di antara berbagai jenis kanker yang menyebabkan kematian pada perempuan di dunia. Kanker leher rahim merupakan kanker yang dapat dicegah dengan pendeteksian secara dini.

Deteksi dini kanker leher rahim yang biasa dilakukan adalah diagnostik *sitologi ginekologik* apusan pap. Apusan Pap / *Pap Smear* dilakukan oleh dokter yang telah berpengalaman atau seorang OB / GYN. Sampel cairan atau lendir di serviks diambil dengan memasukkan sebuah batang olesan berujung kapas dan memutarnya di permukaan serviks. Sampelnya kemudian dioleskan pada sebuah *preparat / slide* dan dilihat di bawah mikroskop. Mikroskop memungkinkan pemeriksa untuk melihat komponen cairan tersebut.

Pada citra atau gambar yang didapat dari hasil *Pap Smear* pada pemeriksaan di bawah mikroskop ini, tidak dimungkinkan bagi ahli patologi untuk menandai sel, menuliskan catatan abnormalitas, maupun menilai bagian-bagian yang penting dari citra optis tersebut. Sehingga, untuk keperluan pembelajaran dan pelatihan pada pengenalan sel - sel pada citra *Pap Smear* diperlukan alat bantu yang memungkinkan pemberian catatan pada bagian sel citra *Pap Smear*. Salah satu strateginya yaitu dengan mengubah citra optis menjadi citra digital, sehingga dimungkinkan dirancang suatu aplikasi yang dapat memberikan catatan secara langsung pada citra digital.

Pada artikel ini akan dijelaskan usulan sistem yang memungkinkan ahli patologi memberikan catatan (anotasi) pada citra digital *Pap Smear*. Pemberian keterangan bagian-bagian penting dari citra digital *Pap Smear* tersebut akan membantu ahli patologi dalam menerangkan hasil pengamatan *Pap Smear* dengan mudah. Selain itu, hasil anotasi juga dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 KANKER SERVIKS

Kanker serviks ataupun lebih dikenal sebagai kanker leher rahim adalah penyakit akibat tumor ganas pada daerah mulut rahim sebagai akibat dari adanya pertumbuhan jaringan yang tidak terkontrol dan merusak jaringan normal disekitarnya (FKUI, 1990 ;FKPP, 1997). Pada penderita kanker serviks terdapat sekelompok jaringan yang tumbuh secara terus - menerus yang tidak terbatas, tidak terkoordinasi dan tidak berguna bagi tubuh, sehingga jaringan disekitarnya tidak dapat berfungsi dengan baik (Sarwono, 1996). Biasanya kanker ini menyerang wanita yang telah berumur, terutama paling banyak pada wanita yang berusia 35 - 55 tahun. Tidak menutup kemungkinan wanita yang masih muda juga dapat menderita penyakit ini apabila memiliki faktor resiko.

2.2 PAP SMEAR

Pap Smear adalah suatu pemeriksaan dengan cara mengusap leher rahim (*scrapping*) untuk mendapatkan sel - sel leher rahim kemudian diperiksa sel - selnya, agar dapat diketahui terjadinya perubahan atau tidak (Hariyono, 2008). Pemeriksaan *Pap Smear test* dapat dilakukan di rumah sakit pemerintah atau laboratorium swasta dengan harga yang cukup terjangkau. Bila hasil *Pap Test* ternyata positif, maka harus dilanjutkan dengan pemeriksaan biopsi terarah dan patologi. *Pap Smear* sudah dapat menemukan kanker leher rahim walaupun masih ada tingkat pra kanker (stadium dini), sehingga bisa memberikan harapan kesembuhan 100%. Sebaliknya pada penderita yang datang terlambat, harapan hidupnya sulit diperkirakan (Evennett, 2003). Sensitivitas tes *Pap smear* untuk mendeteksi NIS berkisar 50 - 98% sedang negatif palsu antara 8 - 30% untuk *lesi skuamosa* 40% untuk *adenomatosa*. Spesifisitas tes *Pap Smear* adalah 93%, nilai prediksi positif adalah 80,2% dan nilai prediksi negatif adalah 91,3%. Harus hati - hati justru pada *lesi* serviks invasif, karena negatif palsu

dapat mencapai 50%, akibat tertutup darah, adanya radang dan jaringan *nekrotik*. Fakta ini menunjukkan bahwa pada *lesi invasif* kemampuan pemeriksa melihat serviks secara mikroskopik sangat diperlukan. Pada suatu *slide Pap Smears*, setidaknya terdapat beberapa tipe sel sebagai berikut: Berbagai tipe sel dapat dibedakan menurut perbandingan luasan nuklei dengan luasan sitoplasmanya (Hoda& Hoda, 2007).

2.3 ANOTASI

Anotasi ialah suatu catatan yang dibuat oleh pengarang atau orang lain untuk menerangkan, mengomentari, atau mengkritik teks karya sastra atau bahan tertulis lain (KBBI). Anotasi merupakan suatu komponen penting dalam suatu representasi, contohnya representasi artikel, desain dan hasil penelitian serta anotasi dapat berupa teks pendek, label, dan judul.

Anotasi dalam pengertian lainnya merupakan proses meningkatkan gambar yang dipilih dengan informasi untuk menyampaikan temuan ahli radiologi. Ada berbagai jenis informasi yang dapat ditambahkan untuk tujuan ini, salah satu contoh adalah penggunaan panah yang mengarah ke beberapa variasi patologi, panah mungkin akan ditempatkan di dekat informasi tekstual untuk label daerah itu. Fasilitas lain dari anotasi adalah untuk mengelilingi daerah yang dijadikan tujuan pengamatan (Bernhard & Dirk,2007).

2.4 ANOTASI PADA CITRA DIGITAL

Citra digital adalah sebuah fungsi 2D, $f(x,y)$, yang merupakan fungsi intensitas cahaya, dimana nilai x dan y merupakan koordinat spasial dan nilai fungsi f di setiap titik (x,y) merupakan tingkat keabuan citra pada titik tersebut. Citra digital dinyatakan dengan sebuah matriks dimana baris dan kolomnya menyatakan suatu titik pada citra tersebut dan elemen matriksnya (yang disebut sebagai elemen gambar atau piksel) menyatakan tingkat keabuan pada titik tersebut. Dengan menggunakan citra digital dimungkinkan untuk mendapatkan informasi

dari setiap bagian pada citra tersebut. Informasi yang dimaksud meliputi koordinat - koordinat tepi sel, luasan sel, dan catatan - catatan terkait tipe sel serta tingkat abnormalitasnya (Hoda& Hoda, 2007). Adanya anotasi oleh ahli patologi tersebut dapat dimanfaatkan sebagai acuan untuk perbandingan sel (Muhimmah etal, 2012), penentuan ciri, dan pengenalan pola keganasan sel. Pengetahuan tentang hal-hal tersebut dapat membantu penelitian tentang sel *Pap Smears* secara kuantatif dan *repeatable*. (Bernhard & Dirk,2007).

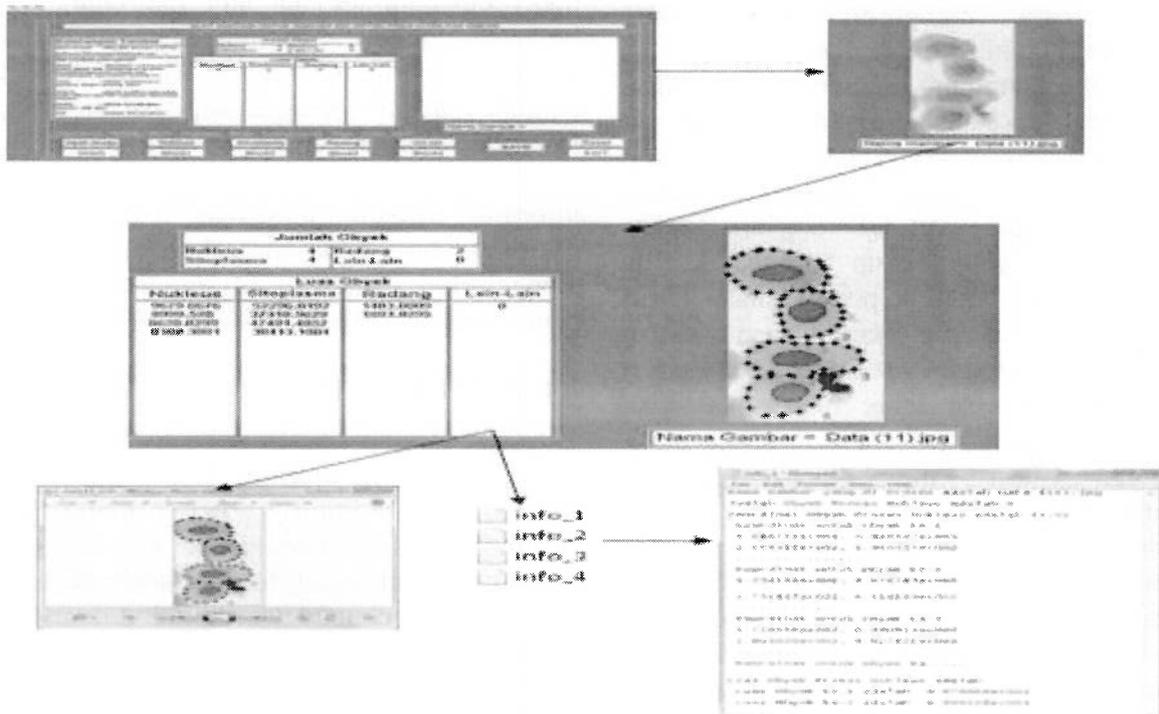
3. GAMBARAN UMUM APLIKASI

Dalam sistem yang dibangun, pengguna dapat menjalankan program aplikasi dengan urutan sebagai berikut :

- a. Pilih citra digital *Pap Smears*.
- b. Tandai batas setiap sel dengan meng-klik titik kordinat pada gambar tersebut, dengan cara menggunakan *mouse* kiri untuk memulai dan *mouse* kanan untuk mengakhiri.

- c. Aplikasi secara otomatis akan menghubungkan titik - titik yang dipindai oleh pengguna.
- d. Pengguna harus menentukan tipe sel tersebut, dengan memilih satu tombol diantara ke-empat pilihan berikut ini : nuklei, sitoplasma, radang, atau lain – lain.
- e. Aplikasi akan secara otomatis memberi warna, memberi nomor urut naik, dan menghitung luas untuk setiap pilihan tipe sel oleh pengguna.
- f. Aplikasi menyediakan fungsi penyimpanan data koordinat - koordinat untuk setiap tipe sel yang ditentukan oleh pengguna dalam format **.txt*.
- g. Aplikasi menyediakan fungsi penyimpanan citra teranotasi dengan format **.jpg*.

Tampilan antarmuka dan alur program dari sistem anotasi yang diusulkan dapat dilihat dalam Gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi Proses Anotasi yang Diusulkan

4. DATA DAN EVALUASI

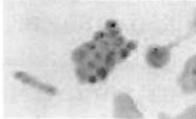
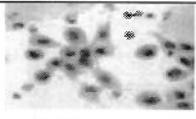
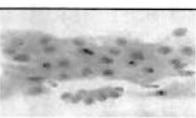
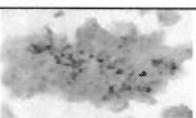
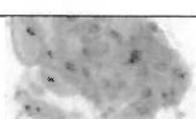
Data yang digunakan untuk penelitian ini diperoleh dari koleksi citra *Pap Smear* NCI Bethesda Sistem. (<http://nih.techriver.net/>). Adapun detail data yang digunakan dalam

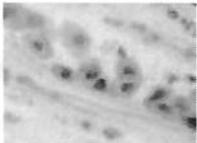
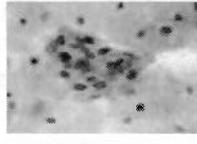
Dari Tabel 1 dapat dilihat keragaman data *Pap Smear*. Variasi data diperoleh dari perbedaan metode penyiapan apusan (*Conventional or Liquid Base Preparation*), perbedaan zat kontras yang digunakan dan ukuran perbesaran mikroskop saat akuisisi citra. Dari citra yang ada, dapat dilihat adanya perbedaan struktur pada setiap tipe

sel penyusun citra *Pap Smear*. Selain itu, dalam Tabel 1 juga terdapat keterangan tentang interpretasi kelainan / abnormalitas yang dikenali dalam suatu citra *Pap Smears*. Kesebelas citra ini yang akan digunakan dalam evaluasi *proto type* sistem yang diusulkan.

Evaluasi dari aplikasi yang diusulkan diperoleh dari penilaian dokter koas pada Laboratorium Patologi Anatomi UII. Penilaian dilakukan berdasar *interview* tentang aspek *human - computer interaction* atas aplikasi yang diusulkan.

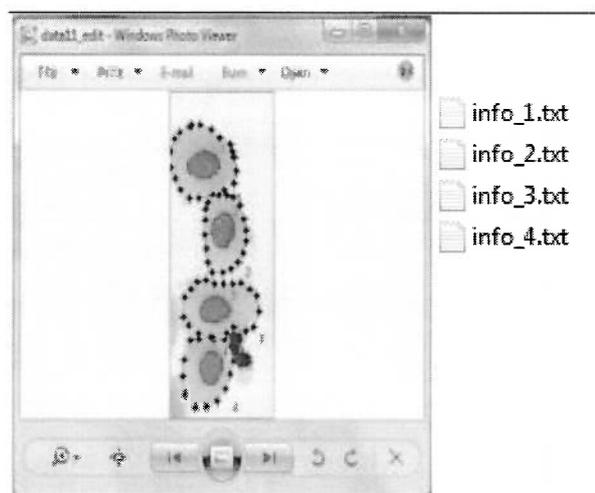
Tabel 1. Data Citra *Pap Smears*

Data	Keterangan	Preparasi Tipe	Tampilan
1	Interpretasi = NILM : <i>Endocervical Cells</i> Perbesaran = <i>High</i>	<i>SurePath / LBP</i>	
2	Interpretasi = NILM : <i>Squamous Metaplasia</i> Perbesaran = <i>High</i>	<i>Conventional</i>	
3	Interpretasi = NILM vs ASC-US Perbesaran = <i>High</i>	<i>Conventional</i>	
4	Interpretasi = ASC - H Perbesaran = <i>High</i>	<i>Conventional</i>	
5	Interpretasi = NILM : <i>Reactive Squamous Cells</i> Perbesaran = <i>High</i>	<i>SurePath / LBP</i>	
6	Interpretasi = ASC - H Perbesaran = <i>Medium</i>	<i>Conventional</i>	
7	Interpretasi = ASC - US Perbesaran = <i>Medium</i>	<i>Conventional</i>	

8	Interpretasi = LSIL Perbesaran = Medium	Conventional	
9	Interpretasi = NILM : Squamous Metaplasia Perbesaran = Medium	Conventional	
10	Interpretasi = NILM : Keratotic Cellular Changes-Hyperkratosis Perbesaran = Medium	ThinPrep / LBP	

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

Aplikasi yang diusulkan telah dapat menjalankan fungsi sistem dengan baik. Sistem ini mengklasifikasikan 4 bagian obyek dari citra yaitu nukleus, sitoplasma, radang, dan bagian lain - lain. Informasi yang dihasilkan dari sistem ini berupa nama obyek, koordinat obyek, luas obyek dari citra dengan format **.txt* dan gambar citra yang telah diberi warna dan nomor dengan format *jpg*. Hasil dari sistem digunakan untuk proses pembelajaran dan digunakan oleh dokter spesialis patalogi anatomi untuk membantu proses diagnosis selanjutnya pada citra *Pap Smear*. Hasil dari sistem dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2.Detail Hasil Anotasi

Dari Gambar 2, terlihat bahwa setiap kurva tertutup untuk setiap tipe sel akan mendapat penomoran secara otomatis. Penomoran ini dapat digunakan sebagai identifikasi sel sekaligus penghitung banyaknya sel yang ada dalam suatu citra. Ke-empat file **.txt* secara otomatis diciptakan sebagai wadah untuk informasi koordinat dan luasan tiap - tiap sel hasil anotasi untuk setiap tipe sel. Ke-empat file tersebut masing - masing untuk informasi anotasi untuk nukleus, sitoplasma, radang, atau lain - lain (tidak terdefinisi).

6. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini sudah berjalan dengan baik sehingga dapat melakukan pemberian keterangan dan pencatatan (anotasi) 4 bagian citra *pap smear*. Bagian tersebut merupakan nukleus, sitoplasma, radang, dan bagian lain-lain dengan informasi yang diformat dalam bentuk *txt* dan *jpg*. Informasi itu digunakan untuk proses pembelajaran dalam menganalisa citra *Pap Smear* dan digunakan untuk membantu dokter spesialis patalogi anatomi dalam mengumpulkan data *Pap Smear*.

7. SARAN

Agar memaksimalkan dalam mengumpulkan data dari citra *Pap Smear* perlu adanya perbaikan sehingga sistem dapat memeriksa lebih dari 4 bagian citra

sehingga mendapatkan informasi yang lebih banyak dan dapat memeriksa lebih dari 1 gambar saat sistem dijalankan sehingga menghemat waktu dalam proses menganalisa.

DAFTAR PUSTAKA

Bethesda. From <http://nih.techriver.net>.

Evennett. (2003) *Pap Smear. Apa yang Perlu Anda Ketahui ?*, Jakarta : Arcan. From <http://ratihrochmat.wordpress.com/2008/06/14/pap-smear/>, 27 Febuari 2012.

Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia. (1990) *Ca Serviks*. Jakarta : Universitas Indonesia.

Gonzales, Rafael C., Woods, Richard E. (2002) *Digital Image Processing second edition*. New Jersey : Prentice Hall.

Haryanto. *Kegunaan Function & Source, Presentasi Teknik Pemograman dan Terstruktur*.

Preim, Bernhard & Bartz, Dirk. (2007) *Visualization in Medicine*. USA : Morgan Kaufmann Publisher.

R. (2012) *Documentation Matlab Functio*. From <http://mathworks/>. 27 Febuari 2012.

Sarwono. (1996) *Pap Smear*. From <http://jhonkarto.blogspot.com/2009/01/kanker-serviks.html>. 27 Febuari 2012.

Soetomo & Fakultas Kedokteran UNAIR. (2000) *Pap Smear*. Surabaya : Universitas Airlangga.

Sutoyo, T, Mulyanto Edi dkk. (2009) *Teori Pengolahan Citra Digital*. Yogyakarta : Penerbit Andi.

Wijaya, Marvin & Prijono, Agus. (2007) *Pengolahan Citra Digital Menggunakan MATLAB*. Bandung : Informatika Bandung.



Izzati Muhimmah, memperoleh kualifikasi S-3 di bidang *Medical Imaging* dari *Aberystwyth University, UK* pada tahun 2008. Dia menyelesaikan pendidikan S-2 di *Netherland Institutes For Health Sciences* pada tahun 2001 dengan proyek *thesis* tentang Segmentasi Citra MRI Otak. Lulus S-1 Jurusan Teknik Elektro Universitas Gadjah Mada (UGM) pada tahun 1997. Saat ini penelitian yang dilakukan berfokus pada analisa citra *Pap Smears* untuk memodelkan karakteristik sel normal atau abnormal sebagai identifikasi resiko kanker leher rahim. Bidang riset lain yang diminati adalah pengolahan citra rambu lalu lintas hingga pelacakan objek.

PENGUJIAN KEHANDALAN SISTEM ELEKTRONIS DAN TELECOMMAND PADA ROBOT PENJELAJAH

Romi Wiryadinata¹, Frandi Adi Kaharjito²

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Jl. Jend. Sudirman km 3 Cilegon, Banten

romi_wiryadinata@yahoo.com¹, kaharjito@gmail.com²

ABSTRACT

Strong electronic system is needed for surveillance robot to reach out to vulnerable areas. Especially in the driver motor as drive systems as well as on the sending and receiving data. Robot control is done manually using a joypad. Motor using mosfet driver circuit in the form of H-Bridge and adjustable voltage using PWM. Data transmission with FSK modulation use TCM3105 modems and transmission media handy talky. Between the microcontroller (serial digital) with HT (audio frequency) as transmission media is needed to change of data using the audio FSK modem. In the linear motor driver condition is obtained when the PWM 10 % to 90 %. The results of modulation showed a space frequency 2193 Hz and 1190 Hz for mark frequency. Volume HT receiver affects the received waveform, the best waveform when the volume HT is medium. The time delay between transmission and reception using the HT as the transmission media is greater than without HT.

Keyword: surveillance robot, PWM, audio FSK modem, TCM3105, handy talky

1. PENDAHULUAN

Seringkali titik pusat bencana (*hot zone*) merupakan daerah yang berbahaya untuk dimasuki orang termasuk tim penyelamat. Di daerah bencana merupakan daerah yang belum pernah dimasuki oleh manusia dan cukup berbahaya karena belum diketahui kondisi daerah tersebut, dengan adanya robot penjelajah diharapkan dapat menjadi solusi untuk memasuki daerah tersebut.

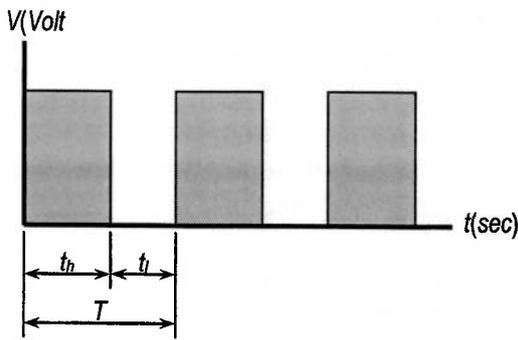
Robot penjelajah memerlukan kehandalan dalam sistem elektronika, diantaranya pada *driver* motor sebagai sistem kendali penggerak maupun perangkat pengirim dan penerima data. Pada *driver* motor rangkaian *H-Bridge* menggunakan tegangan 100 V dan arus 23 A menggunakan sistem pengendali PWM. Pengiriman data dilakukan dengan sistem *wireless* menggunakan HT sebagai media transmisi. Frekuensi *audio* untuk pengiriman data menggunakan HT dengan perubahan data antara mikrokontroler (serial digital) dan HT

(frekuensi *audio*) menggunakan *audio* FSK modem.

2. ELEKTRONIKA SYSTEM

2.1 Pulse Width Modulation

Pulse width modulation merupakan salah satu metode pengaturan daya, dengan mengurangi tegangan keluaran yang diberikan sehingga arus yang mengalir berkurang, dengan cara memberikan tegangan DC berfrekuensi dengan mengatur siklus kerjanya (*duty cycle*). Siklus kerja diperoleh dari perbandingan antara lamanya tegangan pada nilai maksimum (t_h) dengan lamanya tegangan pada nilai *minimum* atau nol (t_l) [2]. Bentuk pulsa PWM dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Pulse Width Modulation

Pencarian besarnya siklus kerja yang digunakan dapat menggunakan persamaan 1.

$$\text{Duty Cycle (\%)} = \frac{t_h}{t_h + t_l} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

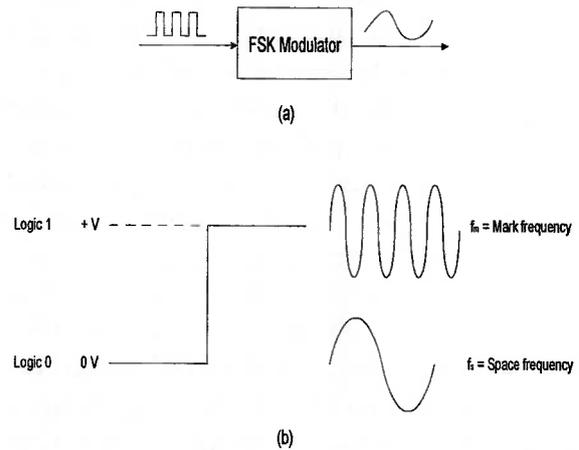
Besarnya tegangan keluaran rata-rata yang dihasilkan setelah menggunakan PWM dapat diperoleh menggunakan persamaan 2.

$$v_o = \text{Duty Cycle} \times v_i \dots\dots\dots(2)$$

Duty Cycle adalah persentase nilai PWM yang dapat digambarkan dalam satuan persentase (%). Nilai tersebut merupakan hasil perkalian per seratus dari perbandingan waktu saat tegangan *high* yang ditandai dengan t_h (s) dan waktu maksimal PWM yaitu T atau penjumlahan waktu saat tegangan *high* dan *low* $t_h + t_l$ dengan satuan (s). Tegangan keluaran PWM V_o dengan satuan tegangan (V) dapat diperoleh dengan mengalikan persentase PWM dengan tegangan *input* V_i dengan satuan tegangan (V).

2.2 Frekuensi Shift Keying

Frequency shift keying merupakan salah satu bentuk modulasi digital dengan kinerja yang rendah. FSK memiliki bentuk yang konstan dengan membawa informasi digital melalui perubahan frekuensi diskrit dari sebuah gelombang pembawa.



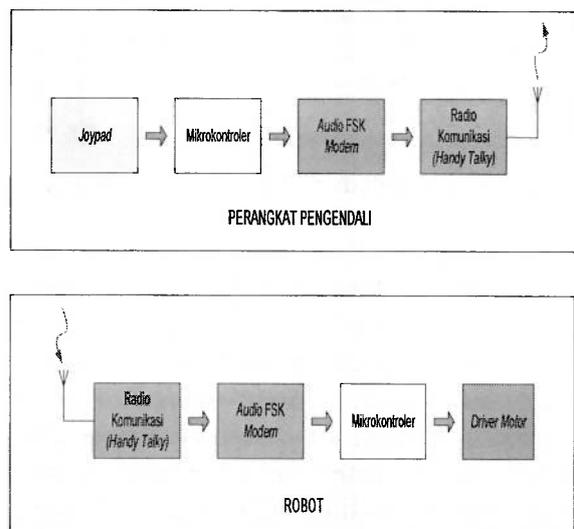
Gambar 2. Proses Modulasi dan Bentuk Frekuensi FSK

- (a) Proses Modulasi FSK
- (b) Bentuk Frekuensi FSK

Teknik FSK adalah mengubah pulsa-pulsa *biner* menjadi gelombang harmonis sinusoidal. *Logic 0* diubah menjadi frekuensi (*space frequency*) dan *logic 1* diubah menjadi frekuensi (*mark frequency*). Proses modulasi dan bentuk frekuensi FSK dapat dilihat pada gambar 2.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Sistem elektronika pada penelitian robot penjelajah ini terbagi dalam dua perangkat yang berbeda, yaitu pada robot dan perangkat pengendali. Diagram blok sistem elektronika dapat dilihat pada gambar 3.

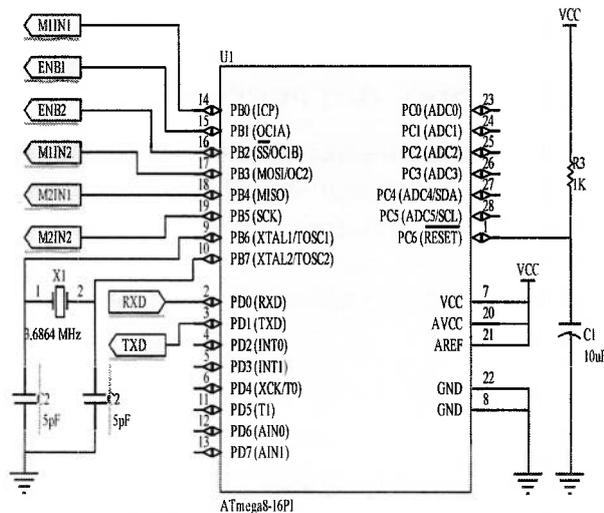


Gambar 3. Diagram Blok Sistem Elektronika

Rangkaian elektronika dari perangkat (gambar 3) terbagi menjadi 4 bagian, dengan masing - masing memiliki peranan yang saling berkaitan. Pertama, mikrokontroler robot yang terletak pada robot penjelajah dan menjadi komponen utama sebagai pusat penggerak robot. Kedua, mikrokontroler *transmitter* pada perangkat pengendali yang berfungsi sebagai penerjemah tombol *joypad* sehingga dapat dikirim ke *audio FSK modem*. Ketiga, *driver motor DC* digunakan sebagai pengendali motor DC yang menjadi alat penggerak robot. Keempat, *audio FSK modem* sebagai penghubung mikrokontroler dengan radio komunikasi.

3.1 Mikrokontroler Robot

Robot penjelajah ini menggunakan ATmega8 sebagai pengendali utama. Rangkaian mikrokontroler robot yang terhubung dengan perangkat lain terlihat pada gambar 4.

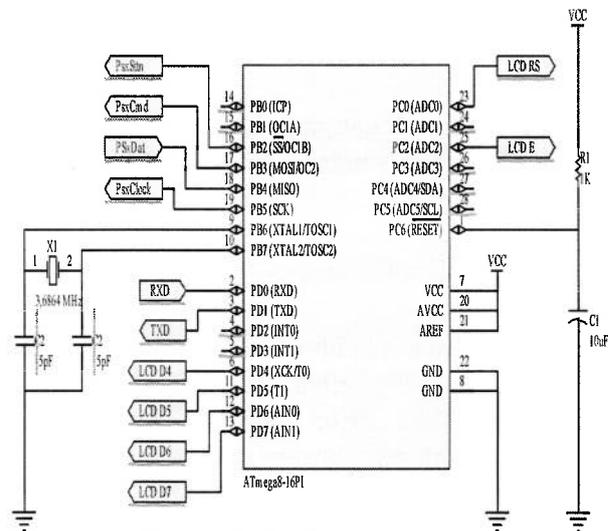


Gambar 4. Rangkaian Mikrokontroler Robot

Pembangkit *clock* menggunakan *crystal* 3.6864 MHz. Saluran I/O digunakan sebagai pengendali motor dan sebagai saluran komunikasi dengan perangkat *transmitter* yang dihubungkan dengan *modem*. Port B digunakan sebagai *input driver motor DC*, sebagai saluran pengirim dan penerima data menggunakan fasilitas *RXD* dan *TXD* yang terhubung dengan *modem*.

3.2 Mikrokontroler Transmitter

Rangkaian (gambar 5) termasuk dalam perangkat *transmitter*, mikrokontroler yang digunakan adalah ATmega8 dan *joypad* yang digunakan *joypad Playstation compatible* sehingga diperlukan pembacaan data menggunakan mikrokontroler. Sistem kerja rangkaian (gambar 5) merubah data dari *joypad* berupa data serial SPI menjadi serial UART dikirim menuju robot. Rangkaian *minimum sistem* (gambar 4) menggunakan *clock* eksternal dengan *crystal* 3.6864 MHz untuk menghasilkan baudrate 1200 tanpa *error* dan frekuensi *SCK* yang sama dengan *joypad*.



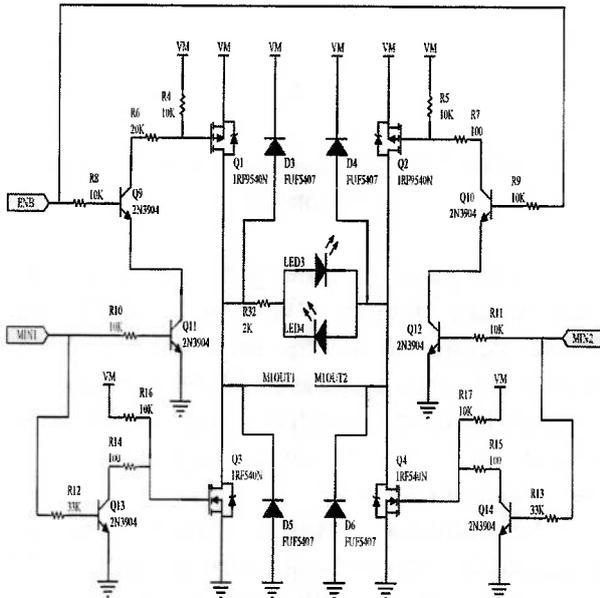
Gambar 5. Rangkaian Mikrokontroler Transmitter

Rangkaian (gambar 5) memiliki koneksi dengan *audio FSK modem*, *joypad*, dan LCD. Masing-masing *pin SS*, *MOSI*, *MISO*, dan *SCK* dihubungkan dengan *pin PsxAttn*, *PsxCmd*, *PsxDat*, *PsxClock* pada *joypad*. *RXD* dan *TXD* mikrokontroler dihubungkan dengan *modem* sebagai jalur pengirim dan penerima data UART dengan *modem*. PD.4 sampai PD.7 terhubung dengan LCD sebagai jalur pengirim data, jalur *RS* dan *E* sebagai pengatur LCD menggunakan PC.0 dan PC.2.

3.3 Driver Motor DC

Driver motor yang digunakan pada robot dalam penelitian menggunakan *mosfet p-*

channel dan *n-channel* serta transistor PNP dan NPN. *Driver* (gambar 6) dapat digunakan pada tegangan digital standar TTL. *Mosfet* dan transistor membentuk rangkaian *H-Bridge* dengan 2 *input* sebagai perubah aliran arus dan ditambah 1 *input* yang digunakan sebagai masukan PWM untuk pengaturan tegangan *output*.



Gambar 6. Rangkaian *Driver* Motor DC

c.

Sistem kerja *driver* motor DC (gambar 5), *MIN1* dan *MIN2* digunakan sebagai *input* pengatur arah pergerakan motor DC, *pin ENB* digunakan sebagai pengatur kecepatan putaran motor dengan memasukkan sinyal PWM. Kondisi yang diperbolehkan dalam *driver* motor DC (gambar 6) ditampilkan pada tabel 1.

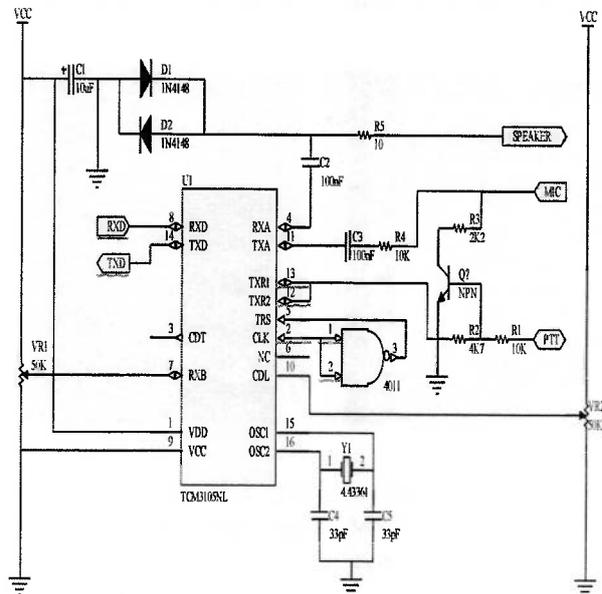
Motor akan bergerak maju atau mundur jika *pin* pengatur arah pergerakan *MIN1* dan *MIN2* diberikan nilai berkebalikan dan *pin ENB* mendapat nilai *high*. Kondisi bebas motor didapatkan jika *pin MIN1* dan *MIN2* mendapat nilai *high* dan *ENB* mendapat nilai *low*. Motor dapat diberhentikan (*brake*) jika semua kondisi input mendapat nilai *low* sehingga kedua polaritas motor akan terhubung dengan *GNDM*.

Tabel 1. Tabel Kebenaran *Driver* Motor DC

INPUT			OUTPUT		FUNGSI
MIN1	MIN2	ENB	M1 OUT1	M1 OUT2	
High	Low	High	VM	GNDM	Forward
Low	High	High	GNDM	VM	Reverse
High	High	Low	-	-	Free Running Stop
Low	Low	Low	GNDM	GNDM	Fast Stop / Brake

3.4 Audio FSK Modem

Rangkaian *modem* digunakan sebagai penghubung antara mikrokontroler (data digital) dengan HT (isyarat suara). Saat menjadi *modulator* data serial masuk untuk dirubah menjadi isyarat suara, sebaliknya saat digunakan sebagai *demodulator* data suara yang masuk dirubah menjadi data serial. Rangkaian *modem* menggunakan IC *TCM3105* terlihat pada gambar 7.



Gambar 7. Rangkaian *Audio FSK Modem*

d.

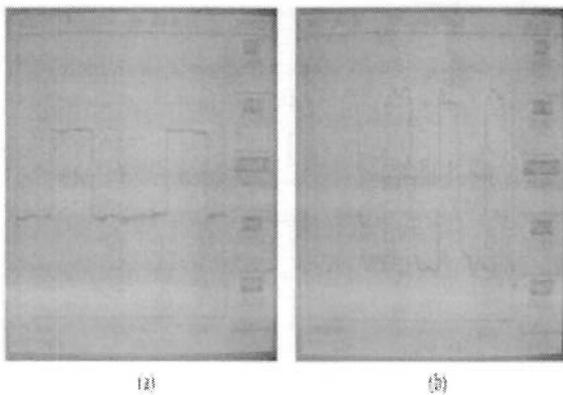
RXD dan *TXD* pada IC menjadi saluran komunikasi data dengan mikrokontroler. *Pin RXD* digunakan sebagai penerima data sedangkan *pin TXD* digunakan sebagai pengirim data ke mikrokontroler. Sebagai

perangkat penghubung dengan HT digunakan *pin RXA* dan *TXA*. *Pin RXA* digunakan sebagai penerima data dari HT yang dihubungkan dengan *speaker* pada HT, sedangkan *pin TXA* menjadi saluran pengirim data yang dihubungkan pada *microphone* HT.

Penggunaan *baud rate* 1200 bps dipilih dengan menghubungkan *TXR1* dan *TXR2* dengan *ground*, dan untuk memberikan sinyal *not clock* pada *TRS* dari *clock* digunakan *IC NAND 4011*. HT yang digunakan sebagai *transmitter* FC-08 dan FC-135 untuk *receiver*. Pengujian menggunakan frekuensi 144 Hz.

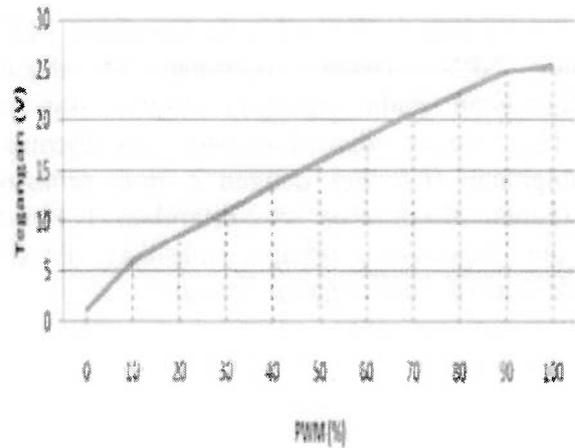
4. HASIL PENELITIAN

Pengujian *driver* motor DC menggunakan PWM memperlihatkan hasil yang sesuai mengikuti *input* PWM. Pengujian dilakukan dengan nilai frekuensi 900 Hz. (Gambar 8) bagian (a) merupakan sinyal PWM yang dihasilkan mikrokontroler dengan nilai PWM 35 %, (gambar 8) bagian (b) adalah sinyal *output* yang dihasilkan oleh *driver* motor dengan nilai *input* PWM 35 %.



Gambar 8. Sinyal PWM
(a) PWM Mikrokontroler
(b) Sinyal *Driver* Motor DC

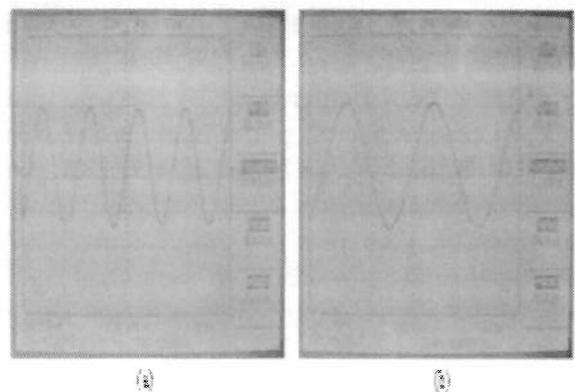
Bentuk sinyal *driver* motor DC dipengaruhi dengan nilai frekuensi yang digunakan pada PWM. Semakin kecil frekuensi PWM yang digunakan, maka bentuk sinyal akan semakin curam.



Gambar 9. Grafik Tegangan *Output Driver* Mototr DC

Pada pengujian dengan polaritas yang berlawanan dengan PWM 0 - 100% dan *range* pengujian 10 %, hasil *output driver* motor DC menggunakan PWM (gambar 9) memperlihatkan kondisi yang linier saat PWM 10 - 90 %. *Input* tegangan *driver* motor adalah 25.45 V.

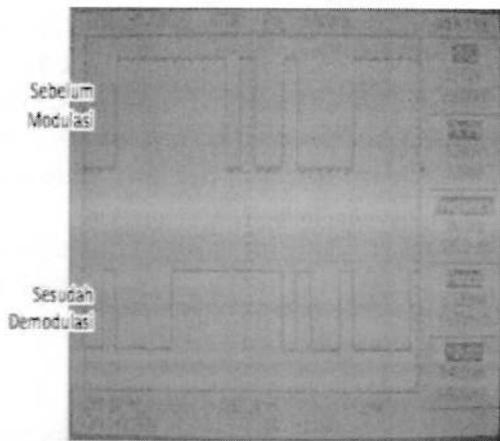
Komunikasi antara robot dengan pengendali menggunakan *standard* BELL202 dengan *baudrate* 1200. Sesuai *datasheet* IC *TCM3105*, penggunaan *standard* BELL202 membentuk gelombang sinusoidal 2200 Hz saat frekuensi *space* dan 1200 Hz saat frekuensi *mark*. Hasil pengujian kondisi frekuensi *space* dan *mark* terlihat pada gambar 10.



Gambar 10. Sinyal Hasil Modulator
(a) Frekuensi *Space*
(b) Frekuensi *Mark*

Hasil pengujian yang dilakukan (gambar 10) menunjukkan 2193 Hz untuk frekuensi *space* dan 1190 untuk frekuensi *mark*. Perbedaan hasil pengujian dengan nilai standard yang digunakan adalah 7 Hz atau 0.318 % untuk frekuensi *space* dan 10 Hz atau 0.833 % untuk frekuensi.

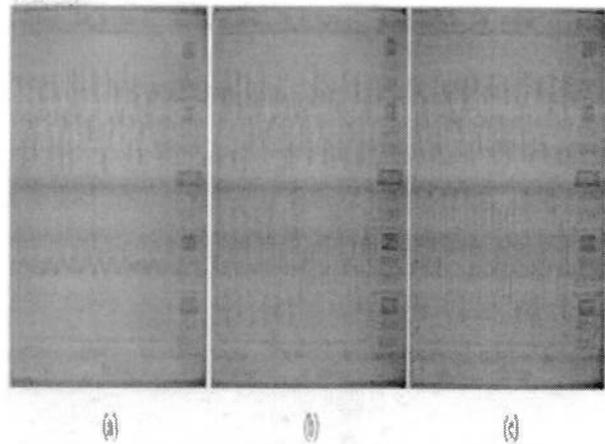
Pengujian pengiriman data pertama dilakukan menggunakan kabel tanpa radio komunikasi. Pengiriman data tanpa radio komunikasi akan diterima dengan baik sesuai data yang dikirim. Gambar 11 menunjukkan sinyal digital sebelum dilakukan modulasi *modem transmitter* dan sesudah dilakukan demodulasi oleh *modem receiver*.



Gambar 11. Hasil Demodulasi Tanpa Transmisi HT

Pada gambar 11 merupakan pengukuran saat pengiriman nilai biner 00001001. Hasil yang diterima memiliki *delay* waktu dengan data yang dikirim.

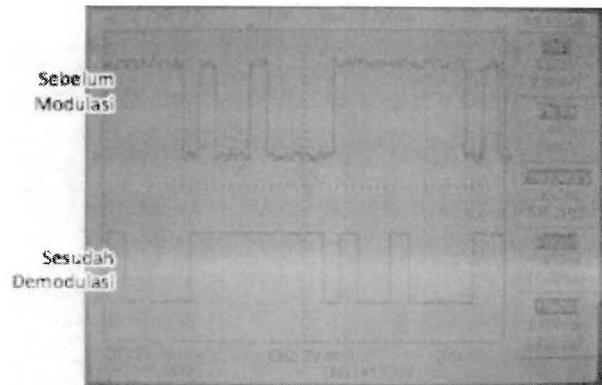
Volume HT penerima dapat mempengaruhi bentuk sinyal sinusoidal yang diterima oleh *modem*. Gambar 12 merupakan hasil pengujian pengaruh *volume* HT terhadap bentuk gelombang penerima.



Gambar 12. Pengaruh *Volume* HT pada Bentuk Sinyal Terima
(a) *Volume Minimum*
(b) *Volume Medium*
(c) *Volume Maximum*

Volume medium HT memiliki bentuk sinyal yang paling baik dari pada *volume minimum* dan *maximum*. Pada pengiriman data menggunakan HT sebagai media transmisi data yang diterima sama dengan data yang dikirim.

Hasil pengukuran tersebut terdapat pada gambar 13.

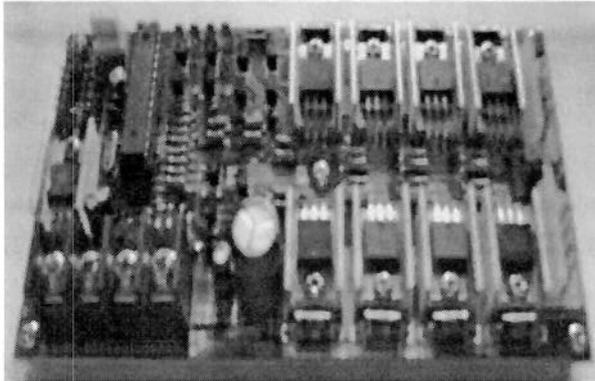


Gambar 13. Hasil Demodulasi Menggunakan Transmisi HT

Nilai data yang dikirimkan sama hasilnya dengan data yang diterima. Waktu *delay* menggunakan HT sebagai transmisi lebih besar dibandingkan tanpa menggunakan HT.

Hasil pengujian diperoleh dari rancangan elektronika pada robot penjelajah.

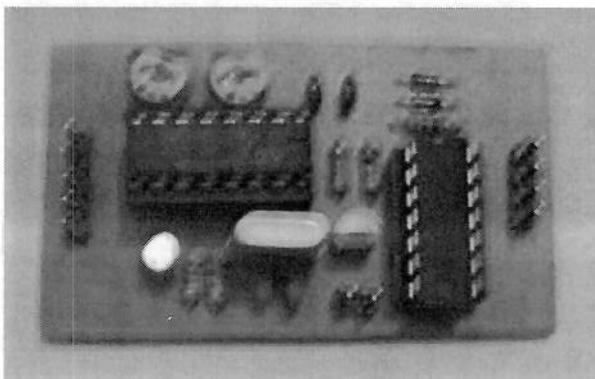
Mikrokontroler robot dan *driver* motor terdapat dalam 1 (satu) *board* dan terdapat pada robot. *Board* mikrokontroler robot dan *driver* motor terlihat pada gambar 14.



Gambar 14. Mikrokontroler Robot dan *Driver* Motor

Board mikrokontroler robot dan *driver* motor (gambar 14) memiliki dimensi 150 mm dan 80 mm untuk panjang dan lebar. Selain *board* mikrokontroler robot dan *driver* motor, pada robot terdapat board *audio* FSK *modem*. *Audio* FSK *Modem* pada robot terpisah dengan *board* mikrokontroler robot dan *driver* motor.

Hasil *board* *Audio* FSK *Modem* terlihat pada gambar 14.

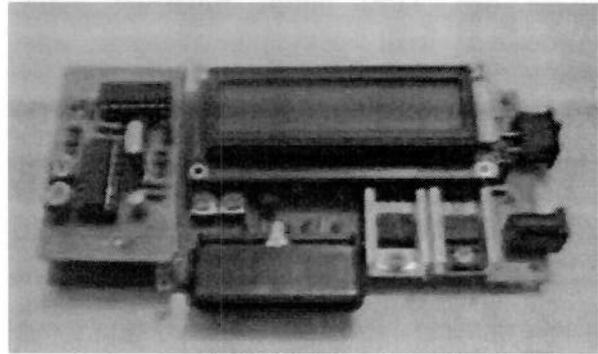


Gambar 15. *Audio* FSK *Modem*

Audio FSK *modem* (gambar 15) menggunakan IC TCM3105. *Board* *audio* FSK *modem* memiliki dimensi panjang 60 mm dan lebar 35 mm.

Secara terpisah terdapat perangkat *transmitter* dengan komponen elektronika

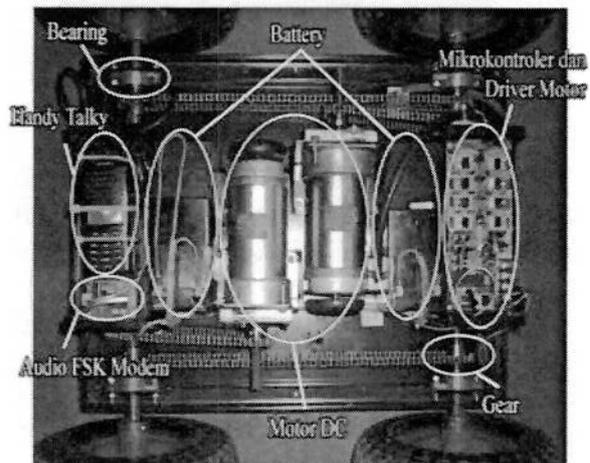
mikrokontroler, LCD, penghubung *joypad*, dan *audio* FSK *modem*.



Gambar 16. Mikrokontroler dan Modem *Transmitter*

Board *transmitter* (gambar 16) yang terdiri dari mikrokontroler dan konektor *joypad* memiliki dimensi dengan panjang 130 mm dan lebar 30 mm. Sedangkan untuk *audio* FSK *modem* diletakkan di atas *board* *transmitter* dan memiliki dimensi yang sama dengan yang ada pada robot.

Perangkat elektronika robot ditempatkan masing-masing pada sisi depan dan belakang. Penempatan perangkat elektronika pada robot dapat dilihat pada gambar 17.



Gambar 17. Penempatan Perangkat Elektronika pada Robot

Pada sisi depan terdapat *audio* FSK *modem* dan HT yang diletakkan berdampingan. Antena HT terlebih dahulu disambungkan dengan kabel sebelum

terhubung dengan HT untuk memudahkan peletakkan HT. Sedangkan pada sisi belakang terdapat *board* mikrokontroler robot dan *driver* motor.

5. KESIMPULAN

Tegangan *output* pada *driver* motor memiliki peningkatan yang linier pada PWM 10 % hingga 90 %. Perbedaan nilai frekuensi *space* dan *mark* dengan *standard* yang digunakan kecil, 0,318 Hz dan 0,833 untuk frekuensi *space* dan *mark*. *Delay* pengiriman data tanpa menggunakan HT lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan HT sebagai media transmisi. *Volume* HT penerima dapat mempengaruhi bentuk gelombang yang diterima. Pada pengujian kondisi *volume medium* paling baik.

Menggunakan Fuzzy Logic. Proyek Akhir Politeknik Negeri Jakarta.

Zuhal dan Zhangginschan. (2004) *Prinsip Dasar Elektro Teknik*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.

DAFTAR PUSTAKA

Basori, N. (2009) Komunikasi Data Serial Melalui Audio FSK Modem TCM3105 dan Radio Transceiver Icom IC V8 atau Alinco DJ196. di Akses 10 Juni 2010. <http://electronic-telemetry.blogspot.com>.

Datasheet ATMega8. (2008) Atmel Corporation. San Jose, USA. di Akses 2 Juni 2009.

Datasheet IRF540N. (1998) International Rectifier. California, USA. di Akses 26 Maret 2011 <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irf540n.pdf>.

Datasheet IRF9540N. (1998) International Rectifier. California, USA, di Akses 26 Maret 2011 <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irf9540n.pdf>.

Datasheet TCM3105. (1995) Texas Instruments. Dallas, USA. di Akses 7 Juni 2010. <http://www.tcm3105.com/tcm3105.pdf>.

Kaharman L. (2005) *Rancang Bangun Robot AR-WAR Revolver; Penjejak Garis*

PIROLISIS TONGKOL JAGUNG DAN TEMPURUNG KELAPA SEKALIGUS PENGAMBILAN ASAP CAIR (*LIQUID SMOKE*) SECARA KONDENSASI

Siti Jamilatun

*Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta,
Jl. Prof. Dr. Soepomo, Janturan, Yogyakarta
Email : sitijamilatun_uad@yahoo.com*

ABSTRACT

Pyrolysis (destructive distillation) is the process of heating a substance in the absence of oxygen resulting in the decomposition of constituent components of hardwood or irregular decomposition of organic materials caused by heating without contact with the air outside. This implies that if a coconut shell, corn cob and coconut wood heated without contact with the air and given a high enough temperature, there will be a decomposition reaction of the complex compounds that make up the hardwood and produce the substance in three forms, namely solids, liquids and gas. With the potential of coconut shells, corn cobs and coconut wood are still abundant, and to reduce the impact of pollution and other tools necessary to make the combustion (pyrolysis) as well as condensing the smoke with the charcoal and liquid smoke (liquid smoke) is maximal. Liquid smoke is formed very useful if further processing as a preservative of food and other necessities.

The early stages of the pyrolysis process begins with drying corn cobs, coconut shells and wood then cleaning materials, reduce its size. The next stage is to assemble the tools and materials entering into the pyrolysis tank to the brim and fill the tank to the brim with water condensation. Pyrolysis begins to burn the material through the bottom hole in the tank with the help of the pyrolysis of LPG gas, after 5 minutes off and the hole sealed. Material will burn slowly and liquid smoke is created, record the temperature in the combustion chamber and note formed a liquid smoke. The last stage is when the smoke is up means burning is complete, record the amount of charcoal was formed and produced of burning corn cobs, coconut shells and wood produced each yield 20 kg of liquid smoke as much as 34.91%, 29.9%, and 19 : 39% with an average effective operating temperature 275 - 300°C, the effective time of 6 - 8 hours, and produce charcoal 17.55% for corn cob, coconut shell and coconut wood 23.5 - 22.5%. From this process a maximum liquid smoke produced from corn that is 34.91% with a fairly bright color and charcoal coconut shell produced by a maximum of as much as 23.5%.

Keywords : liquid smoke, pyrolysis, condensation.

1. PENDAHULUAN

Tingkat pemakaian bahan bakar, terutama bahan bakar dari fosil di dunia semakin meningkat seiring bertambahnya populasi manusia, hal tersebut menimbulkan kekhawatiran akan terjadinya krisis energi dan meningkatnya laju pencemaran lingkungan terutama polusi udara yang diakibatkan oleh pembakaran. Oleh karena

itu, perlu dilakukan berbagai terobosan untuk mencegah terjadinya krisis energi. Mengantisipasi hal itu pemerintah Indonesia telah mengeluarkan *blueprint* pengelolaan energi nasional 2005 - 2025. Kebijakan ini ditekankan pada usaha menurunkan ketergantungan penggunaan energi hanya pada minyak bumi dan meningkatkan peran *energy lternative*. (www.id.wiki.com/energy).

Beberapa jenis sumber energi alternatif yang bisa dikembangkan antara lain energi matahari, energi angin, energi panas bumi, energi panas laut (OTEC) dan energi biomassa. Di antara sumber energi alternatif tersebut, energi biomassa perlu mendapat prioritas dalam pengembangannya dibandingkan dengan sumber energi yang lain.

Indonesia merupakan negara agraris yang banyak menghasilkan limbah pertanian, diantaranya adalah limbah kelapa dan tanaman jagung dan lainnya. (www.id.wiki.com/jagung/kelapa).

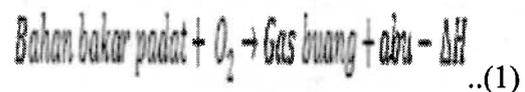
Pembuatan briket dari biomassa didahului dengan proses pembakaran untuk menghasilkan arang dan ini salah satu sebab dunia menjadi semakin tidak sehat karena semakin banyak polusi yang dihasilkan dari aktifitas manusia. Sudah banyak penelitian dan bukti nyata dari ancaman pemanasan global. Namun, sampai sekarang ini isu pemanasan global belum mampu menyadarkan ke semua lapisan masyarakat. Sehingga setiap saat, polusi sebagai penyebab pemanasan global masih terus meningkat. (www.id.wiki.com/energy).

Untuk mengurangi dampak jangka pendek dan panjang akibat polusi udara serta memaksimalkan potensi tempurung kelapa dan tongkol jagung yang masih melimpah serta kemanfaatannya yang sangat besar, maka perlu membuat alat pembakaran (pirolisis) yang dapat sekaligus mengondensasikan atau mengembunkan asapnya. Untuk mendapatkan alat yang baik serta efisien dengan hasil arang dan asap cair (*liquid smoke*) yang maksimal perlu rancangan kondensasi yang dapat mengembunkan sebagian asap yang dihasilkan dari pembakaran biomassa. Asap cair yang terbentuk sangat berguna jika

diolah lebih lanjut sebagai pengawet makanan dan keperluan yang lainnya. (Setiadji, B., 2000).

Karbonisasi merupakan suatu proses untuk mengkonversi bahan organik menjadi arang, pada proses karbonisasi akan melepaskan zat yang mudah terbakar seperti CO, CH₄, H₂, *formaldehid*, *methana*, *formik* dan *acetil acid* serta zat yang tidak terbakar seperti CO₂, H₂O dan tar cair. Gas - gas yang dilepaskan pada proses ini mempunyai nilai kalor yang tinggi dan dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan kalor pada proses karbonisasi. (<http://wartawarga.gunadarma.ac.id/2009/12/tugas-iad-3-teknologi-energi-biomassa>).

Secara umum pembakaran dapat didefinisikan sebagai proses atau reaksi oksidasi yang sangat cepat antara bahan bakar (*fuel*) dan oksidator dengan menimbulkan panas atau nyala. Reaksi pembakaran bahan bakar padat adalah sebagai berikut :



Pada proses pirolisis terjadi kenaikan suhu yang disertai beberapa proses yang diakibatkannya, yaitu :

1. Pada suhu 120°C terjadi peruraian air bebas dan zat-zat organik yang mudah menguap
2. Pada suhu 273°C, selulosa dan lignin akan terurai menjadi asam asetat, methanol, gas CO, CO₂, CH₄, dan H₂ (Kobe dan Goin 1939), asam asetat berasal dari peruraian hemiselulosa, methanol, dan lignin (Jacobs 1940), sedang gas-gas berasal dari lignin dan selulosa yang mengalami pemecahan yang hebat (Agra dkk, 1973).

3. Pada suhu di atas 300°C, ter mulai terbentuk.
4. Pada suhu 450-500°C, sisa-sisa ter akan keluar sehingga arang akan kering dan penyempurnaan
5. Karbonisasi terjadi pada suhu 500°C (Agra,dkk 1973).
6. Pengusiran sisa-sisa zat yang mudah menguap pada arang terjadi pada suhu 800-1000°C.

Tempurung kelapa dan kayu keras memiliki komponen - komponen yang hampir sama. Kandungan *selulosa*, *hemiselulosa* dan *lignin* dalam kayu berbeda-beda tergantung dari jenis kayu. Pada umumnya kayu mengandung dua bagian *selulosa*, satu bagian *hemiselulosa* serta satu bagian *lignin*. Produk dekomposisi termal yang dihasilkan melalui reaksi pirolisis komponen - komponen kayu adalah sebanding dengan jumlah komponen-komponen tersebut dalam kayu.

Asap memiliki kemampuan untuk mengawetkan bahan makanan karena adanya senyawa *asam*, *fenolat* dan *karbonil*. *Pirolisis* tongkol jagung menghasilkan asap cair dengan kandungan senyawa *fenol* sebesar 4,13 %, *karbonil* 11,3 % dan *asam* 10,2 %. Sedangkan pirolisis untuk tempurung kelapa mempunyai kadar *fenol* 5,13 %, *karbonil* 13,28 %, *asam* 11,39 % dan untuk pirolisis dari kayu kelapa mengandung *fenol* sebesar 3,16 %, *karbonil* 12,94 %, dan *asam* 6,61 %.(Tranggono dkk, 1997)

Diketahui pula bahwa temperatur pembuatan asap merupakan faktor yang paling menentukan kualitas asap yang dihasilkan.

Kandungan maksimum senyawa-senyawa *fenol*, *karbonil*, dan *asam* dicapai pada temperatur *pirolisis* 600°C. Produk

yang diberikan asap cair yang dihasilkan pada temperatur 400°C dinilai mempunyai kualitas *organoleptik* yang terbaik dibandingkan dengan asap cair yang dihasilkan pada temperatur *pirolisis* yang lebih tinggi. *Pirolisis (destructive distillation)* adalah proses pemanasan suatu zat tanpa adanya oksigen sehingga terjadi penguraian komponen - komponen penyusun kayu keras. (Tranggono dkk, 1997)

1.1 Penelitian ini bertujuan untuk:

- a. Pirolisis dengan bahan baku tempurung kelapa dan tongkol jagung sekaligus mengambil asapnya.
- b. Merancang kondensor yang digunakan untuk mengembunkan asapnya sebagai penghasil *liquid smoke* atau asap cair.
- c. Menghitung efisiensi dari proses pirolisis tersebut dan asap cair yang terbentuk.

1.2 Manfaat Penelitian

- a. Mendapatkan cara pirolisis tempurung kelapa dan tongkol jagung sebagai bahan untuk membuat briket sekaligus pengambilan asap cairnya.
- b. Memberikan solusi terhadap melimpahnya limbah tempurung kelapa dan tongkol jagung dan meningkatkan nilai ekonomisnya.
- c. Mendapatkan asap cairnya untuk diolah lebih lanjut sebagai bahan pengawet makanan, kayu dan lain-lain.

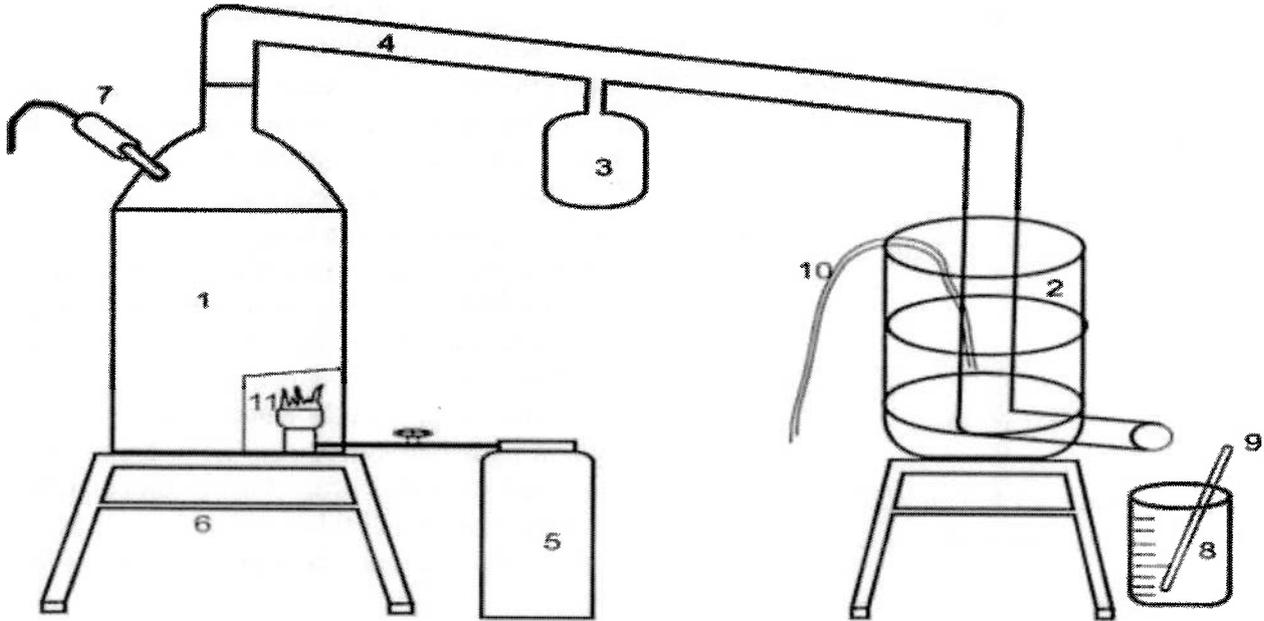
2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Alat Dan Bahan

1. Bahan :
 - Tongkol
 - Jagung
 - Tempurung kelapa

2. Alat :

- | | |
|----------------------------|----------------------------------|
| 1. Pirolisator | 6. Penyangga |
| 2. Tangki Pendingin | 7. Termokopel |
| 3. Penampung Tar | 8. Gelas Penampung Asap Cair |
| 4. Pipa Asap air pendingin | 9. Termometer |
| 5. Tabung Gas | 10. Selang aliran |
| | 11. Alat pembakar bahan (kompor) |

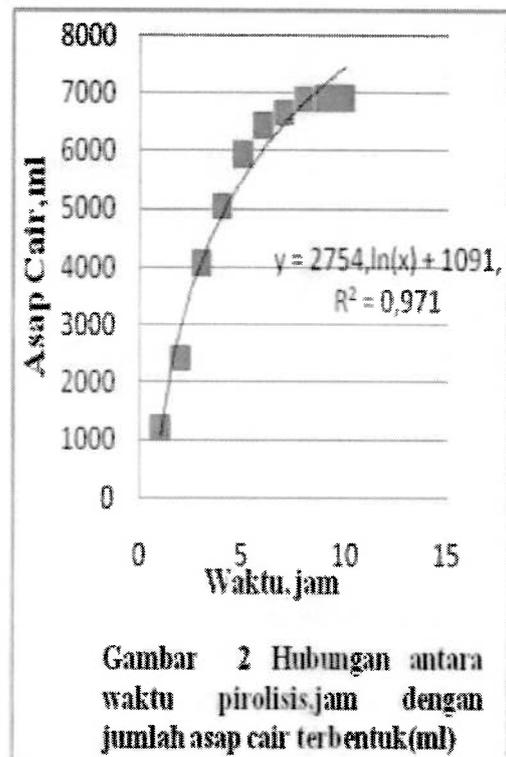


Gambar 1. Rancangan Unit Pembuatan Asap Cair Beserta Kondensasinya

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

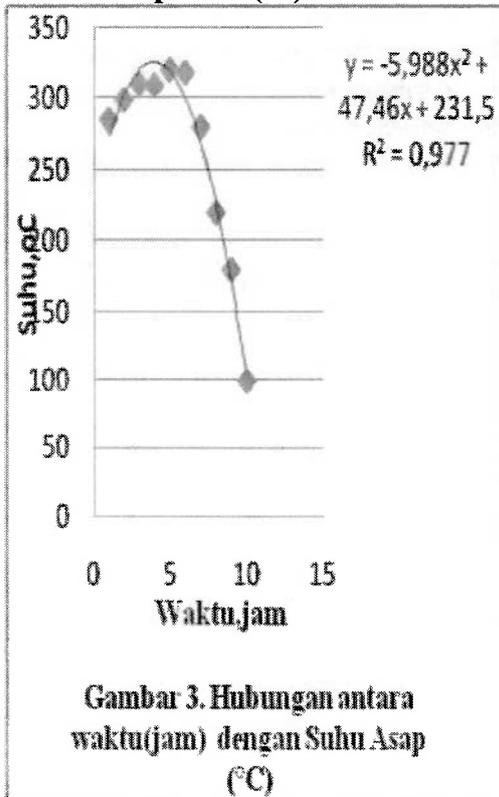
3.1 Tongkol Jagung

a. Hubungan Antara Waktu (Jam) Terhadap Banyak Asap Cair Terbentuk (ml)

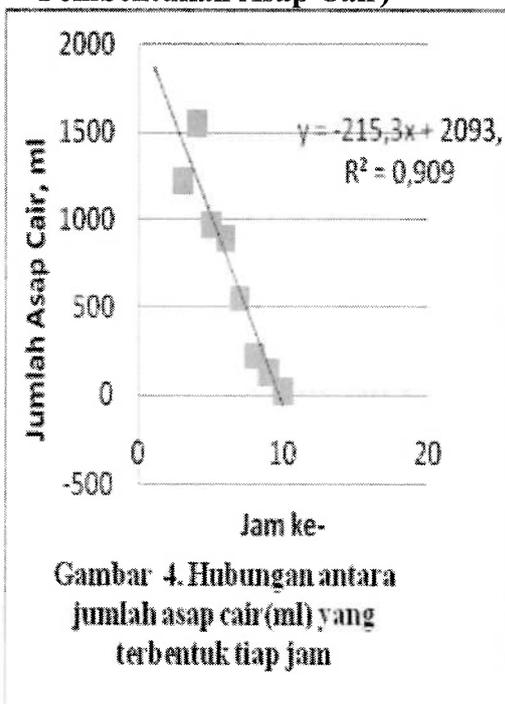


Gambar 2 Hubungan antara waktu pirolisis, jam dengan jumlah asap cair terbentuk (ml)

b. Pengaruh Waktu Pirolisis (Jam) Terhadap Suhu(°c)



c. Banyaknya Asap Cair (ml) yang Terbentuk Tiap Jamnya (Kecepatan Pembentukan Asap Cair)



Dari gambar 2,4 dapat dilihat bahwa semakin lama waktu pirolisis maka asap cair yang terbentuk semakin banyak terutama pada jam ke-1 sampai ke-6 dan pada jam ke-8 banyaknya asap cair yang terbentuk sudah mulai menurun. Hal ini disebabkan massa tongkol jagung yang terbakar juga semakin menyusut, sehingga kecepatan pembakaran dan kecepatan terbentuknya asap cair juga semakin menurun. Kecepatan pembentukan asap cair juga ditentukan oleh kemampuan kondensor untuk mengembunkannya.

Gambar 3 menggambarkan perubahan suhu pada pembakaran tongkol jagung setiap jamnya. Suhu akan semakin turun seiring dengan berkurangnya massa tongkol jagung yang terbakar. Hal ini juga dapat dilihat pada gambar 3 yaitu banyaknya asap cair yang terbentuk mula - mula antara 1000 - 1500 kg/jam pada jam k-1 sampai ke-6, kemudian pada jam ke-7 menurun *drastic* sampai jam ke-8 pirolisis sudah tidak efektif lagi. Waktu terbaik pirolisis adalah sekitar 6 sampai 8 jam.

Suhu pirolisis tidak dapat mencapai suhu yang maksimal sampai 400°C dikarenakan masih banyak panas yang hilang ke sekeliling melalui tangki karena tidak diberi isolasi, dan masih ada uap yang keluar lewat lobang pembakaran dan tutup tangki. Jika tangki pirolisis diberi isolasi batu bata maka panas yang hilang ke sekelilingnya akan berkurang.

3.2 Tempurung Kelapa

Dari gambar 5 dan 7 dapat dilihat bahwa semakin lama waktu pirolisis maka asap cair yang terbentuk semakin banyak pada jam ke-1 sampai ke-6 dan mulai jam ke-7 banyaknya asap cair yang terbentuk sudah mulai menurun. Hal ini disebabkan kecepatan pembakaran tempurung kelapa semakin menurun. Di awal pembakaran kecepatan pembentukan asap cair sekitar 1400 kg tiap jamnya, berikutnya menurun drastis mulai jam ke-7 sampai habisnya bahan. Waktu yang paling efektif untuk pembentukan asap cair adalah 6 - 8 jam, setelah 8 jam asap cair

yang dihasilkan hanya sedikit dan abu yang terbentuk akan semakin banyak.

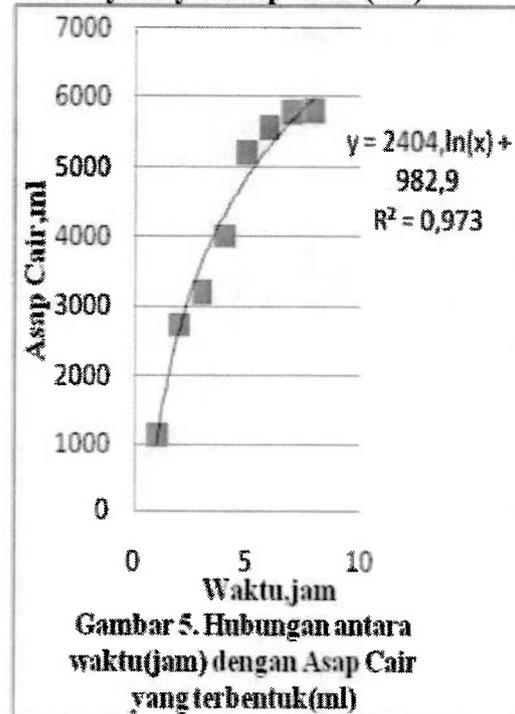
Gambar 6 menggambarkan perubahan suhu pada pembakaran tempurung kelapa setiap jamnya. Di awal pembakaran suhu naik sampai sekitar 320°C pada jam ke-4, berikutnya pada jam ke-6 suhu mulai menurun. Suhu tidak dapat mencapai suhu yang maksimal sampai 400°C - 600°C dikarenakan masih banyak panas yang hilang ke sekeliling melalui tangki karena tidak diberi isolasi. Jika tangki diberi isolasi batu bata akan menyatu dengan tanah maka tangki sudah tidak bisa dipindah tempatnya dan ini akan menyulitkan untuk pengembangan penelitian berikutnya.

Pembakaran selesai jika asap yang keluar dari pipa kondensor sudah habis dan tempurung kelapa di dalam tangki sudah menjadi arang, pengontrolan suhu, kecepatan udara di sekitar penelitian dan waktu pembakaran akan menentukan banyaknya arang terbentuk dan asap cair yang dihasilkan. Kemampuan kondensor dalam mengembuskan asap akan sangat mempengaruhi banyaknya asap cair yang dihasilkan, jika kemampuan kondensor kurang baik maka akan banyak komponen yang hilang ke lingkungan terutama asap.

Asap cair yang diperoleh dari pirolisis termasuk *grade 3* atau asap cair *destilasi*. warnanya coklat pekat, *Grade 3* ini sangat cocok untuk penggumpalan karet, pengawetan kayu dll agar tahan dari rayap. Jika digunakan untuk pengawet pada makanan, maka *grade 3* harus ditingkatkan ke *grade 2* atau ke *grade* yang warnanya lebih jernih. (Setiadji, B., 2000)

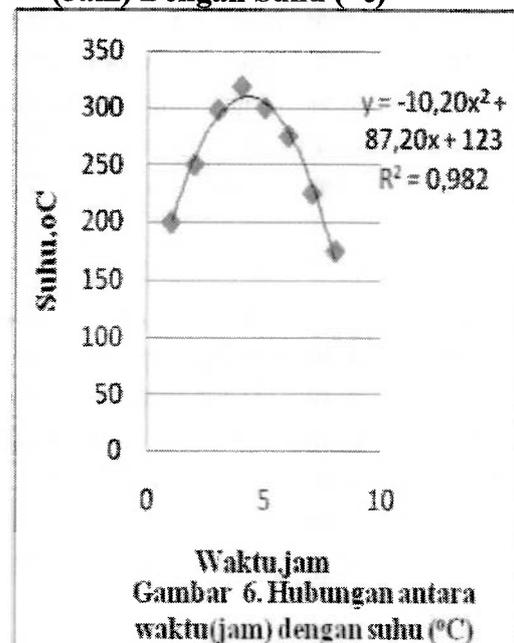
Jika pada pembuatan asap cair tanpa menginginkan arangnya maka pembakaran dibiarkan tanpa membatasi banyaknya udara yang masuk ke tangki dan jika menginginkan arang dan asap cairnya maka udara yang berhembus disekitarnya juga waktu atau lamanya proses pirolisis akan sangat berpengaruh pada jumlah arangnya yang terbentuk.

a. Pengaruh Waktu (Jam) Terhadap Banyaknya Asap Cair (ml)



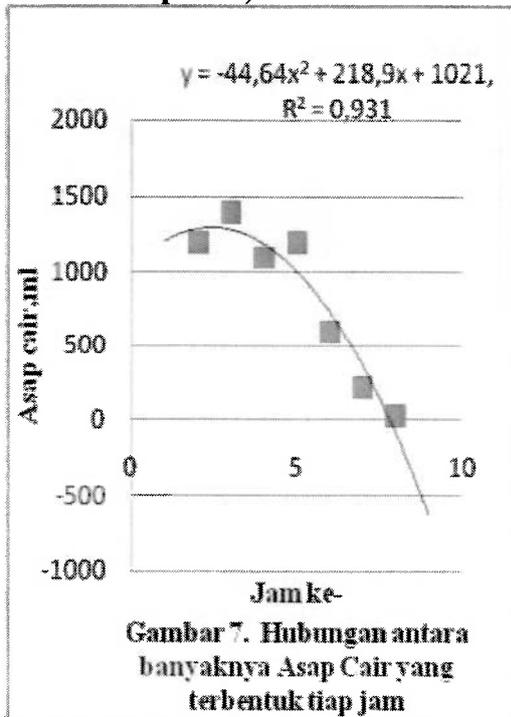
Gambar 5. Hubungan antara waktu(jam) dengan Asap Cair yang terbentuk(ml)

b. Hubungan Waktu Pembakaran (Jam) Dengan Suhu (°c)



Gambar 6. Hubungan antara waktu(jam) dengan suhu (°C)

c. Banyaknya Asap Cair (Ml) yang Terbentuk Tiap Jam (Kecepatan Pembentukan Asap Cair, Kg Asap Cair Tiap Jam)



4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Asap pembakaran dari tongkol jagung, tempurung kelapa dan kayu kelapa dapat dikondensasikan untuk menghasilkan asap cair.
2. Perancangan alat pirolisis dan kondensasi yang baik akan menghasilkan asap cair yang maksimal.
3. Dari pembakaran 20 kg tongkol jagung dan tempurung kelapa dihasilkan rendemen asap cair sebanyak 34,91 % dan 29.9 %, dengan suhu operasi efektif rata - rata 275 - 300°C, waktu efektif 6 - 8 jam.
4. Arang yang terbentuk untuk tongkol jagung 17,55% dan tempurung kelapa 23,5 %.

DAFTAR PUSTAKA

- Agra, I.B., Warnijati, S., dan Arifin, Z. (1973) *Karbonisasi Tempurung Kelapa disertai Penambahan Garam Dapur*. Forum Teknik. 1. 23 – 34.
- Darmaji, P. (2002) *Optimasi Proses Pembuatan Tepung Asap*. Agritech. Fakultas Teknologi Pertanian. UGM. Yogyakarta. 22 (4) : 174-175. http://b1r1n6.blogspot.com/2009_06_01_archive.html.
- Jacobs, P. B. (1940) *Destructive Distillation of Agricultural Waste*, *Ind. Eng. Chem*, 32, 219-229.
- Maga, J.A. (1988) *Smoke in Food Processing*. CRC Press, Boca Raton. Florida.
- Pszczola, D.E. (1995) *Tour Highlights Production and Uses of Smoke Base Flavors*. *Journal. Food Tech*. (49) : 70 - 74.
- Setiadji, B. (2000) *Makalah Asap Cair*. CV. PPKT. Yogyakarta.
- Tranggono, Suhardi, Setiadji, B., Darmadji, P., Supranto dan Sudarmanto. (1996) *Identifikasi Asap Cair dari Berbagai Jenis Kayu dan Tempurung Kelapa*, *Ilmu Teknologi Pangan*. Yogyakarta.
- www.id.wiki.com/asap_cair.
- www.id.wiki.com/jagung.
- www.id.wiki.com/kelapa.
- www.id.wiki.com/kondensasi_aldol.
- www.id.wiki.com/kondensasi_knovenagel.
- www.wartawarga.gumadarma.ac.id/2009/12/tugas-iad-3-teknologi-energi-biomassa.

KAJIAN PRODUKSI HIDROGEN DARI BIOMASSA

Sutarno¹, Arif Hidayat² dan Faisal RM³

*Jurusan Teknik Kimia-Testil, Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia, Jl. Kaliurang Km 14,5 Sleman, Yogyakarta
Sutarno_uui@yahoo.com¹, arifhid@gmail.com², faisal.rm@staf.uui.ac.id³*

ABSTRACT

Hydrogen production plays a very important role in the development of economy. One of the promising hydrogen production approaches is conversion from biomass, which is abundant, clean and renewable. Alternative thermochemical (pyrolysis and gasification) and biological biophotolysis, water-gas shift reaction and fermentation) processes can be practically applied to produce hydrogen. This paper gives an overview of these technologies for hydrogen production from biomass. The future development will also be addressed.

Keywords: Biomass : Pyrolysis, Gasification, Supercritical water, Fermentation, Iophotolysis.

1. PENDAHULUAN

Ketergantungan pada bahan bakar fosil sebagai sumber energi utama telah menyebabkan krisis energi dan masalah lingkungan yang serius, yaitu kehabisan bahan bakar fosil dan pencemaran lingkungan oleh emisi polutan. Telah dilaporkan bahwa Uni Emirat Arab, salah satu negara pengekspor utama minyak, akan gagal untuk memenuhi berbagai tuntutan kebutuhan minyak dan gas alam pada tahun 2015 sampai 2042 (*Kazim dan Veziroglu, 2001*). Sumber daya energi fosil di Mesir akan habis dalam waktu satu sampai dua dekade (*Abdallah, Asfour dan Veziroglu, 1999*). Negeri Cina telah mengimpor minyak sebesar 31% untuk memenuhi kebutuhan energi pada tahun 2000, dan permintaan itu akan meningkat mencapai 45-55% pada tahun 2015 (*Mao, 2003*). Meningkatnya kebutuhan energi akan mempercepat pengurangan ketersediaan bahan bakar fosil yang terbatas. Selain itu, pembakaran bahan bakar fosil menghasilkan efek rumah kaca dan gas beracun, seperti CO₂, SO₂, NO_x dan polutan lainnya yang menyebabkan pemanasan global dan hujan asam.

Menyikapi dua masalah tersebut di atas, banyak negara di dunia telah melakukan upaya terus menerus dengan cara eksplorasi energi terbarukan yang bersih sebagai energi alternatif untuk pembangunan berkelanjutan. Biomassa adalah salah satu sumber daya energi terbarukan dan tersedia paling melimpah. Hal ini terbentuk dengan memperbaiki karbon dioksida di atmosfer selama proses fotosintesis tanaman, dan karena itu, karbon perlu dinetralkan dalam siklus hidupnya. Biomassa telah digunakan selama berabad - abad. Saat ini, biomassa menyumbang sekitar 12% dari pasokan energi dunia, sementara di banyak negara berkembang memberikan kontribusi 40 sampai 50% pasokan energi (*Demirbas, 2001*). Penelitian Biomassa baru-baru ini telah menarik perhatian karena adanya kemungkinan pemanfaatan limbah untuk aplikasi energi. Misalnya, 150 GT sayuran material - bio yang dihasilkan secara global setiap tahun dapat menghasilkan sekitar 1,08 - 1010 GJ energi (*Larminie dan Dicks, 2000*). Salah satu kelemahan utama pemanfaatan biomassa adalah efisiensinya yang masih rendah. Di Cina, biomassa secara luas telah digunakan untuk memasak dan pemanasan melalui pembakaran biomassa dengan

efisiensi termal hanya sekitar 10% sampai 30%, atau, mengkonversi biomassa menjadi bahan bakar dalam bentuk gas dan cair, terutama dikonversi menjadi energi listrik, bahkan dikonversi menjadi hidrogen. Pemanfaatan biomassa dengan cara ini lebih efisien. Tulisan ini bertujuan untuk memberikan gambaran berbagai metode produksi hidrogen dari biomassa dan potensi pengembangannya.

2. ENERGI BIOMASA

Berbagai sumber biomassa dapat digunakan untuk dikonversi menjadi energi. Secara umum biomassa dapat dibagi menjadi empat kategori :

- a. Energi tanam - tanaman: Energi tanaman herbal, kayu, tanaman untuk industri, tanaman pertanian dan air.
- b. Limbah sisa hasil Pertanian: limbah tanaman dan limbah hewan.
- c. Limbah sisa hasil Kehutanan: Limbah pabrik kayu, limbah sisa penebangan pohon dan limbah semak / rerumputan.
- d. Sampah perkotaan dan limbah Industri: limbah padat perkotaan (*Municipal Solid Waste / MSW*), limbah lumpur dan limbah industri.

Proses produksi energi dari biomassa yang tersedia dapat dibagi menjadi dua kategori umum: proses termokimia dan proses biologis. Pembakaran, pirolisis, pencairan dan gasifikasi adalah empat jenis proses termokimia. *Biophotolysis* Langsung, *biophotolysis* tidak langsung, biologi pergeseran reaksi air - gas, foto - fermentasi dan fermentasi gelap merupakan lima jenis proses biologis. Pembakaran langsung adalah pembakaran biomassa di udara untuk mengubah kimia biomassa menjadi energi panas, energi mekanik atau energi listrik menggunakan peralatan seperti kompor, tungku, boiler atau turbin uap. Karena efisiensi energinya rendah (10-30%) dan terjadinya polutan emisi oleh produk; maka pembakaran produksi hidrogen kurang cocok untuk pembangunan berkelanjutan.

Dalam pencairan biomassa, biomassa dipanaskan hingga 525 - 600° K dalam air di bawah tekanan 5-20 MPa dalam udara hampa. Dalam proses pencairan biomassa dapat ditambahkan pelarut atau katalis. Karena terjadi pencairan biomassa, maka kesulitan untuk mencapai kondisi operasi dan produksi hidrogen rendah. Oleh karena itu, pencairan tidak menguntungkan untuk produksi hidrogen. Lain halnya dengan proses termokimia (*pirolisis dan gasifikasi*) dan proses biologis (*biophotolysis*, biologi gas air pergeseran reaksi dan fermentasi) yang layak dan banyak menarik perhatian dalam produksi hidrogen di tahun-tahun terakhir ini.

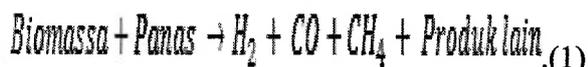
3. PROSES TERMOKIMIA UNTUK PRODUKSI HIDROGEN

3.1 Hidrogen dari Pirolisis Biomassa

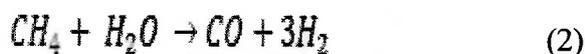
Proses pirolisis adalah pemanasan biomassa pada suhu 650 - 800 K pada 0,1-0,5 MPa dalam hampa udara untuk mengkonversi biomassa menjadi minyak cair, arang padat dan senyawa gas. Pirolisis dapat diklasifikasikan lebih lanjut menjadi pirolisis lambat dan pirolisis cepat. Sebagai produknya terutama arang. Pirolisis lambat biasanya tidak dipertimbangkan untuk produksi hidrogen. Pirolisis cepat adalah proses suhu tinggi, di mana bahan baku biomassa dipanaskan secara cepat di hampa udara untuk membentuk uap, dan kemudian terkondensasi menjadi bio cair berwarna coklat tua yang ringan. Produk dari pirolisis cepat dapat ditemukan dalam semua fase gas, cair dan padat (Jalan dan Srivastava, 1999)

- a. Produk Gas, meliputi H₂, CH₄, CO, CO₂ dan gas lainnya tergantung pada sifat organik dari biomassa untuk proses pirolisis.
- b. Produk cair, termasuk aspal dan minyak yang tetap berbentuk cairan pada suhu kamar, seperti aseton, asam asetat, dll.
- c. Produk padat, terutama terdiri dari arang dan menyerupai karbon murni ditambah bahan tidak bertenaga lainnya.

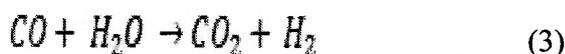
Meskipun proses pirolisis sebagian besar dirancang untuk menghasilkan *biofuel*, namun hidrogen dapat diproduksi secara langsung melalui pirolisis cepat atau cetusan pirolisis jika suhu tinggi dan cukup fase waktu tinggal dimungkinkan mudah menguap sebagai berikut:



Uap metana dan hidrokarbon lain yang dihasilkan dapat (menjadi) uap direformasi untuk produksi hidrogen lebih lanjut:



Dalam rangka meningkatkan produksi hidrogen, pergeseran reaksi air-gas dapat diterapkan sebagai berikut:

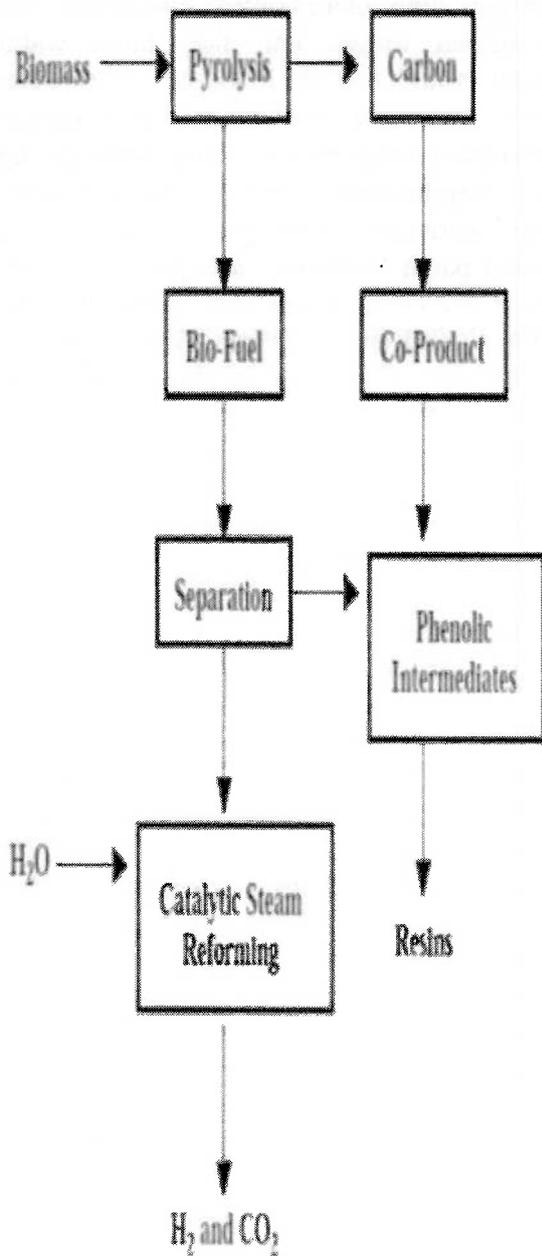


Selain produk - produk gas, produk-produk berminyak juga dapat diolah untuk produksi hidrogen (P.T. Williams dan A.J. Brindle, 2002). Minyak pirolisis dapat dipisahkan menjadi dua fraksi berdasarkan kelarutan dalam air. Fraksi yang larut air dapat digunakan untuk produksi hidrogen sedangkan fraksi yang tidak larut air untuk formulasi perekat (*adhesive*). Aliran material diringkas dalam Gambar. 1. Studi eksperimental telah menunjukkan bahwa ketika digunakan Ni berbasis katalis, bisa menghasilkan hidrogen maksimum mencapai 90%. Dengan tambahan merubah bentuk uap dan pergeseran reaksi air - gas, hidrogen yang dihasilkan dapat ditingkatkan secara signifikan.

Suhu, kecepatan pemanasan, waktu tinggal dan jenis katalis yang digunakan adalah parameter kontrol proses pirolisis yang penting. Dalam rangka mendukung produksi gas, terutama dalam memproduksi

hidrogen, diperlukan kontrol suhu tinggi, laju pemanasan tinggi, dan fase lama waktu tinggal yang mudah menguap (Demirbas, 2002). Parameter ini dapat diatur dengan menyeleksi jenis reaktor yang berbeda dan cara perpindahan panas, seperti transfer panas konvektif dari gas ke padat dan transfer panas konduktif dari padat ke padat. Cara perpindahan panas dan keunggulan dari berbagai reaktor tercantum dalam Tabel 1 (Bridgwater, 1999). Hal ini dapat dilihat dari tabel, bahwa tipe reaktor *fluidized bed* menunjukkan tingkat pemanasan yang lebih tinggi dan dengan demikian tampaknya menjadi tipe reaktor yang menjanjikan untuk memproduksi hidrogen dari biomassa pirolisis.

Beberapa garam anorganik, seperti klorida, karbonat dan kromat, menunjukkan efek menguntungkan pada laju reaksi pirolisis (Rabah dan Eldighidy, 1989). Seperti tir atau aspal sulit untuk dilakukan gasifikasi, studi ekstensif pada efek katalitik dolomit murah dan CaO pada dekomposisi senyawa hidrokarbon dalam tir telah dilakukan (Simell, 1999). Efek katalitik dari katalis lain (*Nibased katalis* (Narvaez, Corella dan Orio, 1997), *Y-jenis zeolit*, (Williams dan Brindle, 2002), K_2CO_3 , Na_2CO_3 dan CaCO_3 (Chen, Andries dan Spliethoff, 2003) dan berbagai oksida logam (Al_2O_3 , SiO_2 , ZrO_2 , TiO_2 (Sutton, Kelleher dan Ross, 2002) dan Cr_2O_3 (Chen, Andries dan Spliethoff, 2003) juga telah diselidiki. Diantara oksida logam yang berbeda, Al_2O_3 dan Cr_2O_3 menunjukkan efek katalitik yang lebih baik dari yang lain. Diantara katalis, Na_2CO_3 adalah lebih baik daripada K_2CO_3 dan CaCO_3 . Meskipun logam mulia Ru dan Rh lebih efektif daripada katalis Ni dan kurang rentan terhadap pembentukan karbon, namun mereka tidak umum digunakan karena biayanya tinggi (Garcia, French, Czernik dan Chornet, 2000).



Gambar. 1. Biomassa Untuk Hidrogen Berdasarkan Pirolisis dengan Strategi Co-Produk (Garcia, French, Czernik Dan Chornet, 2000).

Tabel 1. Tipe Reaktor Pirolisis, Modus Transfer Panas dan Fitur Khas (Bridgwater, 1999).

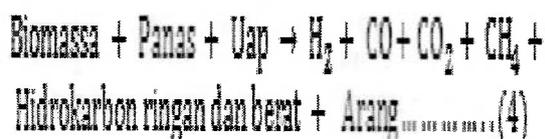
Tipe Reactor	Cara transfer panas	Keunggulan
<i>Ablatif</i>	Konduksi 95%	Menerima bahan baku ukuran besar
	Konveksi 4%	Abrasi mekanik arang dari biomassa sangat tinggi
	Radiasi 1%	<ul style="list-style-type: none"> — Desain kompak/rapi — Tidak ada problem pasokan panas — Tidak diperlukan transfer gas panas — Transportasi gas tidak selalu diperlukan
<i>Fluidized bed</i>	Konduksi 90%	Tingkat/phase perpindahan panas tinggi
	Konveksi 9%	Pasokan panas gas terfluidisasi secara langsung
	Radiasi 1%	<ul style="list-style-type: none"> — Abrasi arang terbatas — Pencampuran padatan sangat baik — Batas ukuran partikel < 2 mm dalam dimensi terkecil — Konfigurasi reaktor sederhana
<i>Circulating Fluidized bed</i>	Konduksi 80%	Phase perpindahan panas tinggi
	Konveksi 19%	Abrasi dan erosi arang dari biomassa tinggi
	Radiasi 1%	<ul style="list-style-type: none"> — Pemisahan padatan atau pengurangan (char) dalam produk tinggi — Pemisahan padatan (char) diperlukan pembawa panas — Diperlukan daur ulang padatan — Kompleksitas sistem meningkat — Ukuran partikel maksimum sampai 6 mm — Kemungkinan cairan retak oleh padatan panas — Kemungkinan aktivitas katalitik dari arang panas — Memungkinkan digunakan Reaktor yang lebih besar

Tipe Reactor	Cara transfer panas	Keunggulan
Entrained flow	Konduksi 4%	Tingkat perpindahan panas rendah
	Konveksi 95%	Batas ukuran particle < 2 mm
	Radiasi 1%	Pencampuran gas / padatan terbatas

Dalam rangka untuk mengevaluasi produksi hidrogen melalui pirolisis dari berbagai jenis biomassa, penyelidikan eksperimental secara luas telah dilakukan dalam beberapa tahun terakhir. Limbah pertanian (Lin dan Jo, 2003), kacang kulit (Evans, dkk, 2003), limbah pasca-konsumen seperti plastik, minyak perangkap, campuran biomassa dan polimer sintetik (Czernik, French, Evans dan Chornet, 2003) dan biji rapa (Onay dan Kockar, 2004) telah diuji secara luas dengan metode pirolisis untuk menghasilkan hidrogen. Dalam rangka untuk memecahkan masalah penyusunan kembali dari penurunan kinerja yang disebabkan oleh pengarang dan deposisi kokas pada permukaan dan di dasar katalis itu sendiri, pencairan katalis (*fluidized catalyst beds*) biasanya digunakan untuk meningkatkan produksi hidrogen dari pirolisis biomassa berasal bahan bakar bio (Bair, dkk, 2002). Yeboah dkk. (2003) membangun sebuah pabrik percontohan untuk produksi hidrogen dari pirolisis kacang kerang dan *steam reforming* dalam reaktor *fluidized bed* dan telah dicapai tingkat produksi 250 kg H₂ / hari. Padro dan Putsche (1999) memperkirakan biaya produksi hidrogen pirolisis biomassa berada di kisaran US \$ 8,86 / GJ hingga US \$ 15,52 / GJ tergantung pada ukuran dan jenis fasilitas biomassa. Sebagai perbandingan, biaya produksi hidrogen dengan sistem angin elektrolisis dan sistem PV elektrolisis masing-masing adalah US \$ 20,2 / GJ dan US \$ 41,8 / GJ. Hal ini memperlihatkan bahwa pirolisis biomassa adalah metode produksi hidrogen terbaru yang kompetitif.

3.2 Hidrogen dari Gasifikasi Biomassa

Gasifikasi biomassa dapat dilakukan pada suhu tinggi (di atas 1000⁰ K). Pada suhu tinggi itu partikel-partikel biomassa mengalami oksidasi parsial menghasilkan gas dan arang. Arang ini akhirnya dikurangi untuk dibentuk H₂, CO, CO₂ dan CH₄. Proses konversinya dapat dinyatakan sebagai :



Tidak seperti pirolisis, gasifikasi biomassa padat dilakukan dengan mengeluarkan O₂. Selain itu, gasifikasi bertujuan untuk menghasilkan gas, sementara pirolisis bertujuan untuk menghasilkan bio-minyak dan arang. Gas yang dihasilkan dapat mengubah uap untuk menghasilkan hidrogen, dan proses ini dapat lebih ditingkatkan oleh pergeseran reaksi air ke (menjadi) gas seperti yang dibahas di bagian sebelumnya.

Proses gasifikasi yang berlaku untuk biomassa memiliki konten kelembaban kurang dari 35% (Demirbas, 2002). Salah satu masalah utama dalam gasifikasi biomassa adalah penanganan pembentukan tar/aspal yang terjadi selama proses tersebut. Tar yang tidak diinginkan dapat menyebabkan pembentukan *aerosol tar* dan polimerisasi ke struktur yang lebih kompleks, yang tidak menguntungkan untuk produksi hidrogen melalui *steam reforming*.

Saat ini, ada tiga metode yang tersedia untuk meminimalkan formasi tar :

- Desain *gasifier* yang tepat
- Kontrol dan operasi yang tepat
- Aditif / katalis

Parameter operasi, seperti suhu, perantara pengelasan dan waktu tinggal, memainkan peran penting dalam pembentukan dan dekomposisi tar. Telah dilaporkan bahwa tar panas dapat retak pada suhu di atas 1273 K (TMilne., Abatzoglou dan Evans, 1998). Menggunakan beberapa aditif (*dolomit, olivin dan arang*) dalam *gasifier*

juga membantu pengurangan tar (Corella, Aznar, Gil dan Caballero, 1999). Ketika dolomit digunakan, penghilangan tar dapat dicapai 100% (Sutton, Kelleher dan Ross, 2001). Katalis tidak hanya mengurangi kandungan tar, tetapi juga meningkatkan kualitas produk gas dan efisiensi konversi. Dolomit adalah katalis berbasis Ni dan oksida logam alkali yang banyak digunakan sebagai gasifikasi katalis. Proses modifikasi dengan dua tahap (gasifikasi dan injeksi udara sekunder) dalam *gasifier* juga berguna untuk pengurangan tar (Narvaez, Corella dan Orio, 1997).

Masalah lain gasifikasi biomassa adalah formasi abu yang dapat menyebabkan deposisi, pembriketan, penterakan, pengotoran dan aglomerasi (Arvelakis dan Koukios, 2002). Untuk mengatasi abu terkait masalah tersebut, telah digunakan fraksinasi dan pencucian untuk mengurangi pembentukan abu dalam reaktor (ad.al, 2002). Meskipun fraksinasi efektif untuk menghilangkan abu, tetapi kemungkinan dapat memburuk kualitas abu yang tersisa. Di sisi lain, pencucian dapat menghapus fraksi biomassa anorganik, serta meningkatkan kualitas abu yang tersisa (ad.al, 2002). Baru-baru ini, gasifikasi limbah minyak zaitun tersucikan dalam fluidisasi reaktor unggun dilaporkan telah beredar untuk memproduksi gas dan telah menunjukkan kelayakan pencucian sebagai teknik *pretreatment* untuk produksi gas (Garcia-Ibanez, Cabanillas dan Sanchez, 2004).

Tabel 2. Investigasi Gasifikasi Biomassa Untuk Produksi Hidrogen

Bahan Baku	Tipe Reaktor	Katalis yang digunakan	Produksi Hidrogen (% vol)	Referensi
Serbuk gergaji	Tidak diketahui	Na ₂ CO ₃	48,31 pada 700 °C	(Yongjie, 1996)
			55,4 pada 800 °C	
			59,8 pada 900 °C	
Serbuk gergaji	Circulating fluidized bed	Tidak menggunakan Katalis	10,5 pada 810 °C	(Chuangzhi, dkk, 1997)

Bahan Baku	Tipe Reaktor	Katalis yang digunakan	Produksi Hidrogen (% vol)	Referensi
Kayu	Fixed bed	Tidak menggunakan Katalis	7,7 pada 550 °C	(Xia, W. Dunsong, 2000)
Serbuk gergaji	Fluidized bed	Tidak diketahui	57,4 pada 800 °C	(Turn, Kinoshita, Zhang, Ishimura dan J. Zhou, 1998)
Serbuk gergaji	Fluidized bed	Ni	62,1 pada 830 °C	(Rapagna, Jand dan Foscolo, 1998)
Tidak diketahui	Fluidized bed	K ₂ CO ₃	11,27 pada 964 °C	(Jian-chun, Chun, Jin-Ping, Hao, Wei-di, dan Yuan-bo, 2001)
			13,32 pada 1008 °C	
			14,77 pada 1012 °C	
Serbuk gergaji pohon pinus	Fluidized bed	Tidak diketahui	26 – 42 pada 700 – 800 °C	(Zhiwei, Songtao, Xueyong, Zian, Congming dan Dingkai, 2002)
			29 – 38 pada 700 – 800 °C	
			27 – 38 pada 700 – 800 °C	
Ampas tebu			35 – 37 pada 700 – 800 °C	
Batang kapas			27 – 35 pada 700 – 800 °C	
<i>Eucalyptus globulus</i>			27 – 35 pada 700 – 800 °C	
Pohon Pinus radiata				
Endapan limbah	Downdraft	Tidak diketahui	10 – 11	(Midilli, Dogru, Akay dan Howarth, 2002)
Almond shell	Fluidized bed	La – Ni – Fe	62,8 pada 800 °C	(Rapagna, Provendier, Petit, Kienneman dan Foscolo, 2002)
			Perovskit	
Switch grass	Moving bed	Cu – Zn – Al	27,1	(Brown, 2003)

Hidrogen dapat diproduksi dengan gasifikasi gas melalui prosedur yang sama, *steam reforming* dan pergeseran reaksi air-

gas, seperti yang dibahas di bagian pirolisis. Sebagai produk gasifikasi, terutama gas. Proses ini lebih menguntungkan untuk produksi hidrogen dari pada pirolisis. Dalam rangka untuk mengoptimalkan proses produksi hidrogen, sejumlah upaya telah dilakukan oleh para peneliti untuk menguji produksi hidrogen dari gasifikasi biomassa dengan berbagai jenis biomassa dan pada berbagai kondisi operasi, seperti yang tercantum dalam Tabel 2 (Brown, 2003). Penggunaan *fluidized bed gasifier* bersama dengan katalis yang sesuai memungkinkan untuk mencapai produksi hidrogen sekitar 60 % vol. Sedemikian tingginya efisiensi konversi tersebut sehingga membuat produksi hidrogen dengan cara gasifikasi biomassa menjadi metode alternatif yang menarik. Selain itu, biaya produksi hidrogen dengan gasifikasi biomassa yang kompetitif dengan reformasi gas alam sebagaimana diilustrasikan pada Gambar. 2 (Bowen, Lau, Zabransky, Remick, Slimane dan Doong, 2003). Dengan memperhatikan manfaat terhadap lingkungan dan berdasarkan ekonomi juga, maka metode produksi hidrogen dari gasifikasi biomassa telah menjadi alternatif yang menjanjikan.

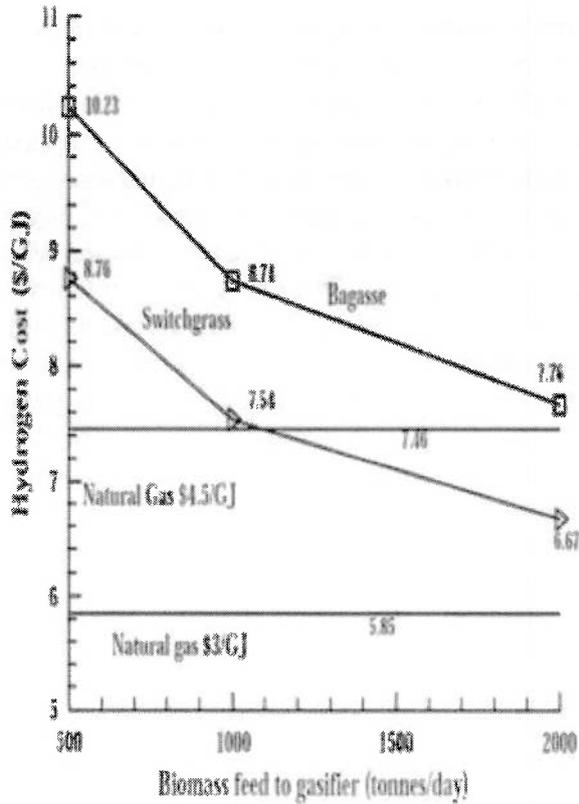
Dalam beberapa tahun terakhir, ada metode gasifikasi baru, yaitu, produksi Hidrogen dengan Gasifikasi Reaksi Novel Terpadu (*HyPr-RING*) diusulkan oleh Lin et al. (2003). Metode *HyPr RING* merupakan integrasi dari reaksi air hidrokarbon, pergeseran reaksi air-gas dan penyerapan CO₂ dan polutan lainnya dalam reaktor tunggal di bawah kondisi air sub-kritis dan superkritis. Reaksi utama untuk metode baru ini dapat dinyatakan sebagai:



Reaksi ini menghasilkan eksotermik dan hidrogen tinggi dapat dicapai pada suhu relatif rendah (923 – 973⁰ K). Sebagai perbandingan antara proses gasifikasi

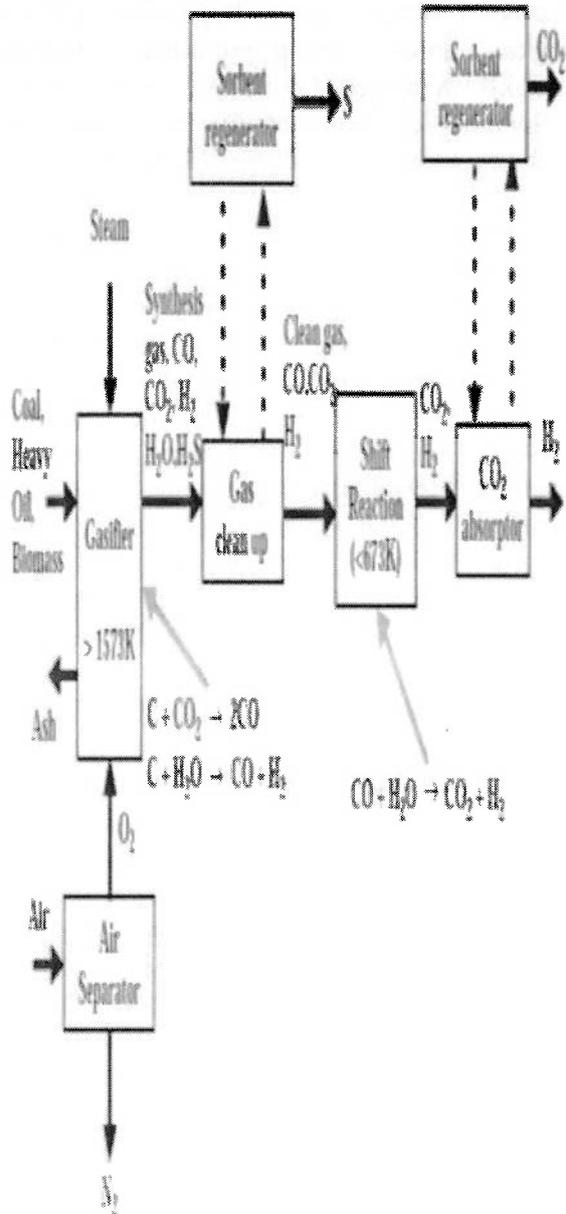
konvensional dengan proses *HyPr-RING*, seperti diilustrasikan pada Gambar. 3. Gasifikasi konvensional dapat dilakukan dalam banyak cara sederhana karena reaksi untuk produksi hidrogen dan pemisahan gas dapat dilakukan dalam satu reaktor tunggal pada suhu rendah (Lin, Suzuki, Hatano dan Harada, 2002). Proses gasifikasi novel (*HyPr-RING*) telah dianalisis secara teoritis dan eksperimen yang membuktikan bahwa metode tersebut merupakan teknologi yang sangat efisien untuk produksi hidrogen dari biomassa. Meskipun biomassa memiliki kandungan kelembaban tinggi di atas 35%, itu kemungkinan untuk mengubah menjadi gas biomassa dalam kondisi air superkritis.

Dalam kondisi sangat sederhana gasifikasi diperoleh dengan memanaskan air pada suhu di atas temperatur kritis (647⁰ K) dan mengompresinya dengan tekanan di atas tekanan kritis (22 MPa), lalu biomassa dengan cepat akan didekomposisi menjadi molekul kecil atau gas dalam beberapa menit pada efisiensi yang tinggi (Matsumura dan Minowa, 2004). Gasifikasi air superkritis adalah proses yang menjanjikan untuk mengubah menjadi gas biomassa dengan kandungan kelembaban tinggi karena rasio gasifikasi tinggi (mencapai 100%) dan rasio volumetrik hidrogen tinggi (mencapai 50%).



Gambar. 2. Perkiraan Perbandingan Biaya Produksi Hidrogen dengan Biomassa Gasifikasi dan Uap Gas Alam Reformasi (Bowen, Lau, Zabransky, Remick, Slimane Dan Doong, 2003).

(b) Conventional gasification hydrogen process for hydrogen production



Gambar. 3. Perbandingan Hypr-RING dan Gasifikasi Proses Produksi Hidrogen Konvensional (Lin, Suzuki, Hatano dan Harada, 2002)

Dalam beberapa tahun terakhir, telah dilakukan penelitian secara luas untuk mengevaluasi kesesuaian berbagai gasifikasi biomassa basah pada kondisi air superkritik. Namun, karya - karya penelitian itu kebanyakan baru pada skala laboratorium

dan dalam tahap pengembangan awal. Oleh karena itu, prinsip - prinsip dan mekanisme dasar belum dipahami dengan baik. Kelarutan komponen biomassa di kompres air panas telah dipelajari pertama kali oleh Mok dkk. (1992).

Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa di dalam air panas yang dikompresi, sekitar 40 - 60% dari sampel biomassa dapat larut meskipun reaksi dipertahankan sedikit di bawah kondisi air yang kritis. Minowa dkk. (1999) melaporkan mengenai produksi hidrogen dari gasifikasi selulosa dalam air panas yang kompresi (*subcritis*) menggunakan katalis nikel. Yu dkk. [58] melaporkan bahwa gasifikasi glukosa pada kondisi air superkritis, seperti contohnya 873⁰ K dan 34,5 MPa, berbeda dengan pada Kondisi air non super kritis. Salah satu keuntungannya adalah bahwa selama gasifikasi, baik ter atau terjadi pembentukan arang. Penemuan awal ini menstimulasi penelitian secara luas dalam air superkritis. Upaya terakhir untuk menghasilkan hidrogen dari biomassa pada kondisi air superkritis dirangkum dalam Tabel 3 (Hao, Guo, Mao,

Zhang dan Chen, 2003). Penggunaan glukosa sebagai model senyawa, menghasilkan hidrogen lebih dari 50 % vol dapat dicapai dengan menggunakan katalis yang tepat dalam kondisi air superkritis. Reaktor berbentuk tabung yang banyak digunakan dalam gasifikasi air superkritis karena strukturnya yang kuat untuk menahan tekanan tinggi. Meskipun gasifikasi air superkritis masih pada tahap pengembangan awal, namun teknologi ini telah menunjukkan daya saing secara ekonomi terhadap metode produksi hidrogen lainnya. Spritzer dan Hong (2003) memperkirakan biaya hidrogen yang dihasilkan oleh gasifikasi air superkritis sekitar US \$ 3/GJ (US \$ 0,35/kg).

Tabel 3. Kajian Terbaru Produksi Hidrogen dengan Gasifikasi Biomassa pada Kondisi Air Superkritis

Bahan Baku	Tipe Gasifier	Katalis yang digunakan	Suhu dan Tekanan	Hidrogen yang dihasilkan	Referensi
Glukosa	Tidak diketahui	Tidak menggunakan katalis	600 °C, 34.5 MPa	0.56 mol H ₂ /mol pengisian	(Xiaodong, Yukihiko, Jonny, Michael, 1996)
Glukosa	Tidak diketahui	Karbon aktif	600 °C, 34.5 MPa	2.15 mol H ₂ /mol pengisian	
Glukosa	Tidak diketahui	Karbon aktif	600 °C, 25.5 MPa	1.74 mol H ₂ /mol pengisian	
Glukosa	Tidak diketahui	Karbon aktif	550 °C, 25.5 MPa	0.62 mol H ₂ /mol pengisian	
Glukosa	Tidak diketahui	Karbon aktif	665 °C, 28 MPa	0.46 mol H ₂ /mol pengisian	
Glukosa	Tidak diketahui	Karbon aktif	720 °C, 28 MPa	48 %, vol	(Tsygankov, Fedorov, Laurinavichene, Gogotov, Rao dan Hall, 1998)
Glycerol/me thanol	Tidak diketahui	Karbon aktif	650 °C, 28 MPa	64 %, vol	
Pati jagung	Tidak diketahui	Karbon aktif	690 °C, 28 MPa	48 %vol	
Serbuk gergaji / jagung campuran pati	Tidak diketahui	Karbon aktif	600 °C, 25 MPa	57 %, vol	

Bahan Baku	Tipe Gasifier	Katalis yang digunakan	Suhu dan Tekanan	Hidrogen yang dihasilkan	Referensi
Glukosa	Tubular Reaktor	KOH	600 °C, 25 MPa	59,7 % vol (9,1 mol H ₂ /mol glukose)	(Schmieder, Abeln, Boukis, Dinjus, Kruse, Kluth, Petrich, Sadri dan Schacht, 2000)
Catechol	Tubular Reaktor	KOH	50 °C, 31.5–35 MPa	61,5 % vol (10,6 mol H ₂ /mol catechol)	
Kotoran	Autoclave	K ₂ CO ₃	600 °C, 25 MPa	47 % vol	
Glukosa	Tubular Reaktor	Tidak menggunakan katalis	500 °C, 30 MPa	41,8 % vol	(Hao, Guo, Mao, Zhang, Chen, 2003)
Glukosa	Tubular Reaktor	Tidak menggunakan katalis	550 °C, 30 MPa	32,9 % vol	
Glukosa	Tubular Reaktor	Tidak menggunakan katalis	650 °C, 32,5 MPa	33,1 % vol	

Bahan Baku	Tipe Gasifier	Katalis yang digunakan	Suhu dan Tekanan	Hidrogen yang dihasilkan	Referensi
Glukosa	Tubular Reaktor	Tidak menggunakan katalis	650 °C, 30 MPa	40,8 % vol	
Glukosa	Tubular Reaktor	Tidak menggunakan katalis		41,2 % vol	
Serbuk gergaji	Tubular Reaktor	Natrium karboksimetil selulosa / Sodium carboxymethyl cellulose (CMC)	650 °C, 22,5 MPa	30,5 % vol	

Produksi hidrogen dari biomassa dengan proses termokimia telah terbukti menarik dan menjadi pilihan yang layak secara ekonomi. Namun, perlu dicatat bahwa gas hidrogen biasanya diproduksi bersama-sama dengan konstituen gas lainnya. Jadi, pemisahan dan pemurnian gas hidrogen perlu dilakukan. Saat ini, beberapa metode, seperti penyerapan CO₂, pengeringan atau pendinginan dan pemisahan membran (Lin, 2001), telah berhasil dikembangkan untuk pemurnian gas hidrogen. Diharapkan bahwa konversi biomassa proses termokimia, terutama jenis gasifikasi yang baru

dikembangkan, akan tersedia untuk skala besar produksi hidrogen dalam waktu dekat.

4. PRODUKSI HIDROGEN MELALUI PROSES BIOLOGI

4.1 Aspek Umum

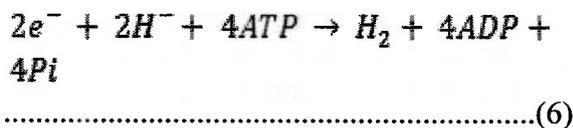
Fenomena produksi hidrogen biologis telah di observasi satu abad lalu. Ketika krisis minyak terjadi pada tahun 1970-an, teknologi ini mulai mendapat perhatian, terutama teknologi produksi hidrogen melalui proses fotosintesis. Namun, karya-karya ini masih dalam skala laboratorium dan

masih perlu ditunjukkan dalam aplikasi praktis.

Produksi hidrogen biologi dapat diklasifikasikan menjadi lima kelompok yang berbeda :

- a. *Biophotolysis* langsung,
- b. *Biophotolysis* tidak langsung,
- c. Biologi pergeseran reaksi air-gas,
- d. Foto - fermentasi
- e. Fermentasi gelap (*dark fermentation*) (levin, pitt,love, 2004).

Semua proses dikendalikan oleh enzim untuk memproduksi hidrogen, seperti *hydrogenase* dan *nitrogenase*. Komponen utama dari *nitrogenase* adalah protein MoFe dan protein Fe. *Nitrogenase* memiliki kemampuan untuk menggunakan magnesium adenosin trifosfat (MgATP) dan elektron untuk mengurangi berbagai substrat (termasuk proton). Produksi hidrogen hasil reaksi kimia ini dilakukan oleh sistem berbasis *nitrogenase* (Hallenbeck dan Benemann, 2002):



dimana ADP dan Pi masing-masing adalah *adenosin difosfat* dan *fosfat anorganik*.

Hydrogenase ada di sebagian besar mikroorganismenya fotosintetik dan mereka dapat diklasifikasikan ke dalam dua kategori yaitu *hydrogenase* serapan dan *hydrogenase reversibel*. *Hydrogenase* serapan, sebagaimana *hydrogenase* NiFe dan *hydrogenases* NiFeSe, bertindak sebagai katalis penting untuk konsumsi hidrogen sebagai berikut :



Hydrogenase reversibel, sebagaimana ditunjukkan oleh namanya, memiliki kemampuan untuk memproduksi H₂ serta mengkonsumsi H₂ tergantung pada kondisi reaksi.



Koku dkk. telah melaporkan bahwa meskipun berbagai substrat dapat digunakan untuk pertumbuhan *Sphaeroides Rhodobacter*, tetapi hanya beberapa dari mereka yang cocok untuk produksi hidrogen. Ciri - ciri *nitrogenase* dan *hydrogenase* dirangkum dalam Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan Sifat *Nitrogenase* dan *Hydrogenase* (s.y. lin, m. Harada, y. Suzuki danh. Hatano, 2005)

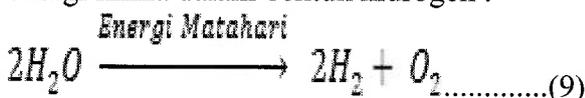
Ciri-ciri	Nitrogenase	Hydrogenase
Substrat	ATP, H ⁺ atau N ₂ , electrons	H ⁺ , H ₂
Produk	H ₂ atau NH ₄ ⁺	ATP, H ⁺ , H ₂ , electrons
Jumlah protein	Dua (Mo-Fe dan Fe)	Satu (sama)
Komponen Logam	Mo, Fe	Ni, Fe, S
Suhu Optimum	30 °C (A. vinelandii)	55 °C (R. rubrum), 70 °C (R. capsulatus)
pH Optimum	7,1 – 7,3 (A. vinelandii)	6,5 – 7,5 (R. sulfidophilus)
Inhibitor	N ₂ (produksi H ₂), NH ₄ ⁺ , O ₂ , rasio N terhadap C tinggi	CO, EDTA (asam ethylene diaminetetraacetic), O ₂ , adanya senyawa organik
Simulator	Cahaya	H ₂ (R. sphaeroides), adanya senyawa organik (R. rubrum, R. capsulatus)

Tabel 5. Perbandingan Produksi Hidrogen dengan Tipe Sembarang Mikroorganisme dan Tipe Mutan

Nama mikroorganisme	Perbandingan Produksi hidrogen antara tipe mikroorganisme mutan dan tipe mikroorganisme sembarang/kasar (<i>wild</i>)	Referensi
Azotobacter vinelandii	Oksidasi H ₂ /Evolusi H ₂ evolusi Untuk tipe wild : 46 Untuk mutan: 1,5	(Mctavish, Sayavedrasoto dan Arp, 1995)
Rhodobacter capsulatus	Hidrogen dari malate Untuk tipe wild: 25% Untuk mutan: 68%	(Ooshima, Takakuwa, Katsuda, Okuda, Shirasawa, Azuma dan Kato, 1998)
Anabaena	Tipe Mutan menunjukkan toleransi oksigen lebih tinggi dibandingkan tipe wild Anabaena produksi hidrogen tidak diketahui	(Bowen, Lau, Zabransky, Remick, Slimane dan Doong, 2003)
Rhodobacter sphaeroides	Produksi hidrogen dari muta 1,5 kali lebih tinggi daripada tipe wild	(Vasilyeva, Miyake, Khatipov, Wakayama, Sekine, Hara, Nakada, Asada dan Miyake, 199)
Rhodobacter sphaeroides	50% lebih produksi hidrogen untuk mutan daripada tipe wild	(Kondo, Arkawa, Hirai, Wakayama, Hara, Miyake, 2002)

4.2 Biophotolysis Langsung

Produksi *hidrogen denfan biophotolysis* langsung adalah proses biologi menggunakan sistem fotosintesis mikroalga untuk mengkonversi energi matahari menjadi energi kimia dalam bentuk hidrogen :



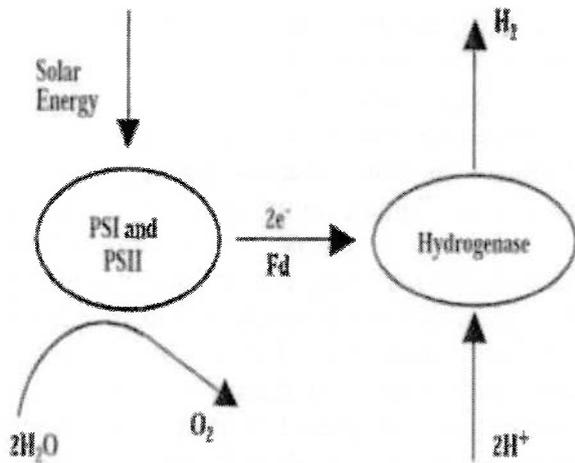
Dua sistem fotosintesis bertanggung jawab untuk proses fotosintesis yaitu fotosistem 1 (PS 1) menghasilkan reduktor

untuk mengurangi CO₂ dan fotosistem 2 (PS 2) untuk memisahkan air dan mengembangkan oksigen. Dalam proses *biophotolysis*, dua foton dari air dapat menghasilkan pengurangan CO₂, baik oleh PS 1 atau formasi hidrogen dengan kehadiran *hydrogenase*. Pada tumbuhan hijau, karena kurangnya *hydrogenase*, hanya mengurangi terjadinya CO₂. Sebaliknya, *microalgae*, seperti ganggang hijau dan *Cyanobacteria* (alga biru-hijau), mengandung *hydrogenase* dan dengan demikian, memiliki kemampuan untuk menghasilkan hidrogen. Dalam proses ini, elektron dihasilkan ketika PS 2 menyerap energi cahaya. Electron - elektron tersebut kemudian ditransfer ke *ferredoxin* (Fd) menggunakan energi matahari diserap oleh PS 1. *Hydrogenase* menerima elektron dari Fd untuk menghasilkan hidrogen seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 4.

Karena *hydrogenase* sensitif terhadap oksigen, maka perlu mempertahankan kandungan oksigen pada tingkat rendah di bawah 0,1% sehingga produksi hidrogen dapat dipertahankan (*Hallenbeck dan Benemann, 2002*). Kondisi ini dapat diperoleh dengan menggunakan ganggang hijau *Chlamydomonas reinhardtii* yang dapat menguras oksigen selama respirasi oksidatif (*Lin, Harada, Suzuki, Hatano, 2004*). Namun, karena jumlah substrat yang menutupi gas (*respired*) signifikan dan dikonsumsi selama proses ini, maka efisiensi rendah. Baru - baru ini, mutan yang berasal dari mikroalga dilaporkan memiliki toleransi oksigen (O₂) dan hidrogen (H₂) yang baik, sehingga produksi lebih tinggi. Penggunaan mutan untuk produksi hidrogen yang tercantum dalam Tabel 5 (*Kondo, Arkawa, Hirai, Wakayama, Hara dan Miyake, 2002*), memperlihatkan bahwa, penggunaan mutan untuk produksi hidrogen dapat meningkatkan efisiensi secara signifikan.

Benemann (1998) memperkirakan biaya *biophotolysis* langsung untuk produksi hidrogen menjadi \$ 20 / GJ dengan asumsi bahwa modal biaya sekitar US \$ 60 / m² dan efisiensi konversi energi matahari

keseluruhan 10%. Hallenbeck dan Benemann (Yetis, Gunduz, Eroglu, Yucel dan Turker, 2000) memberikan estimasi biaya yang sama, dan melaporkan bahwa biaya modal US \$ 100 / m². Dalam estimasi mereka, beberapa faktor praktis diabaikan, seperti pemisahan gas dan penanganan.



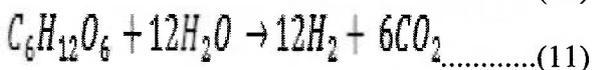
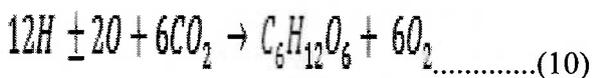
Gambar. 4. Skema dari Biophotolysis Langsung.

4.3 Biophotolysis Tidak Langsung

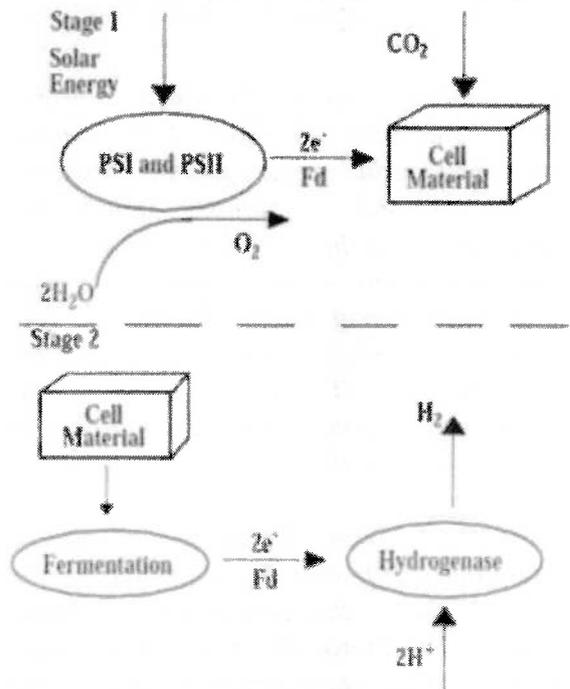
Menurut Gaudernack (B. Gaudernack, 1998), konsep biophotolysis tidak langsung melibatkan empat langkah berikut seperti diilustrasikan pada Gambar. 5 :

- Produksi biomassa oleh fotosintesis,
- Konsentrasi biomassa,
- Fermentasi aerobik gelap menghasilkan 4 mol hidrogen / mol glukosa dalam sel alga, bersama dengan 2 mol asetat, dan
- Konversi 2 mol asetat menjadi hidrogen.

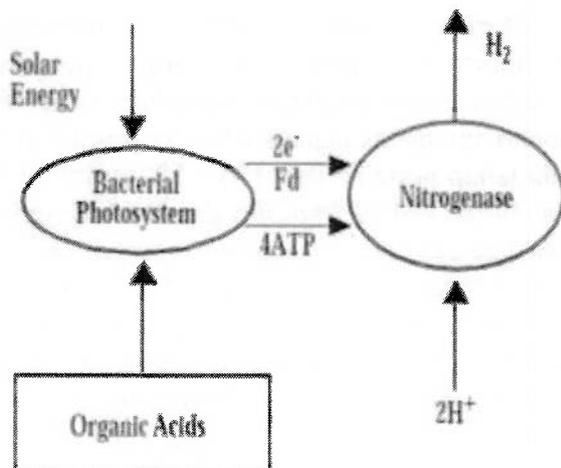
Dalam biophotolysis tidak langsung yang khusus, cyanobacteria digunakan untuk menghasilkan hidrogen melalui reaksi berikut (levin, pitt dan love, 2004) :



Markov dkk. (1997) meneliti biophotolysis tidak langsung dengan cyanobacterium anabaena variabilis yang di pancari intensitas cahaya 45 - 55 μmol⁻¹ m⁻² pada tahap pertama dan 170 - 180 μmol⁻¹ m⁻² pada tahap kedua. Photoproduction hidrogen pada laju sekitar 12,5 ml H₂ / gcdw h (cdw: berat kering sel) yang ditemukan. Dalam studi biophotolysis tidak langsung dengan cyanobacterium gloeocapsa alpicola oleh Troshina dkk. (2002), ditemukan bahwa mempertahankan media pada nilai pH antara 6,8 dan 8,3 menghasilkan hidrogen yang optimal. Peningkatan suhu dari 30° C - 40° C dapat meningkatkan produksi hidrogen dua kali lebih banyak. Laju produksi hidrogen melalui biophotolysis tidak langsung sebanding dengan hydrogenase berbasis produksi hidrogen dengan ganggang hijau. Biaya keseluruhan diperkirakan US \$ 10 / GJ hidrogen (Hallenbeck dan Benemann, 2002). Namun, harus diingat bahwa teknologi biophotolysis tidak langsung masih dalam tahap penelitian dan pengembangan secara aktif. Perkiraan biaya dimungkinkan akan mengalami perubahan signifikan tergantung pada kemajuan teknologi.



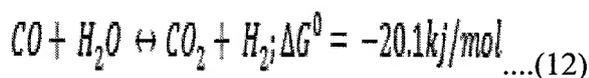
Gambar. 5. Biophotolysis Tidak Langsung Untuk Produksi Hidrogen.



Gambar. 6. Skema Foto-Fermentasi.

4.4 Biologi Pergeseran Reaksi Air-Gas

Beberapa *photoheterotrophic* bakteri, seperti *Rhodospirillum rubrum* dapat bertahan hidup dalam media gelap dengan menggunakan CO sebagai satu-satunya sumber karbon untuk menghasilkan Adenosin trifosfat atau disingkat ATP lewat kopling oksidasi CO dengan reduksi H + H₂ (Kerby, Ludden dan Roberts, 1995):



(Sebagaimana telah diketahui bersama bahwa Adenosin trifosfat (ATP) adalah suatu nukleotida yang dalam biokimia dikenal sebagai "satuan molekular" pertukaran energi intraselular; artinya, ATP dapat digunakan untuk menyimpan dan mentranspor energi kimia dalam sel. ATP juga berperan penting dalam sintesis asam nukleat. Molekul ATP juga digunakan untuk menyimpan energi yang dihasilkan tumbuhan dalam respirasi selular).

Dalam kesetimbangan, produk mendominasi CO₂ dan H₂. Oleh karena itu, proses ini menguntungkan untuk memproduksi hidrogen. Organisme yang tumbuh dengan mengorbankan proses ini adalah bakteri gram negatif, seperti R.

rubrum dan *Rubrivax gelatinosus*, dan bakteri gram positif, seperti *Carboxydotherrmus hydrogenoformans* (Soboh, Linder dan Hedderich, 2002). Dalam kondisi anaerobik CO menginduksi sintesis beberapa protein, termasuk CO dehidrogenase, Fe-S protein dan CO-toleran hydrogenase. Elektron yang dihasilkan dari oksidasi CO disampaikan melalui protein Fe-S ke hydrogenase untuk produksi hidrogen (Ensign dan Ludden, 1991).

Biologi pergeseran reaksi air-gas untuk memproduksi hidrogen masih dalam skala laboratorium dan beberapa kinerjanya telah dilaporkan. Tujuan umum dari karya - karya ini adalah untuk mengidentifikasi mikroorganisme yang cocok yang menyerap CO tinggi, dan untuk memperkirakan tingkat produksi hidrogen. Kerby dkk. (1995) mengamati bahwa di dalam kondisi gelap, kondisi anaerob pada kehadiran nikel yang cukup, waktu penggandaan R. rubrum kurang dari 5 jam oleh oksidasi CO menjadi CO₂ ditambah dengan pengurangan proton hidrogen. Namun, R. rubrum membutuhkan cahaya untuk tumbuh dan memproduksi hidrogen dihambat oleh media tekanan parsial CO di atas 0,2 atm. Sebuah alternatif baru chemoheterotrophic bakteri *Citrobacter* sp.Y19 telah diuji oleh Jung et al. (2002) untuk memproduksi hidrogen menggunakan pergeseran reaksi air - gas. Aktivitas produksi hidrogen maksimum ditemukan 27 mmol / g sel jam, atau sekitar tiga kali lebih tinggi dari R. rubrum.

Pada tahun 2003, Wolfrum dkk. (2003) telah melakukan studi yang rinci untuk membandingkan reaksi pergeseran air - gas biologis dengan pergeseran proses konvensional air - gas. Analisis Wolfrum dkk. menunjukkan bahwa proses pergeseran air - gas biologis secara ekonomi kompetitif ketika konsentrasi metana berada di bawah 3%. Biaya produksi hidrogen dari pergeseran Reaksi air - gas biologi berkisar dari US \$ 1,75 / kg (US \$ 14,6/GJ) menjadi sekitar US \$ 2,25 / kg (US \$ 18,8/GJ) untuk konsentrasi metana antara 1% dan 10%. Dibandingkan

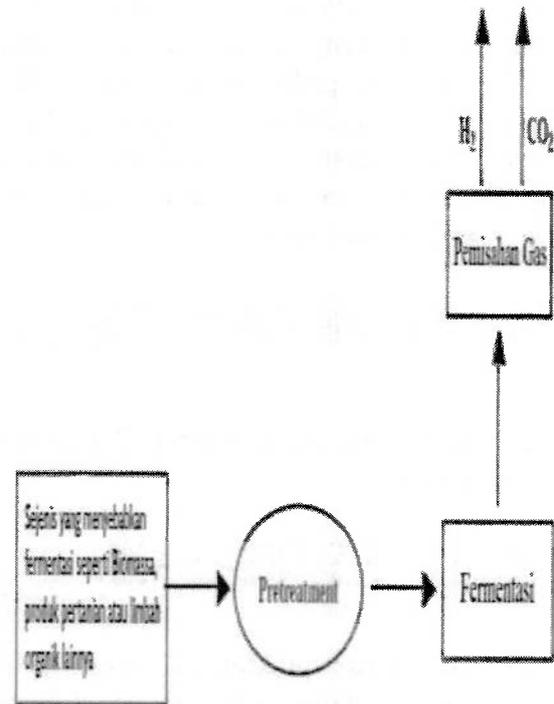
dengan pergeseran air - gas proses termokimia, biaya proses biologis pergeseran air - gas lebih rendah karena penghapusan beberapa peralatan proses.

4.5 Foto - Fermentasi

Bakteri fotosintetik memiliki kapasitas untuk memproduksi hidrogen melalui aksi *nitrogenase* mereka menggunakan energi matahari dan asam organik atau biomassa. Proses ini dikenal sebagai foto - fermentasi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 6. Dalam beberapa tahun terakhir, beberapa upaya telah dilakukan untuk produksi hidrogen dari limbah industri dan pertanian. Sebagaimana diringkas dalam Tabel 6 (Yetis, Gunduz, Eroglu, Yucel dan Turker, 2000), hidrogen dapat diproduksi dengan foto - fermentasi berbagai jenis limbah biomassa.

Tabel 6. Contoh Studi Produksi Hidrogen dengan Foto-Fermentasi

Jenis Biomassa	Sistem Bakteri	Efisiensi konversi Hidrogen	Referensi
Asam laktat	<i>Sphaeroides Rhodobacter</i> tidak dimobilisasi	86%	(Fedorov, Tsygankov, Rao dan Hall, 1998)
Bahan baku Laktat	<i>Rhodobacter capsulatus</i>	30%	(Tsygankov, Fedorov, Laurinavich ene, Gogotov, Rao dan Hall, 1998)
Air Limbah	<i>Sphaeroides Rhodobacter</i> tidak dimobilisasi	53%	(Zhu, Suzuki, Tsygankov, Asada, Miyake, 1999)
Gula kilang (refinery)	<i>Sphaeroides Rhodobacter</i>	0,005 l H ₂ /jam/l	(Yetis, Gunduz, Eroglu, Yucel dan Turker, 2000)
Air Limbah	O.U.001	pemeliharaan (culture)	



Gambar. 7. Produksi Hidrogen dengan Fermentasi Gelap.

Namun, proses ini memiliki tiga kelemahan utama :

- Menggunakan enzim *nitrogenase* membutuhkan energi yang tinggi,
- Efisiensi konversi energi matahari rendah
- Untuk *photobioreactors anaerob* membutuhkan area lahan tanah yang luas (fedorov, tsygankov, rao dan hall, 1998).

Oleh karena itu, pada saat ini, metode proses foto - fermentasi dianggap tidak kompetitif untuk memproduksi hidrogen.

4.6 Fermentasi Gelap

Fermentasi dengan bakteri *anaerob* serta beberapa *microalgae*, seperti ganggang hijau di substrat yang kaya karbohidrat, dapat menghasilkan hidrogen pada 30 °C sampai 80 °C terutama dalam kondisi gelap (Lin dan Jo, 2003). Proses produksi hidrogen menggunakan fermentasi gelap diilustrasikan pada Gambar. 7. Tidak seperti proses *biophotolysis* yang hanya menghasilkan H₂,

produk - produk fermentasi gelap sebagian besar menghasilkan H₂ dan CO₂ dikombinasikan dengan gas, seperti CH₄ atau H₂S, tergantung pada proses reaksi dan substrat yang digunakan. Dengan glukosa sebagai model substrat, 4 mol H₂ maksimum yang diproduksi per mol glukosa saat akhir produk adalah asam asetat :



Ketika produk akhir butirat, 2 mol H₂ yang dihasilkan:



Namun, dalam prakteknya, produksi 4 mol H₂/mol glukosa tidak dapat dicapai karena produk akhir biasanya berisi asetat dan butirat (Hawkes, Dinsdale, Hawkes dan Hussy, 2002).

Jumlah produksi hidrogen dengan fermentasi gelap sangat tergantung pada nilai pH, waktu retensi hidrolis (*hydraulic retention time* atau disingkat *HRT*) dan tekanan gas parsial. Untuk produksi hidrogen yang optimal, pH harus dipertahankan antara 5 sampai 6 (Fang dan Liu, 2002). Tekanan parsial H₂ adalah suatu parameter penting yang dapat mempengaruhi produksi hidrogen. Ketika konsentrasi hidrogen meningkat, pergeseran jalur metabolisme untuk menghasilkan lebih banyak substrat dikurangi, seperti laktat, etanol, aseton butanol, atau alanin, yang pada gilirannya menurunkan produksi hidrogen (Niel, Claassen dan Stams, 2003).

Selain nilai pH dan tekanan parsial, *HRT* juga memainkan peranan penting dalam produksi hidrogen. Ueno et al. (1996) telah melaporkan bahwa *HRT* optimal 0,5 hari dapat mempengaruhi produksi hidrogen maksimum (14 mmol / g karbohidrat) dari air limbah oleh *mikroflora anaerobik* pada pembiakan *chemostat*. Ketika *HRT*

meningkat dari 0,5 hari sampai 3 hari, tingkat produksi hidrogen dikurangi 198 - 34 m/mol/hari, sedangkan efisiensi karbohidrat dalam limbah cair yang membusuk meningkat dari 70% sampai 97%. Oleh karena pada kenyataannya radiasi matahari tidak dibutuhkan, produksi hidrogen dengan fermentasi gelap tidak menuntut banyak lahan dan tidak terpengaruh oleh kondisi cuaca. Oleh karena itu, teknologi ini menghasilkan pertumbuhan nilai komersial yang layak dipertimbangkan.

5. KESIMPULAN

Hidrogen dapat diakui sebagai salah satu penghasil energi paling menjanjikan di masa depan. Penelitian mengenai produksi hidrogen dengan berbagai metode telah banyak dilakukan selama beberapa dekade terakhir. Biomassa berpotensi sebagai sumber daya energi yang dapat diandalkan untuk memproduksi hidrogen. Biomassa adalah sumber daya energi terbarukan, berlimpah dan mudah digunakan. Selama siklus hidup, CO₂ bersih – hampir tidak mengandung emisi, karena fotosintesis pada penghijauan tanaman. Metode pirolisis termokimia dan metode gasifikasi adalah metode produksi hidrogen yang ekonomis dan dengan metode reformasi konvensional gas alam akan menjadi teknologi yang kompetitif. Biologi Fermentasi gelap juga metode produksi hidrogen yang menjanjikan untuk penggunaan secara komersial di masa depan. Apabila teknologi ini dikembangkan lebih lanjut, maka biomassa akan memainkan peran penting dalam pengembangan ekonomi berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada saudara Ir. Diah Iswidiningsih (alumni Institut Pertanian Bogor dan karyawan Dinas Pertanian Pemerintah Kota Surakarta) atas masukan dan pemberian referensi sebagai bahan tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Demirbas. (2001), Biomass Resource Facilities and Biomass Conversion Processing for Fuels and Chemicals. *Journal of Energy Conversion and Management*. 42 ; 1357.
- A. Demirbas. (2002), Gaseous Products From Biomass by Pyrolysis and Gasification: Effects of Catalyst on Hydrogen Yield. *Journal of Energy Conversion and Management*. 43 ; 897.
- A. Demirbas. (2002). Hydrogen Production From Biomass by The Gasification Process, *Journal of Energy Sources*. 24 ; 59.
- A. Kazim, T.N. Veziroglu. (2001) Utilization of Solar - Hydrogen Energy In The UAE to Maintain Its Share In The World Energy Market for The 21st Century. *Journal Of Renewable Energy*. 24 ; 259.
- A. Melis, L.P. Zhang, M. Forestier, M.L. Ghirardi, M. Seibert. (2000) *Sustained Photobiological Hydrogen Gas Production Upon Reversible Inactivation of Oxygen Evolution In The Green Algae Chlamydomonas Reinhardtii*, *Plant Physiology*. 122 ; 127.
- A. Midilli, M. Dogru, G. Akay, C.R. Howarth. (2002) Hydrogen Production From Sewage Sludge Via A Fixed Bed Gasifier Product Gas, International. *Journal of Hydrogen Energy*. 27 ; 1035.
- A.A. Tsygankov, A.S. Fedorov, T.V. Laurinavichene, I.N. Gogotov, K.K. Rao, D.O. Hall. (1998) Actual And Potential Rates of Hydrogen Photoproduction by Continuous Culture of The Purple Non - Sulphur Bacterium *Rhodobacter Capsulatus*. *Journal of Applied Microbiology and Biotechnology*. 49 ; 102.
- A.A. Tsygankov, L.T. Serebryakova, K.K. Rao, D.O. Hall. (1998) *Acetylene Reduction and Hydrogen Photoproduction by Wild - Type and Mutant Strains of Anabaena at Different CO₂ and O₂ Concentrations*. *FEMS Microbiology Letters*. 167 ; 13.
- A.S. Fedorov, A.A. Tsygankov, K.K. Rao, D.O. Hall. (1998) *Hydrogen Photoproduction by Rhodobacter Sphaeroides Immobilised on Polyurethane Foam*. *Biotechnology Letters*. 20 ; 1007.
- A.V. Bridgwater. (1999) Principles and Practice of Biomass Fast Pyrolysis Processes for Liquids. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 51 ; 3.
- B. Gaudernack. (1998) *Photoproduction of Hydrogen, IEA Agreement on The Production and Utilization of Hydrogen Annual Report*. IEA/H2/AR-98.
- B. Soboh, D. Linder, R. Hedderich. (2002) Purification and Catalytic Properties of A CO Oxidizing : H₂ - Evolving Enzyme Complex from *Carboxydotherrmus Hydrogeno Formans*. *Europe Journal of Biochemistry*. 269 ; 5712.
- Bair, S. Czernik, R. French, Y. Parent, M. Ritland, E. Chornet. (2002). *Fluidizable Catalysts for Producing Hydrogen by Steam Reforming Biomass Pyrolysis Liquids, Proceedings of the 2002 U.S. DOE Hydrogen Program Review*. NREL / CP-610-32405. National Renewable Energy Laboratory.
- C. Courson, L. Udron, D. Swierczynski, C. Petit, A. Kiennemann. (2002) *Hydrogen*
- C.E.G.. Padro, V. Putsche. (1999) *Survey of the economics of hydrogen technologies*. National Renewable Energy Laboratory Technical Report. NREL / TP_570_27079.

- C.Y. Lin, C.H. Jo. (2003) Hydrogen Production from Sucrose Using an Anaerobic Sequencing Batch Reactor Process. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology. Journal of Renewable Energy.* 78 ; 678.
- D. Sutton, B. Kelleher, J. Ross. (2001) Review of Literature on Catalysts for Biomass Gasification. *Journal of Fuel Processing Technology.* 73 ; 155.
- D. Sutton, B. Kelleher, J. Ross. (2002) Catalytic Conditioning of Organic Volatile Products Produced by Peat Pyrolysis. *Journal of Biomass and Bioenergy.* 23 ; 209.
- D.A. Bowen, F. Lau, R. Zabransky, R. Remick, R. Slimane, S. Doong. (2003) *Techno - Economic Analysis of Hydrogen Production by Gasification of Biomass.* NREL FY 2003 Progress Report. National Renewable Energy Laboratory.
- D.B. Levin, L. Pitt, M. Love (2004) Biohydrogen Production: Prospects and Limitations to Practical Application. *International Journal of Hydrogen Energy.* 29; 173.
- D.H. Yu, M. Aihara, M.J. Antal. (1993) Hydrogen Production by Steam Reforming Glucose In Supercritical Water. *International Journal of Energy and Fuels.* 7 ; 574.
- E. Wolfrum, P.C. Manese, A. Watt, G. Vanzin, J. Huang, S. Smolinski. (2003) Biological Water Gas Shift, DOE Hydrogen, Fuel Cell, and Infrastructure Technologies Program Review. *Journal of Renewable Energy.* 19 – 22.
- E.W.J.V. Niel, P.A.M. Claassen, A.J.M. Stams. (2003) Substrate and Production Inhibition of Hydrogen Production by The Extreme Thermophile *Caldicellulosiruptor Saccharolyticus.* *Journal of Biotechnology and Bioengineering.* 81 ; 255.
- F.R. Hawkes, R. Dinsdale, D.L. Hawkes, I. Hussy. (2002) Sustainable Fermentative Hydrogen Production: Challenges for Process Optimisation, International. *Journal of Hydrogen Energy.* 27 ; 1339.
- FY. (2003) *Progress Report, National Renewable Energy Laboratory.*
- G. Chen, J. Andries, H. Spliethoff. (2003) Catalytic Pyrolysis of Biomass for Hydrogen Rich Fuel Gas Production, *Journal of Energy Conversion and Management.* 44 ; 2289.
- G.Y. Jung, J.R. Kim, J.Y. Park, S. Park. (2002) Hydrogen Production by A New Chemoheterotrophic Bacterium *Citrobacter* Sp. Y19. *International Journal of Hydrogen Energy.* 27 ; 601.
- H. Koku, I. Eroglu, U. Gunduz, M. Yucel, L. Turker. (2002) Aspects of The Metabolism of Hydrogen Production by *Rhodobacter Sphaeroides.* *International Journal of Hydrogen Energy.* 27 ; 1315
- H. Mctavish, L.A. Sayavedrasoto, D.J. Arp. (1995) Substitution of *Azotobacter Vinelandii* Hydrogenase Small-Subunit Cysteines by Serines Can Create Insensitivity to Inhibition by O₂ and Preferentially Damages H₂ Oxidation Over H₂ Evolution. *Journal of Bacteriology.* 177, 3960.
- H. Ooshima, S. Takakuwa, T. Katsuda, M. Okuda, T. Shirasawa, M. Azuma, J. Kato. (1998) Production of Hydrogen by A Hydrogenase-Deficient Mutant of *Rhodobacter Capsulatu.* *Journal of Fermentation and Bioengineering.* 85 ; 470.

- H. Schmieder, J. Abeln, N. Boukis, E. Dinjus, A. Kruse, M. Kluth, G. Petrich, E. Sadri, M. Schacht. (2000) Hydrothermal Gasification of Biomass and Organic Wastes, *Journal of Supercritical Fluids*. 17 ; 145.
- H.G. Zhu, T. Suzuki, A.A. Tsygankov, Y. Asada, J. Miyake. (1999) Hydrogen Production From Tofu Wastewater by Rhodobacter Sphaeroides Immobilized In Agar Gels. *International Journal of Hydrogen Energy*. 24 : 305.
- H.H.P. Fang, H. Liu. (2002) Effect of pH on Hydrogen Production from Glucose by A Mixed Culture. *Journal of Bioresource Technology*. 82 ; 87.I.
- J. Corella, M.P. Aznar, J. Gil, M.A. Caballero. (1999) Biomass Gasification In Fluidised Bed: Where to Locate The Dolomite to Improve Gasification?. *Journal of Energy and Fuels*. 13 ; 1122.
- J. Jian-chun, J. Chun, Z. Jin-Ping, Y. Hao, D. Wei-di, T. Yuan-bo. (2001) Study on Industrial Applied Technology for Biomass Catalytic Gasification, Chemistry and Industry of Forest Products (In Chinese). *Journal of Renewable Energy*. 21 ; 21.
- J. Larminie, A. Dicks, (2000), *Fuel Cell Systems Explained*, Wiley, Toronto.
- J. Abedi, Y.D. Yeboah, M. Realff, D. McGee, J. Howard, K.B. Bota. (2001) *An Integrated Approach to Hydrogen Production from Agricultural Residues for Use In Urban Transportation*, *Proceedings of the 2001 DOE Hydrogen Program Review*. NREL / CP- 570-30535, National Renewable Energy Laboratory.
- J.M. Wornat, R.H. Hurt, N.Y.C. Yang, T.J. Headley. (1995) Structural and Compositional Transformations of Biomass Chars During Combustion. *Journal of Combustion and Flame*. 100 ; 131.
- J.R. Benemann. (1998) *Process Analysis And Economics of Biophotolysis of Water*. IEA / H2 / 10 / TR2 - 98.K.A.M.
- K.A.M. Bair, S. Czernik, R. French, E. Chornet. (2003) *Fluidizable Catalysts For Hydrogen Production from Biomass Pyrolysis/Steam Reforming*.
- L. Garcia, R. French, S. Czernik, S. Chornet (2000) Catalytic Steam Reforming of Bio - Oils for The Production of Hydrogen : Effects of Catalyst Composition, Applied Catalysis A: General. *International Journal of Hydrogen Energy*. 201 ; 225.
- L. Vasilyeva, M. Miyake, E. Khatipov, T.Wakayama, M. Sekine, M. Hara, E. Nakada, Y. Asada, J. Miyake. (1999) Enhanced Hydrogen Production by A Mutant of Rhodobacter Sphaeroides Having An Altered Light - Harvesting System. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 87 ; 619.
- M.A.H. Abdallah, S.S. Asfour, T.N. Veziroglu. (1999) Solar - Hydrogen Energy System for Egypt. *International Journal of Hydrogen Energy*. 24 ; 505.
- M.A. Rabah, S.M. Eldighidy. (1989) Low Cost Hydrogen Production from waste. *International Journal of Hydrogen Energy*. 14 ; 221.
- M.J. Antal, X.D. Xu. (1998) Hydrogen Production from High Moisture Content Biomass In Supercritical Water. *Proceedings of The 1998 U.S.DOE Hydrogen Program Review*, NREL / CP - 570 - 25315.
- M.H. Spritzer, G.T. Hong. (1998) *Supercritical Water Partial Oxidation*,

- FY 2003 Progress Report, National Renewable Energy Laboratory.
- M.W. Reij, J.T.F. Keurentjes, S. Hartmans. (1998) Membrane Bioreactors for Waste Gas Treatment. *Journal Of Biotechnology*. 59 ; 155.
- M. Yetis, U. Gunduz, I. Eroglu, M. Yucel, L. Turker. (2000) Photoproduction of Hydrogen from Sugar Refinery Wastewater By Rhodobacter Sphaeroides O.U.001. *International Journal of Hydrogen Energy*. 25 ; 1035.
- Milne., N. Abatzoglou, R.J. Evans, (1998), *Biomass Gasifier Tars : Their Nature, Formation, and Conversion*. National Renewable Energy Laboratory Technical Report. NREL / TP_570_25357.
- N. Kumar, D. Das. (2000). Enhancement of Hydrogen Production by Enterobacter Coacae IIT-BT 08, Process Biochemistry. *International Journal of Hydrogen Energy*. 35 ; 589.
- Narvaez, J. Corella, A. Orio. (1997) Fresh Tar (from A Biomass Gasifier) Elimination Over A Commercial Steam - Reforming Catalyst. Kinetics and Effect of Different Variables of Operation. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. 36 ; 317
- O. Onay, O.M. Kockar. (2004) Fixed - Bed Pyrolysis of Rapeseed (Brassica Napus L). Biomass and Bioenergy. *Journal of Biotechnology and Bioengineering*. 26 ; 289.
- O. Troshina, L. Serebryakova, M. Sheremetieva, P. Lindblad. (2002) Production of H₂ by The Unicellular Cyanobacterium Gloeocapsa Alpicola CALU 743 During Fermentation. *International Journal of Hydrogen Energy*. 27 ; 1283.
- P. Garcia-Ibanez, A. Cabanillas, J.M. Sanchez. (2004) Gasification of Leached Orujillo (Olive Oil Waste) In A Pilot Plant Circulating Fluidized Bed Reactor. Preliminary Results, Biomass and Bioenergy. *Journal of Renewable Energy*. 27 ; 183.
- P.A. Simell, E.K. Hirvensalo, V.T. Smolander, A. Krause. (1999) Steam Reforming of Gasification Gas Tar Over Dolomite With Benzene As A Model Compound, Industrial and Engineering Chemistry *Research*. 38 ; 1250.
- P.A. Simell, N.A.K. Hakala, H.E. Haario, A. Krause. (1997) Catalytic Decomposition of Gasification Gas Tar With Benzene As The Model Compound, Industrial and Engineering Chemistry. *Research*. 36 ; 42.
- P.C. Hallenbeck, J.R. Benemann. (2002) Biological Hydrogen Production; Fundamentals and Limiting Processes. *International Journal of Hydrogen Energy*. 27 ; 1185.
- P.T. Williams, A.J. Brindle (2002) Catalytic Pyrolysis of Tyres: Influence of Catalyst Temperature. *Journal of Fuel*. 81 ; 2425.
- R. Evans, L. Boyd, C. Elam, S. Czernik, R. French, C. Feik, S. Philips, E. Chaornet, Y. Parent. (2003), *Hydrogen From Biomass-Catalytic Reforming of Pyrolysis Vapors*, FY 2003. Progress Report, National Renewable Energy Laboratory.
- R.C. Brown. (2003) *Biomass-Derived Hydrogen from A Thermally Ballasted Gasifier*. FY 2003 Progress Report, National Renewable Energy Laboratory.
- R.K. Jalan, V.K. Srivastava. (1999) Studies On Pyrolysis of A Single Biomass Cylindrical Pellet - Kinetic And Heat

- Transfer Effects. *Journal of Energy Conversion and Management*. 40 ; 467.
- R.L. Kerby, P.W. Ludden, G.P. Roberts. (1995) Carbon Monoxide - Dependent Growth of *Rhodospirillum Rubrum*. *Journal of Bacteriology*. 177 ; 2241.
- S. Arvelakis, E.G. Koukios. (2002) Physicochemical Upgrading of Agroresidues As Feedstocks for Energy Production Via Thermochemical Conversion Methods. *Journal of Biomass and Bioenergy*. 22 ; 331.
- S. Arvelakis, H. Gehrman, M. Beckmann, E.G. Koukios. (2002) Effect of Leaching on The Ash Behavior of Olive Residue During Fluidized Bed Gasification. *Journal of Biomass and Bioenergy*. 22 ; 55.
- S. Arvelakis, P. Vourliotis, E. Kakaras, E.G. Koukios. (2001) Effect of Leaching On The Ash Behavior of Wheat Straw and Olive Residue During Fluidized Bed Combustion. *Journal of Biomass and Bioenergy*. 20 ; 459.
- S. Czernik, R. French, R. Evans, E. Chornet. (2003) *Hydrogen from Postconsumer Residues*. U.S.DOE Hydrogen And Fuel Cells Merit Review Meeting, Berkeley, CA, (May 19– 23, 2003).
- S. Rapagna, H. Provendier, C. Petit, A. Kiennemann, P.U. Foscolo. (2002) Development of Catalysts Suitable for Hydrogen or Syn-Gas Production from Biomass Gasification. *Journal of Biomass and Bioenergy*. 22 ; 377.
- S. Rapagna, N. Jand, P.U. Foscolo. (1998) Catalytic Gasification of Biomass to Produce Hydrogen Rich Gas, International. *Journal Of Hydrogen Energy*. 23 ; 551.
- S. Sato, S.Y. Lin, Y. Suzuki, H. Hatano. (2003). Hydrogen Production from Heavy Oil In The Presence of Calcium Hydroxide. *Journal of Energy and Fuel*. 82 ; 561– 567.
- S. Turn, C. Kinoshita, Z. Zhang, D. Ishimura, J. Zhou. (1998) An Experimental Investigation of Hydrogen Production from Biomass Gasification. *International Journal of Hydrogen Energy*. 23 ; 641.
- S.A. Ensign, P.W. Ludden. (1991) Characterization of The CO Oxidation / H₂ Evolution System of *Rhodospirillum Rubrum*. Role of A 22 - Kda Iron – Sulfur Protein In Mediating Electron Transfer Between Carbon Monoxide Dehydrogenase And Hydrogenase. *Journal of Biological Chemistry*. 266 ; 18395.
- S.A. Markov, A.D. Thomas, M.J. Bazin, D.O. Hall. (1997) Photoproduction of Hydrogen by Cyanobacteria Under Partial Vacuum In Batch Culture or In A Photobioreactor. *International Journal of Hydrogen Energy*. 22 ; 521.
- S.K. Khanal, W.H. Chen, L. Li, S. Sung. (2004) Biological Hydrogen Production: Effects of Ph and Intermediate Products. *International Journal of Hydrogen Energy*. 29 ; 1123.T.A.
- S.Q. Turn, C.M. Kinoshita, D. Ishimura. (1997) Removal of Inorganic Constituents of Biomass Feedstocks by Mechanical Dewatering and Leaching. *Journal of Biomass and Bioenergy*. 12 ; 241 – 252.
- S.Y. Lin, M. Harada, Y. Suzuki, H. Hatano. (2004) Continuous Experiment Regarding Hydrogen Production by Coal / Cao Reaction With Steam (I) Gas Products. *Journal of Energy and Fuel*. 83 ; 869.

- S.Y. Lin, M. Harada, Y. Suzuki, H. Hatano (2004) Gasification of Organic Material / Cao Pellets With High-Pressure Steam. *Journal of Energy and Fuel*. 18 ; 1014.
- S.Y. Lin, M. Harada, Y. Suzuki, H. Hatano. (2005) Process Analysis for Hydrogen Production by Reaction Integrated Novel Gasification (Hypr - RING). *Journal of Energy Conversion and Management*. 46 ; 869.
- S.Y. Lin, Y. Suzuki, H. Hatano, M. Harada (2001) Hydrogen Production from Hydrocarbon by Integration of Water-Carbon Reaction and Carbon Dioxide Removal (Hypr - RING) Method. *Journal of Energy and Fuels*. 15 ; 339.
- S.Y. Lin, Y. Suzuki, H. Hatano, M. Harada. (2002) Development An Innovative Method, Hypr-RING, to Produce Hydrogen From Hydrocarbons, *Journal of Energy Conversion and Management*. 43 ; 1283.
- T. Kondo, M. Arkawa, T. Hirai, T. Wakayama, M. Hara, J. Miyake. (2002). Enhancement of Hydrogen Production by A Photosynthetic Bacterium Mutant With Reduced Pigment. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 93 ; 145.
- T. Minowa, F. Zhen, T. Ogi. (1998) Cellulose Decomposition In Hot-Compressed Water With Alkali or Nickel Catalyst. *Journal of Supercritical Fluids*. 13 ; 253.
- T. Minowa, S. Inoue. (1999) Hydrogen Production From Biomass by Catalytic Gasification In Hot Compressed Water. *Journal of Renewable Energy*. 16 ; 1114.
- T. Minowa, T. Ogi. (1998) *Hydrogen Production From Cellulose Using A Reduced Nickel Catalyst*. *Catalysis Today*. 45 ; 411.
- W. Chuangzhi, Y. Xiuli, X. Bingyan, L. Zhengfan, L. Ping. (1997) The Performance Study of Biomass Gasification With Oxygen - Rich Air, *Acta Energiae Solaris Sinica (In Chinese)*. *Journal of Renewable Energy*. 18 ; 237
- W. Zhiwei, T. Songtao, S. Xueyong, L. Zian, C. Congming, L. Dingkai. (2002) A Study On Model for Biomass Pyrolysis And Gasification In Fluidized Bed. *Journal of Fuel Chemistry and Technology (In Chinese)*. *Journal of Renewable Energy*. 30 ; 342.
- W.S.L. Mok, M. Jerry, J. Antal. (1992) Uncatalyzed Solvolysis of Whole Biomass Hemicellulose by Hot Compressed Liquid Water. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. 31; 1157.
- X. Xiaodong, M. Yukihiro, S. Jonny, J.A. Michael. (1996) Carbon - Catalyzed Gasification of Organic Feedstocks In Supercritical Water. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. 35 : 2522.
- X.H. Hao, L.J. Guo, X. Mao, X.M. Zhang, X.J. Chen. (2003) Hydrogen Production from Glucose Used As A Model Compound of Biomass Gasified In Supercritical Water. *International Journal of Hydrogen Energy*. 28 ; 55.
- Y. Matsumura, T. Minowa. (2004) Fundamental Design of A Continuous Biomass Gasification Process Using A Supercritical Water Fluidized Bed. *International Journal of Hydrogen Energy*. 29 ; 701.
- Y. Ueno, S. Otsuka, M. Morimoto. (1996) Hydrogen Production from Industrial Wastewater by Anaerobic Microflora In Chemostat Culture. *Journal of*

Fermentation and Bioengineering. 82 ;
14.[93]

- Y. Xia, W. Dunsong. (2000) Study of Gasification Treatment of Biomass In Fixed Bed Gasifier, Mei Qi Yu Re Li (In Chinese). *Journal of Renewable Energy.* 20 ; 243.
- Y. Yeboah, K. Bota, D. Day, D. McGee, M. Realff, R. Evans, E. Chornet, S. Czernik, C. Feik, R. French, S. Philips, J. Patrick. (2003) *Hydrogen from Biomass for Urban Transportation, Hydrogen, Fuel Cells and Infrastructure Technologies.* Program Review Meeting, Berkeley, CA, (May 18– 22, 2003).
- Y. Yongjie. (1996) Exploring Energy From Biomass The Gasification of Residues From Hydrolyzed Sawdust, Acta Energiae Solaris Sinica (In Chinese). *Journal of Renewable Energy.* 17 ; 209.
- Y.S. Lin. (2001) Microporous and Dense Inorganic Membranes: Current Status And Prospective. *Journal of Technology.* 25; 39.
- Z.Q. Mao. (2003) *Hydrogen A Future Clean Energy In China, Symposium On Hydrogen Infrastructure Technology for Energy and Fuel Applications.* The Hong Kong Polytechnic University. Hongkong. 2003 (November 18).

ISSN 0853-8697



9 770853 869710