

PENGEMBANGAN TEKNOLOGI HEMAT ENERGI DENGAN MEMANFAATKAN SOLAR OIL HEATER (SOH) PADA PILOT PLANT DISTILASI BIOETANOL

Eko Prasetya Budiana¹, Budi Kristiawan¹, Endah Retno Dyartanti²

¹Staf Pengajar – Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

²Staf Pengajar – Jurusan Teknik Kimia – Universitas Sebelas Maret

Keywords :

*Diesel oil heater
Distillation process
Active closed-loop*

Abstract :

The purpose of this research is to create model and prototype of energy-saving technologies in ethanol distillation process by using solar thermal energy. In this study the solar collector using solar oil heater technology that works based on the active closed-loop system (indirect heating) with ethylene glycol as working fluid. The data collection time is at 09:00 to 16:00. From the test results are known the intensity of solar radiation 2.89 kWh/m² and heat that can be absorbed by solar collectors for 1667.6 kJ. and efficiency of solar collector is 12%. Heat was used for ethanol distillation process. From the resulting ethanol distillation process with capacity 0.3 litre/h and 96% content.

PENDAHULUAN

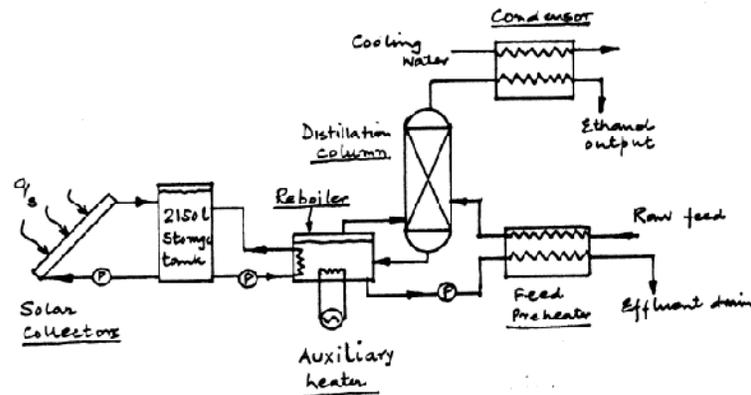
Energi adalah sumber daya yang strategis dan memegang peranan penting dalam pembangunan. Sektor energi masih menjadi sektor penting dalam perekonomian nasional yang menyumbang devisa yang cukup besar. Tetapi kondisi tersebut tidak bisa dipertahankan lebih lama, Indonesia memasuki era krisis energi. Dampak dari krisis ini pada industri adalah semakin memburuknya kinerja industri nasional. Hal ini disebabkan biaya produksi domestik yang meningkat karena adanya kenaikan harga BBM dan energi listrik. Disaat yang sama tingkat konsumsi energi perkapita nasional serta daya beli ekonomi juga rendah, sehingga efisiensi dan nilai tambah yang dihasilkannya juga relatif rendah. Di sisi lain intensitas penggunaan energi Indonesia masih bisa dikategorikan boros. Peningkatan efisiensi pemanfaatan energi memerlukan infrastruktur teknologi, "know-how", sistem konversi dan konservasi serta kebijakan dan manajemen energi yang optimal.

Bioetanol merupakan salah satu jenis *biofuel* (bahan bakar nabati) cair dari pengolahan tumbuhan seperti jagung, singkong, tebu maupun shorgum manis. Untuk memproduksi sumber energi alternatif bioetanol, memerlukan banyak sumber energi panas dalam pengolahannya. Banyak penelitian yang dilakukan dalam pengembangan proses destilasinya, seperti destilasi bertingkat. Akan tetapi, penelitian kebutuhan energi panas yang efisien dalam proses destilasi alkohol juga perlu dilakukan. Oleh karena itu, dalam penelitian ini tim peneliti tertarik pada pengembangan teknologi hemat energi untuk proses

destilasi bioetanol. Teknologi hemat energi menggunakan sistem yang disebut dengan *solar oil heater* yang bekerja berdasarkan sistem *active closed-loop*. Teknologi hemat energi ini akan diaplikasikan pada sebuah pilot plant bioetanol dengan kapasitas produksi 400 liter per hari dan kadar alkohol 70%.

TINJAUAN PUSTAKA

Jorapur dan Rajvanshi (1991) melakukan eksperimen destilasi alkohol shorgum manis dengan memanfaatkan energi surya. Penelitian ini menggunakan kolektor termal plat datar dengan luas kolektor 38 m² yang dihubungkan ke *pilot-scale distillation plant* dengan kapasitas 1,8 liter/jam dan kadar alkohol yang dihasilkan 95%. Alat penukar kalor (*heat exchanger*) pada reboiler dan kondensor menggunakan tipe *shell and tube* dengan luas transfer panas masing-masing adalah 0,236 m² dan 1,29 m². Fluida kerja pemanas yang digunakan adalah air. Gambar skema proses destilasi dengan memanfaatkan energi surya terlihat pada gambar 1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah pengambilan data dilakukan lebih dari 4000 jam, untuk sistem kolektor termal didapatkan intensitas radiasi matahari rata-rata mencapai 1,68 kWh/m² per hari dan efisiensi kolektornya mencapai 28%. Lama pengumpulan panas pada kolektor selama 5-6 jam dan dihasilkan temperatur air berkisar 55-85 °C. Temperatur reboiler berkisar antara 42-62 °C dan produksi etanol spesifik rata-rata mencapai 0,63 liter/m² per hari.



Gambar 1. Skema distilasi alkohol dengan menggunakan energi surya.

Vorayos, *et.al.* (____) melakukan eksperimen distilasi etanol dengan menggunakan 2 tipe kolektor termal, yaitu kolektor termal plat datar dan *evacuated heat pipe*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan kolektor termal jenis *evacuated heat pipe* menghasilkan produk distilasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan kolektor termal plat datar. Peningkatan ditunjukkan pada distilasi dari 10% v/v ke 45% v/v maupun dari 45% v/v ke 80% v/v. Biaya manufaktur kolektor jenis *evacuated heat pipe* lebih mahal dibandingkan jenis kolektor termal plat datar. Penggunaan distilasi sistem energi surya lebih ekonomis dibandingkan dengan proses distilasi konvensional yang menggunakan bahan bakar minyak.

PROSES PENGOLAHAN BIOETANOL

Berdasarkan SOP (*standart operational procedure*) pengolahan bioetanol berbasis shorgum manis (2009), proses produksi bioetanol dibedakan menjadi tiga macam proses, yaitu : 1) proses pengolahan bahan baku, 2) proses fermentasi dan 3) proses destilasi. Proses pengolahan bahan baku dilakukan dengan cara pengepresan batang shorgum manis dengan mesin press hingga menghasilkan nira. Nira selanjutnya ditampung pada tangki penampungan nira. Sebaiknya nira hasil pengepresan langsung difermentasi, jika tidak harus dipekatkan terlebih dahulu di dalam evaporator dengan TS (*total sugar*) diatas 50%. Fungsi tangki penampungan nira adalah sebagai tempat pencampuran nira (TS : 15%) dengan nutrisi dan ragi yang berasal dari *seeding tank* sebagai umpan fermentasi. Penghitungan pengenceran atau pemekatan kadar gula dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut :

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2 \quad (1)$$

Dimana :

V_1 = Volume gula awal

M_1 = Konsentrasi gula awal

V_2 = Volume gula akhir

M_2 = Konsentrasi gula akhir

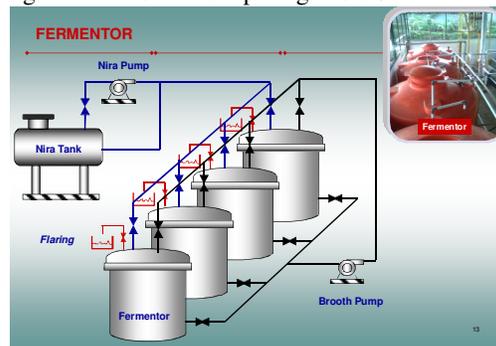
Tangki nutrisi (*seeding tank*) berfungsi untuk melarutkan nutrisi dan menginkubasi ragi roti. Bahan-bahan untuk melarutkan nutrisi di dalam

tangki nutrisi (*seeding tank*) terdiri dari air hangat 100 liter, NPK 0,6 kg, urea 0,3 kg dan ragi 0,55 kg. Pada saat nira di dalam tangki, dilakukan juga penambahan asam sulfat atau soda api (NaOH) secara perlahan hingga pH nira berkisar antara 4,5 – 5. Diagram alir pekerjaan pengolahan bahan baku terlihat pada gambar 2 berikut ini.



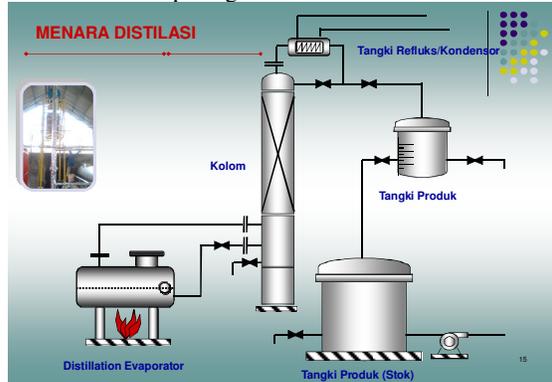
Gambar 2. Proses pengolahan bahan baku.

Proses kedua adalah proses fermentasi di dalam tangki fermentor dengan kapasitas 5 m³ tiap tangki. Nira yang telah diberi larutan nutrisi dialirkan ke tangki fermentor dengan *nira pump* dan memastikan semua tangki tertutup rapat (tidak ada celah tempat keluar masuk udara). Nira yang sudah masuk ke dalam tangki fermentor, selanjutnya diambahkan air. Fermentasi nira berlangsung selama 3x24 jam. Diagram aliran nira dari tangki penampungan nira ke tangki fermentor terlihat pada gambar 3.



Gambar 3. Diagram aliran nira dari tangki penampungan ke tangki fermentor.

Proses yang terakhir adalah proses destilasi (penyulingan) bioetanol. Nira hasil fermentasi dari tangki fermentor dialirkan ke reboiler dengan menggunakan *broth pump*. Pada proses destilasi ini, membutuhkan sumber energi panas untuk menguapkan nira yang telah difermentasi. Sumber panas berasal dari pembakaran kayu bakar atau gas elpiji. Temperatur cairan pada bagian reboiler dijaga konstan pada suhu 100 °C dan temperatur menara destilasi dijaga konstan pada 86 °C. Produk yang terbentuk adalah etanol dengan kadar 70 % ditampung pada tangki produk. Diagram alir proses destilasi terlihat pada gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. Skema proses destilasi pada pilot plant bioethanol.

ANALISIS ENERGI

Kolektor Termal Plat Datar

Kolektor termal didesain menurut standar ASHRAE. Laju transfer energi berguna yang dipindahkan dari kolektor ke termal oil (Q_u , kW) dapat dituliskan dalam bentuk persamaan menurut Duffie dan Beckman (1991), yaitu :

$$Q_u = \eta A_c I_T \text{ dan } Q_u = m_c (h_{c,o} - h_{c,i}) \quad (2)$$

Dimana η adalah efisiensi kolektor termal, A_c adalah luas kolektor termal (m^2), I_T adalah intensitas radiasi matahari (kW/m^2), m_c adalah laju aliran massa fluida (kg/s), $h_{c,i}$ dan $h_{c,o}$ masing-masing adalah entalpi fluida masuk dan keluar (kJ/kg).

Distillation Evaporator (Reboiler)

Karakteristik termal pada reboiler dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$Q_u = \frac{d}{dt} M_{rb} u_{rb} + M_s C_{p,s} \frac{dT_s}{dt} + m_{rb,o} h_{rb,o} - m_{rb,i} h_{rb,i} + (UA)_s (T_a - T_{rb}) \quad (3)$$

Dua suku pertama pada sisi kanan persamaan diatas menunjukkan perubahan energi dalam campuran etanol-air. Dimana M_{rb} adalah masa campuran di boiler (kg), u adalah energi dalam campuran (kJ/kg), C_p adalah kapasitas panas reboiler ($kJ/kg.K$), dan T adalah temperatur ($^{\circ}C$). Suku ketiga dan keempat berhubungan dengan uap yang meninggalkan reboiler dan menuju ke kolom distilasi (subskrip rb,o) dan energi cairan yang mengalir ke reboiler (subskrip rb,i). Suku terakhir menunjukkan

kerugian panas reboiler dimana UA adalah koefisien transfer panas overall (kW/K) dan T_a adalah temperatur ambient/lingkungan ($^{\circ}C$).

Kolom Distilasi (distillation column)

Persamaan karakteristik termal pada kolom distilasi dinyatakan sebagai berikut :

$$m_{l,i} h_{l,i} + m_{v,i} h_{v,i} - m_{l,o} h_{l,o} + m_{v,o} h_{v,o} = (UA)_{dc} (T_{dc} - T_a) + M_{dc} C_{p,dc} \frac{dT_{dc}}{dt} \quad (4)$$

Dimana subskrip l, v, i, o dan dc masing-masing menunjukkan aliran likuid, vapor, inlet, outlet dan distillation column.

Tangki Refluks (Kondensor)

Persamaan laju transfer panas pada kondensor dinyatakan sebagai berikut :

$$Q_{cd} = (UA)_{cd} \frac{(T_{cd,i} - T_{w,o}) - (T_{cd,o} - T_{w,i})}{\ln \left(\frac{T_{cd,i} - T_{w,o}}{T_{cd,o} - T_{w,i}} \right)} \quad (5)$$

Dimana subskrip cd dan w masing-masing menunjukkan campuran etanol-air di dalam kondensor dan air pendingin.

Distillate Tank (tangki produk destilasi)

Laju distilasi (m_d , kg/s) dan konsentrasinya (x_d) secara model matematik dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$M_d^{t+\Delta t} = M_d^t + m_{cd} \Delta t \quad (6)$$

Dan

$$x_d^{t+\Delta t} M_d^{t+\Delta t} = x_d^t M_d^t + x_{cd} m_{cd} \Delta t \quad (7)$$

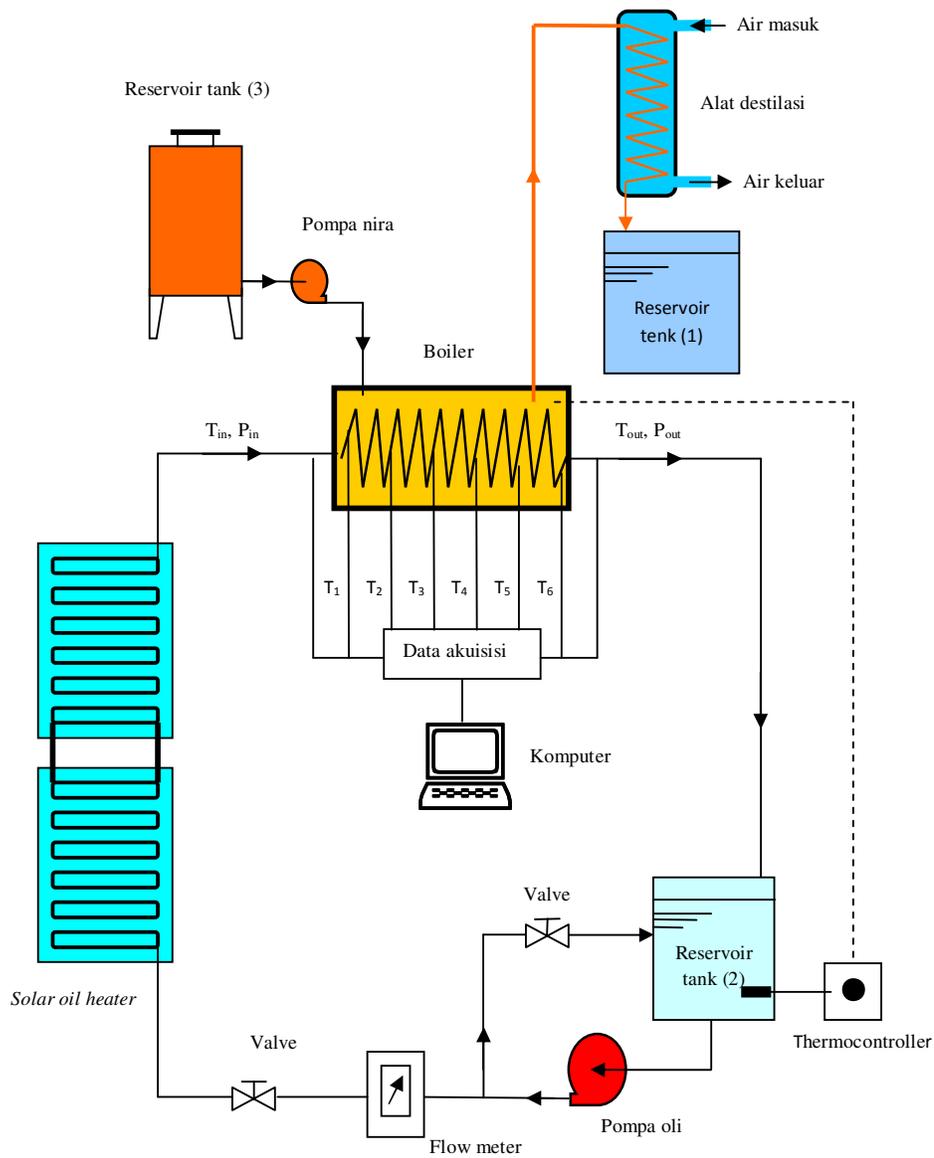
BAHAN DAN ALAT PENELITIAN

Bahan penelitian yang utama untuk proses distilasi adalah cairan nira yang telah difermentasi dan siap untuk dilakukan proses distilasi. Pada uji coba, menggunakan cairan nira dari shorgum manis. Sedangkan alat dan bahan penelitian meliputi :

1. Modul solar oil heater tipe flat plate collector
2. Ethylene glycol
3. Pompa rotary
4. Kolom distilasi
5. Alkoholmeter
6. Pyranometer
7. Tangki penampung
8. Tangki pemanas
9. Termometer
10. Pompa akuarium
11. Ember
12. Selang
13. Pipa Tembaga
14. Etanol 30%

DESAIN PENELITIAN

Analisis energi dan analisis performansi dilakukan baik pada model maupun pada prototipe. Modul solar oil heater dibuat berdasarkan standar ASHRAE. Modul ini digunakan untuk memanaskan etilen glikol yang selanjutnya dimanfaatkan untuk proses distilasi bioetanol. Pengambilan data dilakukan berdasarkan intensitas radiasi matahari, temperatur udara, temperatur etilen glikol, temperatur kolom distilasi, kadar alkohol. Skema pengujian model dan prototipe solar oil heater untuk proses distilasi bioetanol terlihat seperti pada gambar 5 berikut ini.



Komponen alat uji dan fungsinya :

1. Pompa air : mensirkulasikan nanofluida ke dalam seksi uji
2. Valve : untuk mengatur debit aliran
3. Flowmeter : alat untuk mengukur debit etilen glikol
4. Boiler : alat untuk menguapkan bioethanol
5. Alat destilasi : alat untuk mengembunkan bioethanol
6. Reservoir tank 1 : bak penampung bioethanol
7. Reservoir tank 2 : bak penampung etilen glikol
8. Reservoir tank 3 : bak penampung cairan nira
9. Data akuisisi : alat ukur untuk mengukur temperatur
10. Thermocontroller : alat kontrol untuk menjaga temperatur konstan
11. Heater : pemanas etilen glikol tambahan

Gambar 5. Skema *solar oil heater* untuk proses distilasi bioethanol.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini diteliti unjuk kerja kolektor surya plat datar type active closed-loop dengan fluida kerja etilen glikol. Penelitian ini menghitung kemampuan dari kolektor surya dalam menyerap panas radiasi matahari. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini untuk mengetahui besarnya energi yang mampu diserap oleh kolektor surya plat datar dengan fluida kerja etilen glikol. Pengukuran yang dilakukan adalah radiasi matahari, temperatur etilen glikol masuk dan keluar kolektor surya, kadar alkohol dan kapasitas etanol yang dihasilkan. Data-data tersebut kemudian dianalisa untuk menghasilkan kesimpulan yang menjadi tujuan penelitian. Pengambilan data dilakukan di halaman Laboratorium Termodinamika dan Perpindahan Panas seperti terlihat pada gambar 6 berikut ini.



Gambar 6. Kolektor surya untuk distilasi etanol.

Pengukuran Temperatur Dan Intensitas Radiasi Matahari

Pengambilan data dilaksanakan di Laboratorium Perpindahan Panas dan Termodinamika Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta. Waktu pengambilan data adalah hari Jumat 12-11-2010 pukul 09.00-16.00 WIB .

Tabel 1. Radiasi matahari dan temperatur fluida kerja

NO	WAKTU	I_T (W/m ²)	T_1 (°C)	T_2 (°C)
1	09.00	723.6	35.9	35.9
2	09.30	894.5	39.9	47
3	10.00	931.2	45.4	49
4	10.30	976.6	48.3	50.9
5	11.00	1043.2	58	60.4
6	11.30	212.6	59	59.2
7	12.00	983.9	58.1	70.4
8	12.30	923.5	55.3	72.2
9	13.00	808.3	51.8	72.3
10	13.30	798.8	48.4	73.5
11	14.00	741.5	44.7	71.5
12	14.30	628.5	55	65
13	15.00	212.8	45	47
14	15.30	135.38	38	25.1
16	16.00	65.43	38	31.7

Keterangan : I_T = Intensitas Radiasi Matahari, T_1 = Temperatur Masuk Kolektor, T_2 = Temperatur Keluar Kolektor

Dari tabel 1 terlihat bahwa nilai radiasi matahari berfluktuasi. Nilai terbesar terjadi pada pukul 11.00 yaitu 1043.2W/m² setengah jam kemudian nilainya turun menjadi 212.6 W/m², hal ini karena pada saat itu langit mendung. Kendala utama yang dihadapi dalam penelitian ini adalah cuaca yang sulit diprediksi sehingga data yang diperoleh belum optimal. Temperatur maksimal ethylene glycol yang dihasilkan sebesar 72oC pada intensitas radiasi rata-rata 2,98 kW jam/m². Untuk mengatasi cuaca mendung dan keterbatasan penyerapan intensitas radiasi matahari dalam kolektor termal, maka digunakan auxillary heater untuk memanaskan ethylene glycol. Pipa dari bahan tembaga dengan diameter 3/8 inci dan panjang total 10,13 m. Sedangkan volume ethylene glycol yang disirkulasikan sebesar 15 liter. Berdasarkan data tersebut kalor yang mampu diserap oleh solar collector adalah 1667.6 kJ dan efisiensi solar kolektor adalah 12%.

Proses Distilasi

Panas dari kolektor surya kemudian digunakan untuk menguapkan etanol. Uap etanol kemudian masuk ke dalam kolom distilasi, setelah itu didinginkan dengan kondensor. Apabila kadar alkohol masih rendah kemudian dilakukan proses reflux, dimana etanol dialirkan kembali kedalam kolom distilasi. Berdasarkan hasil pengujian maka kpsitas etanol yang dihasilkan adalah 0.3 liter/jam dengan konsentrasi 96%. Kolom distilasi etanol dapat dilihat pada gambar 7 berikut ini.



Gambar 7. Kolom distilasi

KESIMPULAN

1. Temperatur maksimum ethylene glykol adalah 72°C.
2. Kalor yang mampu diserap kolektor surya adalah 1667,6 kJ.
3. Efisiensi kolektor surya adalah 12%.
4. Kapasitas produksi etanol adalah 0,3 liter/jam
5. Etanol yang dihasilkan memiliki kadar alkohol 96%.

SARAN

1. Perlu diatasi kebocoran panas pada tangki penampung dengan menutup rapat tangki penampung menggunakan isolator panas.
2. Kompor pemanas diperbesar sehingga saat cuaca mendung mampu memenuhi kebutuhan panas.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2009, *Standar Operating Procedure (SOP), Pabrik Bioetanol Berbasis Sorghum Kapasitas 400 L/Hari*, CV. Wahana Limas Perkasa DJLPE-DESDM, Desa Kenteng, Purwantoro, Wonogiri.
- Duffie, J.A., dan Beckman, W.A., 1991, *Solar Engineering of Thermal Processes*, John Wiley and Sons, New York.
- Budiono, C., 2003, *Tantangan dan Peluang Usaha Pengembangan Sistem Energi Terbarukan di Indonesia*, Konvensi Kelistrikan Indonesia, Jakarta.
- Incropera dan DeWitt, 1990, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, third edition, John Wiley and Sons, Singapore.
- Jorapur, R.M., dan Rajvanshi, A.K., 1991, *Alcohol Distillation by Solar Energy*, ISES Solar World Congress Proceedings, Vol. I, Part II, Pergamon Press, pp. 772-777.
- Kristiawan, dkk., 2004, *Analisis Performansi Model Pengering Gabah Pompa Kalor*, Majalah Ilmiah Teknik Mekanika, ISSN : 1412-7962.
- Kristiawan, dkk., 2008, *Sistem Integral HPT Collector untuk Proses Pengeringan Kayu di Indonesia*, Potret Hasil Karya Iptek, Dies Natalis UNS XXXII, Surakarta, ISBN : 979-498-401-9.
- Kristiawan, dkk., 2009, *Pembuatan Unit Produksi Ethanol Kapasitas 100 Liter/Hari di Desa Mojolaban Kecamatan Mojolaban Kabupaten Sukoharjo Sebagai bahan Baku Ethanol Berkadar Tinggi*, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Suyitno, Kristiawan, dan Dyartanti, 2008, *Penelitian dan Pemanfaatan produk Bioethanol*, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret.
- Vorayos, et.al., _____, *Performance Analysis of Solar Ethanol Distillation*, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University, Thailand.