

Rekayasa Teknologi Alat Pengolahan Bioetanol dari Nira Aren

A. Lay

Balai Penelitian Tanaman Kelapa dan Palma Lain, Manado
Jalan Raya Mapanget, Kotak Pos 1004 Manado 95001

Diterima 5 Oktober 2009 / Direvisi 2 November 2009 / Disetujui 1 Desember 2009

ABSTRAK

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium dan Bengkel Rekayasa Balai Penelitian Tanaman Kelapa dan Palma Lain Manado dari bulan Mei sampai September 2009. Kegiatan penelitian terdiri dari perancangan alat pengolahan bioetanol, pengujian dan penggunaan produk bioetanol sebagai bahan bakar mesin. Pengamatan terdiri dari karakteristik bahan olah, kondisi fisik dan sistem unit proses, neraca massa dan analisis ekonomi pengolahan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan alat pengolahan bioetanol berupa destilator-dehidrator sistem sinambung dapat meningkatkan kadar etanol bahan baku dari 13-30% menjadi 80-94%, dan kadar 83% meningkat menjadi 95-97%. Neraca massa produk etanol beragam tergantung pada kondisi bahan olah dan suhu pemanasan selama pengolahan. Etanol kadar 97% dapat digunakan sebagai bahan bakar mesin dengan rasio bensin alkohol 90:10. Penggunaan bahan bakar campuran bensin bioetanol menghemat penggunaan bahan bakar sebesar 12,5 - 29,0% dibanding dengan bahan bakar bensin. Secara ekonomi, pengolahan bioetanol dari etanol kadar 25-35% untuk menghasilkan etanol kadar 90-95% adalah menguntungkan. Alat pengolahan bioetanol adalah efisien digunakan pada skala kelompok tani dan skala industri kecil-menengah.

Kata kunci : Rekayasa teknologi, pengolahan, nira aren, bioetanol.

ABSTRACT

Engineering Design of Bioethanol Processing Machine from Palm Neera

The research was conducted in Laboratory and engineering workshop of Indonesian Coconut and Palmae Research Institute, Manado from May to September 2009. The activities consisted of Bioethanol processing equipment, field testing of bioethanol product as machine fuel engine. Raw material characteristics (crude ethanol), material balance, physical conditions and processing system of unit processes and economically processing analysis were observed. Research result showed that use of bioethanol equipment could improved ethanol content of crude ethanol from 13-30% to 80-94% and from 83% to 95-97%. Mass balance varied and depended on characteristic of crude ethanol and heating process. Ethanol 97% could be used as machine engine with ratio of gasoline and ethanol 90:10. Use of bioethanol and gasoline blend can be used more efficient 12.5-29.0% than use of gasoline. Processing of crude ethanol 25-35% to produce ethanol 90-95% is profitable. The bioethanol equipment efficient to be used under farmer scale and medium industries scale.

Keywords: Engineering design, processing, palm neera, bioethanol.

PENDAHULUAN

Pengolahan nira aren menjadi etanol sudah umum dilakukan petani aren, antara lain di daerah Minahasa Sulawesi Utara, dengan cara menampung nira hasil sadapan dalam tangki selama 2-3 hari tanpa menggunakan stater atau ragi, nira hasil fermentasi kemudian disuling dengan alat penyulingan sederhana, akan menghasilkan bioetanol berkadar 25-35% etanol (Lay *et al.*, 2004). Untuk meningkatkan kadar etanol menjadi 99,5-99,8% dengan cara dehidrasi (Tjokoroadikoesoemo, 1986).

Bioetanol yang digunakan sebagai bahan bakar dalam bentuk campuran bioetanol dengan bensin adalah bioetanol dengan kadar etanol 99,5% atau lebih atau bioetanol *anhidrat* (Hambali *et al.*, 2008). Bioetanol *anhidrat* yang digunakan sebagai bahan bakar lebih populer dengan sebutan *Fuel Grade Ethanol* atau FGE (Prihandana *et al.*, 2006).

Keuntungan penggunaan bioetanol sebagai bahan bakar adalah memiliki nilai oktan lebih tinggi dari bensin, dapat digunakan dalam bentuk murni dan campuran dengan bensin, mudah terurai dalam air dan ramah lingkungan, sehingga merupakan bahan bakar alternatif yang potensial untuk dikembangkan (Anonim, 2005).

Dalam industri bioetanol umumnya digunakan sebagai bahan baku industri alkohol, campuran untuk minuman keras, bahan farmasi, dan kosmetika. Bioetanol telah dimanfaatkan sebagai bahan bakar substitusi BBM untuk motor bensin. Umumnya penggunaan bioetanol masih dalam bentuk campuran dengan bensin pada konsentrasi 10% (E10), yaitu 10% bioetanol dan 90% bensin, bahan

bakar ini dikenal sebagai Gasohol (Hambali *et al.*, 2008).

Campuran bioetanol (5%) dengan bensin (95%) telah dikomersialkan oleh Pertamina dengan nama dagang Pertamax. Tahun 2008, harga Pertamax pada beberapa SPBU di Pulau Jawa dan Sumatera, cukup tinggi, yakni Rp. 6.500-6.850/liter (Prihandana *et al.*, 2008). Di Manado Sulawesi Utara, harga Bensin Premium pada bulan November 2009 adalah Rp. 4.500/liter, sedangkan Pertamax sebesar Rp. 9.100/liter. Harga Pertamax yang cukup tinggi, akan mendorong pengembangan usaha pengolahan bioetanol yang dikategorikan FGE.

Pemanfaatan bioetanol tidak hanya sebagai substitusi energi minyak bumi yang makin terbatas, tetapi akan dapat mempercepat pengurangan pengangguran dan kemiskinan. Pengembangan tanaman bahan bakar nabati dapat mendorong peningkatan nilai tambah komoditas dan peningkatan pendapatan petani (Prihandana *et al.*, 2006).

Permasalahan menonjol dalam pengolahan bioetanol, antara lain: (a) pengendalian suhu pemanasan pada proses destilasi untuk menghasilkan etanol berkadar 70-95% dan, (b) teknik proses dehidrasi untuk menghasilkan bioetanol yang dikategorikan FGE, dengan hidrat yang dapat digunakan berulang (*recycle*) untuk waktu lama, dan (c) terbatasnya unit proses bioetanol seperti destilator dan dehidrator dengan kondisi operasi yang optimal, biaya relatif murah dan praktis dioperasikan.

Penelitian bertujuan untuk mendapatkan teknologi pengolahan bioetanol yang praktis diaplikasikan kelompok tani dan industri skala menengah, serta produk bioetanol yang dihasilkan dapat digunakan sebagai bahan bakar.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan pada bulan Mei sampai September 2009, di Laboratorium dan Bengkel Rekayasa Alat, Balai Penelitian Tanaman Kelapa dan Palma Lain Manado.

Dalam penelitian ini, bahan olah etanol yang digunakan adalah etanol hasil fermentasi dan destilasi konvensional nira aren kadar etanol 13-30% yang berasal dari petani Desa Kuwil, Kecamatan Kalawat Kabupaten Minahasa Utara. Bahan adsorpsi air dari larutan etanol atau hidrat yang digunakan adalah Zeolit alam dan saringan molekuler impor, dan bahan penunjang lainnya.

Penelitian menggunakan metode observasi terhadap desain dari masing-masing unit proses alat pengolahan bioetanol, karakteristik bahan olah dan hasil olah. Kegiatan yang diobservasi terdiri dari:

- a. Desain dan fungsi unit proses serta komponen peralatan dari alat pengolahan bioetanol sebagai berikut:
 - Tangki penguapan terbuat dari pelat Stainless steel 1,5 mm, dengan volume maksimum 100 liter, dilengkapi corong pemasukan bahan olah dan pengeluaran sisa hasil proses, termo-kopel dan pressure-gauge. Bahan bakar untuk pemanasan tangki dapat berasal dari kompor manual, kompor pompa dan sumber panas lainnya.
 - Destilator dengan pengaliran air destilasi menggunakan sistem bulu atau cangkang (Bernasconi *et al.*, 1995). Destilator terdiri dari Destilator I dan Destilator II, terbuat dari pipa stainless steel diameter 4 inci dan panjang masing-masing 140 dan 120 cm. Destilator berfungsi

merubah alkohol dalam bentuk uap menjadi cair. Destilator I, dilengkapi termo-kopel, pipa pengeluaran alkohol hasil destilasi, pemasukan dan pengeluaran air destilasi, air destilasi berasal dari air sumur atau air keran. Destilator II; rancangannya sama dengan destilator I, hanya fungsinya sebagai pendingin etanol yang berasal dari destilator I.

- Dehidrator; terbuat dari pipa stainless steel diameter 4 inci, panjang 100 cm. Dalam pipa dehidrator terdapat ruang penampung hidrat, kapasitas 6,3 - 6,5 kg. Hidrat yang digunakan pada penelitian adalah zeolit alam dan saringan molekuler impor, dengan penggunaan hidrat pada dehidrator dilakukan secara bergantian. Proses regenerasi hidrat dilakukan diluar unit proses dengan menggunakan oven pada suhu spesifik regenerasi hidrat, yakni zeolit alam 120°-125°C dan saringan molekuler impor 200 - 220°C (Bernasconi *et al.*, 1995).
 - Rangka dudukan alat; terbuat dari besi siku berlubang 4 x 4 cm, berfungsi sebagai penahan tegak dan kestabilan posisi alat, terutama untuk kondisi operasional pengolahan dan pemasangan peralatan sebelum pengolahan.
- b. Pengujian alat: Dilakukan pengamatan terhadap kinerja masing-masing unit proses selama pengolahan bioetanol, yakni:
 - Tangki penguapan; kondisi bahan olah (volume etanol, kadar etanol, kadar gula dan pH), kondisi bahan sisa proses (volume etanol, kadar etanol, kadar gula dan pH), suhu pemasakkan dan konsumsi bahan

bakar selama pemanasan campuran air-etanol.

- Destilator; suhu destilasi, debit air destilasi, dan produk hasil destilasi (volume etanol, kadar etanol, kadar gula dan pH).
 - Dehidrator; suhu dehidrasi, dan produk hasil dehidrasi (volume etanol, kadar etanol, kadar gula dan pH) dan daya adsorpsi hidrat terhadap air dan etanol.
- c. Analisis neraca massa dan analisis ekonomi penggunaan alat. Analisis neraca massa didasarkan pada kondisi bahan olah dan produk akhir bioetanol. Analisis ekonomi pengolahan didasarkan pada investasi (perkiraan biaya pembuatan alat dan bangunan pengolahan), harga bahan baku, harga produk, upah dan tingkat bunga yang berlaku, pendapatan kotor dan pendapatan bersih.
- d. Penggunaan bioetanol sebagai bahan bakar: Produk bioetanol dengan kadar etanol tertinggi dicampurkan dengan bensin untuk digunakan sebagai bahan bakar mesin. Bahan bakar yang diuji adalah campuran bensin-bioetanol dengan perbandingan: 100:0; 90:10 dan 80:20. Mesin yang digunakan adalah mesin siklus 2 langkah (2 Tak) dan siklus 4 langkah (4 Tak). Pengamatan meliputi konsumsi bahan bakar dan keadaan visual mesin selama operasi pada kondisi stasioner.
- e. Analisis data pengolahan bioetanol, didasarkan pada hasil pengamatan dari masing-masing unit proses (tangki masak, destilator, dehidrator), kondisi bahan olah, produk yang dihasilkan dan bahan sisa proses serta penggunaan bioetanol sebagai bahan

bakar mesin, yang didasarkan pada data hasil pengamatan.

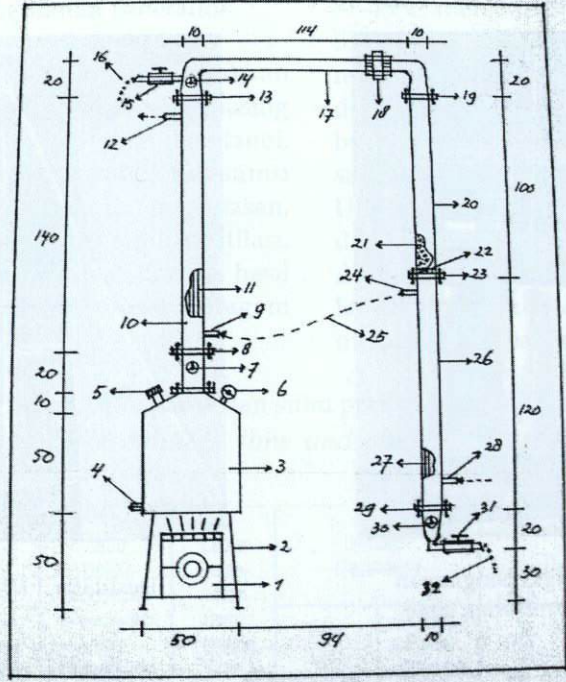
HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain Alat Pengolahan Bioetanol

Unit proses alat pengolahan bioetanol, terdiri dari: tangki penguapan, destilator I, destilator II, dehidrator. Unit-unit proses dirancang secara kompak, sehingga mulai dari proses pemanasan bahan bahan olah, destilasi, dehidrasi sampai produk akhir berlangsung secara kontinu (Gambar 1 dan 2).

Umumnya alat pengolahan bioetanol yang diintroduksi sekarang ini, unit destilator terpisah dengan unit dehidrator, sehingga proses pengolahan kurang efektif. Menurut Fornoff (1981) untuk mengolah bioetanol sebagai bahan bakar (*Gasohol*), perlu dirancang alat pengolahan bioetanol yang terpadu antar tangki penguapan, destilator dan dehidrator, dengan suhu terkontrol.

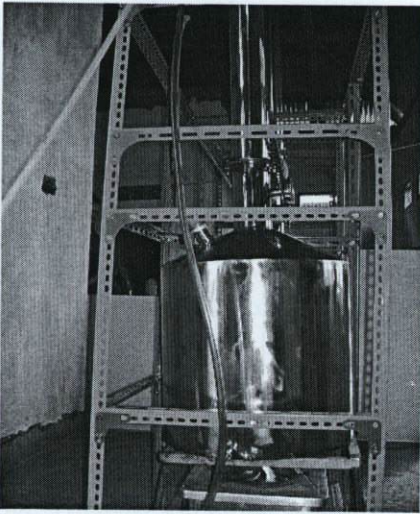
Prinsip rancangan alat pengolahan bioetanol model Fornoff (1981) relatif sama dengan alat pengolahan bioetanol pada penelitian ini, yang membedakan dengan model Fornoff, adalah menggunakan tangki penguapan, destilator dan dehidrator sistem ganda, dan dilengkapi unit proses regenerasi hidrat, kapasitas olah besar (1000 liter/jam). Tipe alat ini, ditujukan untuk pengolahan bioetanol skala industri besar. Sebaliknya alat pengolahan bioetanol pada penelitian ini, menggunakan tangki penguapan, destilator dan dehidrator sistem tunggal, belum dilengkapi unit regenerasi hidrat, kapasitas olah kecil (25 liter bioetanol/periode proses), yang penggunaannya lebih sesuai untuk kelompok tani atau industri skala kecil-menengah.



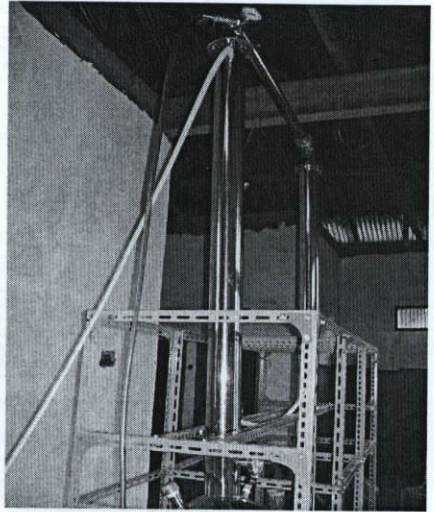
Gambar 1. Design alat pengolahan bioetanol.
 Figure 1. Design of bioethanol processing unit.

Keterangan (Note) :

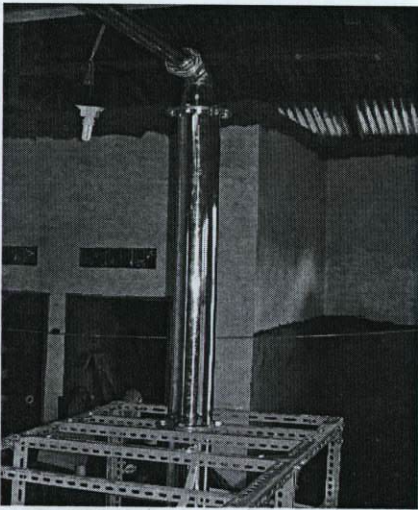
- | | |
|--|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Kompor/tungku pemanas (Oil-stove) 2. Dudukan tangki (Saddle) 3. Tangki penguapan (Evaporating tank) 4. Corong pengeluaran sisa proses (Funnel material residue) 5. Corong pemasukan bahan olah (Hopper crude ethanol) 6. Pengukur tekanan (Pressure gauge) 7. Thermo-kopel tangki (Evaporating tank thermo-couple) 8. Plans tangki-distilator (Distillator-Evaporating tank plans) 9. Pipa pemasukan air destilasi 1 (Inlet pipe water distillation 1) 10. Distilator 1 (Distillator 1) 11. Pipa pembuluh destilator 1 (Pipe flows destillated 1 ethanol) 12. Pipa pengeluaran air destilasi 1 (Pipe flows destillated 1 ethanol) 13. Plans destilator-dehidrator (Distillator-dehydrator plans) 14. termo-kopel destilasi (Distillator-Thermo-coupple) 15. Stop kran pengeluaran hasil destilasi (Cock control destillated ethanol) 16. Etanol hasil destilasi (Destillated ethanol) 17. Pipa penghubung destilator dehidrator (Connector pipe destillator-dehydrator) 18. Mur penghubung pipa (Pipe union) 19. Plans pipa penghubung dehidrator (Pipe union-dehydrator plans) | <ol style="list-style-type: none"> 20. Dehidrator (Dehydrator) 21. Hidrat atau saringan molekuler (Hydrate or Molekuler sieve) 22. Penahan hidrat (Fixed weir hydrate) 23. Plans dehidrator-distilator (Dehydrator-distillator plans) 24. Pipa pengeluaran air destilasi 2 (Pipe outlet water distillation 2). 25. Pipa alir destilasi 2 (Pipe flow distillation 2) 26. Distilator 2 (Distillator 2) 27. Pipa pembuluh destilator 2 (Pipe flows destillator 2) 28. Pipa pemasukan air destilasi 2 (Pipe inlet water distillation 2) 29. Plans 5 destilator 2-pipa destilat (Distillator 2-pipe destillated plans). 30. Thermo-kopel destilator 2 (Distillator 2-thermo-coupple) 31. Stop keran dehidrat etanol (Cock control dehydrat ethanol). 32. Etanol hasil dehidrasi (Dehydrated ethanol) |
|--|--|



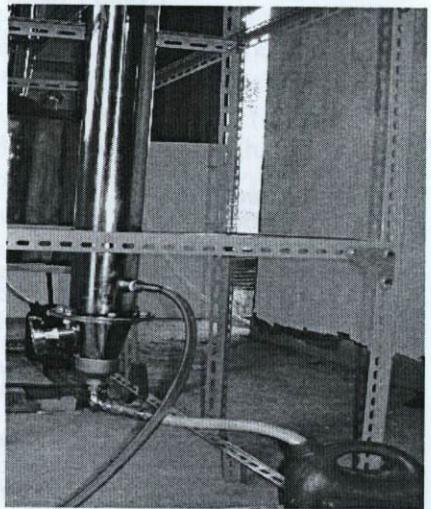
Tungku dan tangki penguapan
(Oilstove and evaporating tank)



Destilator 1 (Destillator 1)



Dehidrator (Dehydrator)



Destilator 2 (Destillator 2)

Gambar 2. Unit proses pengolahan bioetanol.
Figure 2. Bioethanol processing unit.

Kinerja Alat Pengolahan Bioetanol

Pada pengujian alat menunjukkan bahwa kondisi fisik dari masing-masing unit proses alat pengolahan bioetanol, beroperasi secara normal. Konsumsi minyak tanah dan lama pemanasan, suhu tangki penguapan, suhu destilasi, suhu dehidrasi, kondisi bahan olah, hasil olah dan bahan sisa proses beragam antar pengujian (Tabel 1).

37-45°C menjadi 75-81°C, untuk etanol 83% dari suhu 40°C menjadi 80°C. Waktu menetesnya etanol pada dehidrator dengan suhu berkisar 31-57%, dan membutuhkan waktu sekitar 15-30 menit setelah etanol menetes pada destilator I. Untuk kestabilan suhu ketel penguapan dan suhu pada destilasi I, maka debit air destilasi sebesar 20-25 liter/jam. Peningkatan debit air akan memperlambat mendidihnya bahan olah, debit air yang

Tabel 1. Kondisi bahan baku, lama dan suhu pemanasan pada pengolahan bioetanol.
Table 1. Raw material condition, time and temperature heating on bioethanol processing.

No	Bahan olah Raw material		Suhu tangki penguapan Evaporating tank temperature (°C)	Lama Pemanasan (jam) Heating time (hours)	Destilasi Distillation		Dehidrasi Dehydration		Penggunaan hidrat Usage hydrate
	Volume Volume (liter)	Kadar Etanol Ethanol content (%)			Suhu Temperature (°C)	Kadar Etanol Ethanol content (%)	Suhu Temperature (°C)	Kadar Etanol Ethanol content (%)	
1.	24	25	85-95	8.0	81-85	80	32,50-34	93	Zeolit alam belum regenerasi
2.	45	30	84,50-92,50	9.0	81-83	92	31-34	94	Zeolit alam Regenerasi I
3.	37	30	84,50-89	7.0	84,50-85	90	31-33,5	90	Zeolit alam Regenerasi II
4.	48	13	91-98	4.5	81-90	83	31,50-34	80	Tanpa menggunakan hidrat
5.	12	83	82-85	3.0	80-81	92-93,50	32,50-57	95-97	Saringan Molekuler Impor

Keterangan (Note):

- Lama pemanasan adalah waktu pengolahan etanol kasar menjadi etanol. (Heating time is processing time for crude ethanol to produce ethanol).
- Suhu tangki penguapan adalah suhu yang mendidih sampai selesai pengolahan. (Evaporating tank temperature is boiling temperature was finished process).
- Suhu destilasi adalah suhu yang ditunjukkan pada thermo-kopple destilator I. (Distillation temperature is temperature show that on destillator thermo-couple).
- Suhu dehidrasi adalah suhu yang ditunjukkan pada termo-kopel dehidrator. (Dehydration temperature is temperature shown that on destillator thermo-couple).

Proses menetesnya alkohol pada destilator I ditandai dengan suhu pada thermo-kopple destilator I, mengalami peningkatan yang menonjol yaitu untuk bahan olah etanol 13-30% dari suhu

rendah akan meningkatkan suhu destilasi, yang berdampak menguapnya etanol yang mengandung air cukup tinggi.

Penggunaan alat pengolahan bioetanol dengan bahan olah alkohol kadar 25-30% berlangsung sesuai prosedur, ditandai proses pengolahan berlangsung lancar. Namun untuk efektif pengolahan, diperlukan penambahan panjang pipa tangki masak, agar perubahan debit air relatif kurang berpengaruh terhadap suhu tangki penguapan, ukuran panjang destilator perlu diperpanjang agar etanol hasil destilasi suhunya rendah, agar mengurangi penguapan etanol pada corong pengeluaran.

Penggunaan hidrat zeolit sebelum regenerasi sampai regenerasi I terjadi peningkatan kadar alkohol cukup tinggi yakni 2-13%, sedangkan pada regenerasi II peningkatan kadar alkohol menurun menjadi 1%. Penggunaan hidrat saringan molekuler impor regenerasi II dapat meningkatkan kadar alkohol bahan olah dari 83% menjadi 92-93% pada hasil destilasi I dan 95-97%, pada hasil dehidrasi. Bahan sisa proses masih mengandung alkohol berkisar 5-18%. Bahan sisa proses dengan kadar etanol rata-rata 13%, yang diproses ulang menghasilkan etanol kadar 80-83%, walaupun tanpa menggunakan hidrat.

Penggunaan hidrat saringan molekuler impor mempunyai kemampuan dapat meningkatkan kadar etanol sampai 97%, walaupun jumlah saringan molekuler impor yang tersedia relatif terbatas, yakni 3,6 kg, sedangkan kapasitas terpasang hidrator sekitar 6,3 kg. Pengolahan bioetanol pada penelitian ini, dengan proses regenasi hidrat menggunakan oven sehingga etanol yang diserap hidrat dalam proses pemanasan akan menguap dan terbuang ke udara (*losses product*).

Penggunaan dehidrator tanpa hidrat mengalami penurunan kadar etanol sebesar 3%, yaitu dari 83% men-

jadi 80%. Penurunan kadar etanol dari proses destilasi ke proses hidrasi disebabkan etanol yang keluar pada destilator I adalah fraksi mudah menguap karena kadar etanol lebih tinggi (Bernasconi *et al.*, 1995).

Pada proses destilasi-dehidrasi berakhir ditandai dengan menetesnya cairan hasil destilasi-dehidrasi sangat lambat atau berhenti. Bahan sisa proses yang terdapat dalam tangki penguapan, masih mengandung etanol, jika akan didestilasi untuk menghasilkan bioetanol berkadar cukup tinggi, sebaiknya dilakukan pada unit pengolahan tersendiri, seperti destilasi sistem tunggal skala laboratorium, karena sisa-sisa uap air bahan sisa proses akan melekat pada dinding pipa unit proses yang dapat menurunkan kadar etanol.

Dalam upaya meningkatkan kadar etanol bahan olah menjadi hasil olah dengan kadar 99,5% atau lebih, perlu dirancang alat destilator-dehidrator dengan dehidrator ganda kapasitas terpasang masing-masing 10-10,5 kg hidrat. Selain itu, diperlukan tambahan unit pompa vakum dan unit pemanas untuk mempercepat proses penguapan etanol dari hidrat, dan regenerasi hidrat berlangsung dalam unit proses agar etanol yang diuapkan dari proses regenerasi tidak terbuang, tetapi dapat diproses ulang.

Dilaporkan bahwa pengolahan bioetanol dengan menggunakan destilator sistem tunggal skala laboratorium, dengan proses destilasi bertingkat (dua kali proses destilasi) menghasilkan bioetanol dengan kadar 69,2-89,1% (Anonim, 2008). Dibanding alat pengolahan bioetanol destilator sistem tunggal skala laboratorium dengan destilator-dehidrator sistem sinambung, kinerja alat pengolahan bioetanol dengan destilator-

dehidrator sistem sinambung dapat dikategorikan lebih efektif, yang ditandai pengolahan etanol kadar 25-30% dengan satu kali proses destilasi-dehidrasi menghasilkan bioetanol 90-94%. Selain itu, alat destilator sistem tunggal akan sulit memperoleh bioetanol kadar 95-97%, karena pada tangki masak tidak terdapat kontrol suhu dan tidak tersedia unit dehidrator.

Proses destilasi bertingkat akan menggunakan banyak energi panas dan waktu proses lebih lama (Bernasconi *et al.*, 1995). Penggunaan hidrator dengan saringan molekuler 3 Å (hidrat yang mempunyai kemampuan tinggi untuk mengadsorpsi air dari etanol, namun tidak menyerap etanol) akan membantu proses peningkatan kadar etanol dengan tanpa atau hanya menggunakan energi relatif sedikit dengan waktu cukup singkat (Fornoff, 1981).

perlahan akan dilepas dan bercampur dengan etanol, sebaliknya hidrat zeolit sintetis 3 Å, air akan terikat kuat (Bustaman, 2008), namun untuk pemisahan air dari hidrat zeolit sintetis 3 Å yang diadsorpsi selama proses dehidrasi, hanya dapat dilakukan dengan proses regenerasi pada suhu 200-205°C (Bernasconi *et al.*, 1995).

Neraca massa

Neraca massa bahan baku dan produk hasil olahan, tergantung kondisi bahan baku, suhu pemanasan dan lama pemanasan. Keragaman bahan olah dan penggunaan hidrat menyebabkan keragaman produk-produk yang dihasilkan (Tabel 2).

Tabel 2. Bahan baku dan hasil pada pengolahan bioetanol.
Table 2. Raw material and yields of bioethanol processing.

No.	Bahan baku Raw material		Produk hasil destilasi Distillated product		Produk hasil dehidrasi Dehydrated product		Bahan sisa proses Residue processed		Kehilangan hasil Product losses (%)
	Volume Volume (liter)	Kadar Etanol Ethanol content (%)	Volume Volume (liter)	Kadar Etanol Ethanol content (%)	Volume Volume (liter)	Kadar Etanol Ethanol content (%)	Volume Volume (liter)	Kadar Etanol Ethanol content (%)	
1.	24	25	1,70	80	2,40	93	18,40	10,00	5,10
2.	45	30	3,30	92	4,70	94	34,20	10,00	6,40
3.	37	30	2,60	90	3,00	90	29,30	15,00	5,90
4.	48	13	0,60	83	0,90	80	40,30	5,00	0,40
5.	12	83	8,80	92-93,50	1,20	95-97	1,50	18,00	4,20

Penggunaan hidrat zeolit alam pada proses dehidrasi mempunyai kelemahan, yakni air yang diserap secara

Neraca massa pengolahan bioetanol dapat dibagi menjadi tiga kelompok, yakni:

- (a) Kelompok 1 : 48 liter bioetanol kasar kadar 13% didestilasi tanpa dehidrasi menghasilkan 1,5 liter bioetanol 80%. Penggunaan alat pengolahan bioetanol ini, kurang efektif karena prosentase bioetanol dari bahan olah dengan kadar etanol yang rendah (13%).
- (b) Kelompok 2: 106 liter bioetanol kadar 25-30% didestilasi dan dihidrasi dengan hidrat zeolit alam menghasilkan 7,6 liter bioetanol 80%, dan 8,0 liter bioetanol 92-94%. Penggunaan alat pengolahan bioetanol pada kelompok 2 adalah cukup efektif, ditandai prosentase produk bioetanol terhadap bahan olah masing-masing 7,17% bioetanol untuk kadar 80%, dan 7,55% bioetanol kadar 92-94%.
- (c). Kelompok 3: 12 liter bioetanol 83% didestilasi dan dihidrasi dengan hidrat saringan molekuler impor, menghasilkan 8,8 liter bioetanol 92-93,5% dan 1,2 liter bioetanol 95-97%. Penggunaan alat pengolahan bioetanol pada kelompok 3 adalah efektif, karena prosentase bioetanol dengan prosentase produk bioetanol terhadap bahan olah masing-masing 73,33% bioetanol 92-93,5%, dan 11,67% bioetanol 95-97%.

Dengan demikian, untuk menghasilkan bioetanol 80-90%, dengan bahan olah etanol 13-30%, diproses pada alat pengolahan bioetanol destilator-dehidrator sistem sinambung dengan hidrat zeolit alam, cukup satu kali proses pengolahan. Untuk menghasilkan bioetanol 95-97% dengan hidrat saringan molekuler impor untuk kondisi bahan olah yang sama, membutuhkan dua kali proses pengolahan.

Kehilangan hasil yang terjadi pada proses pengolahan bioetanol pada uji

No. 1, 2 dan 3, yang menggunakan hidrat zeolit alam cukup besar, yakni berkisar 5,1-6,4%. Pada uji No. 4, kehilangan hasil sangat kecil (0,4%) karena tidak menggunakan hidrat, namun bioetanol yang dihasilkan kadarnya rendah (80%). Selanjutnya uji No. 5, dengan menggunakan hidrat saringan molekuler impor (sejenis zeolit sintetis 3 Å), kehilangan hasil relatif kecil (4,2%) dibanding menggunakan hidrat zeolit alam. Dengan demikian, penggunaan hidrat saringan molekuler impor lebih efektif dibanding zeolit alam.

Penggunaan hidrat zeolit sintetis 3 Å mempunyai keunggulan, yakni kehilangan hasil kehilangan etanol dalam proses dehidrasi hanya 10%, tetapi hidrat zeolit sintetis 3 Å harganya mahal, sehingga penggunaannya lebih cocok untuk usaha skala besar (Bustaman, 2008). Perbedaan kehilangan hasil pada penggunaan hidrat sejenis pada proses dehidrasi, diduga adanya perbedaan kondisi bahan olah dan unit proses yang digunakan pada pengolahan bioetanol.

Hasil analisis biaya (Tabel 3) menunjukkan bahwa pengolahan etanol 30% sebanyak 36.000 liter/tahun akan menghasilkan etanol 90% sebanyak 1020 liter dan 7284 etanol 95-96%, akan diperoleh pendapatan bersih sebesar Rp. 11.940.000,-/tahun. Apabila usaha pengolahan ditangani satu keluarga/kelompok tani, maka pendapatan setahun adalah pendapatan bersih ditambah upah kerja selama 12 bulan : $(Rp. 11.140.000) + (Rp. 3.000.000 \times 12) = Rp. 47.940.000,-$. Total pendapatan ini, menguntungkan bagi keluarga/kelompok tani.

Harga jual alkohol 97% setara dengan alkohol 95-96%, yakni Rp. 42.500/liter. Dilaporkan Prihandana *et al.* (2008) bahwa harga jual *Pertamax* (perban-

dingan bensin : etanol = 90:10) tahun 2008, di Sumatera Utara, Riau dan Sumatera Barat adalah Rp. 6.850/liter. Harga kompo-nen etanol absolut dari Pertamina = $[(Rp. 6.850) - (0,9 \times Rp. 4.500)] \times 10 = Rp. 28.000/\text{liter}$ (termasuk biaya penanganan proses produksi dan distribusi), jika dibanding-kan harga komponen etanol pada Pertamina, maka harga etanol dari nira aren sebagai bahan olah untuk menghasilkan FGE, dengan kondisi harga yang demikian belum menguntungkan, karena harga jual etanol kadar 25,0 - 30,0% berkisar Rp. 8.000 - Rp.10.000/liter.

harga komponen etanol pada Pertamina dengan harga etanol 97% (Rp. 42.500/liter), cukup menguntungkan dengan nilai tambah FGE terhadap etanol kasar adalah Rp. 8.000/liter.

Pada pengolahan bioetanol perlu mempertimbangkan nilai konversi etanol kasar (kadar etanol 13-30%) menjadi etanol berkadar tinggi atau etanol hidrat (90-96%) dan etanol anhidrat (kadar 99,5% atau lebih), dikaitkan dengan harga produk dipasaran. Secara teknis produk etanol anhidrat dapat diproduksi, namun jika secara ekonomi lebih

Tabel 3. Analisis ekonomi pengolahan bioetanol.
Table 3. Cost analysis of bioethanol processing.

No.	Uraian (Items)	Nilai (Value) (Rp)
a.	Investasi / Investment	
	- Alat destilator – dehidrator 1 unit / Destillator – Dehydrator equipment 1 unit	1.500.000,-
	- Alat destilator tunggal / Single destillator equipment	500.000,-
	- Alat pembantu (jerigen, botol, Tangki penampung alkohol 30%, kompor pompa)	1.000.000,-
	- Additional tools (Jerken, bottle, tank for collectiong alcohol, oilstove pump).	
	- Bangunan pengolahan / Processing building	1500.000,-
	Jumlah / Total (a)	18.000.000,-
b.	Biaya tetao 10% investasi/tahun / Annual fixed cost 10% investment	1.800.000,-
c.	Biaya operasi (bulan) / Monthly operational cost	
	- 3000 liter alkohol 30%, @ Rp. 7.000,- / 3000 litres alcohol 30% @ Rp. 70.000,-	21.000.000,-
	- Upah kerja 60 OH @ Rp. 50.000,- / Salary for sixty days @ Rp. 50.000,-	3.000.000,-
	- 360 liter minyak tanah / 360 litres kersasine	1.440.000,-
	- Angkutan lokal / Local transportation	300.000,-
	- Cicilan kredit / credit to be paid	2.100.000,-
	Jumlah / Total (c)	27.840.000,-
d.	Total biaya setahun (12 x c) + b / Total annual cost	335.880.000,-
e.	Pendapatan setahun / Annual income of :	
	- 1020 liter alkohol 90%, @ Rp. 37.500,- / 1020 litres alcohol 90% @ Rp. 37.500,-	38.250.000,-
	- 7284 liter alkohol 95-96%, @ Rp. 42.500,- / 7284 litres alcohol 95-96% @ Rp. 42.500,-	309.570.000,-
f.	Jumlah pendapatan setahun / Total annual income	347.820.000,-
g.	Pendapatan bersih setahun / Anual net income	11.940.000,-

Harga Pertamina didasarkan pada harga berlaku bulan November di Manado, yakni Rp. 9.100/liter, maka komponen etanol absolut dari Pertamina = $[(Rp. 9.100) - (0,9 \times Rp. 4.500)] \times 10 = Rp. 50.500/\text{liter}$. Apabila dibandingkan

menguntungkan memproduksi etanol hidrat, maka untuk kesinambungan usaha pengolahan, produksi bioetanol diarahkan untuk memproduksi bioetanol kadar 90-96%.

Bioetanol sebagai bahan bakar mesin

Produk bioetanol dengan kadar etanol 97%, belum dikategorikan sebagai FGE, yang dikategorikan FGE adalah bioetanol 99,5% atau lebih (Fornoff, 1981). Dilaporkan Nurianti, dalam Bustaman (2008) bahwa bioetanol dengan kadar 95-99% dapat dipakai sebagai bahan substitusi premium atau bensin.

Penggunaan bioetanol 97% yang dicampur dengan bensin sebagai bahan bakar mesin, tertera pada Tabel 4. Ternyata bioetanol 97% dapat digunakan sebagai bahan bakar mesin. Walaupun hasil penelitian ini, perlu dilakukan pengujian lanjut untuk waktu operasi

bensin-bioetanol pada mesin siklus 4 langkah lebih efektif dibanding mesin dengan siklus 2 langkah, yang ditandai pada campuran bensin : etanol (80:20) mesin 4 tak dapat beroperasi secara normal, sedangkan mesin 2 tak hanya dapat beroperasi selama 2 menit, kemudian mesin mati. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan desain mesin 4 langkah dan 2 langkah, terutama pada sistem kompresi dan pembakaran (Prihandana *et al.*, 2008).

Optimalnya penggunaan bahan bakar mesin campuran bensin-alkohol (90:10) adalah sesuai untuk mesin 4 Tak dan 2 Tak. Dilaporkan bahwa penggunaan bahan bakar Ep 10 (Rasio

Tabel 4. Pengujian campuran bensin-bioetanol sebagai bahan bakar mesin pada kondisi stasioner.

Table 4. Testing of blended bioethanol gasoline as fuel on stationary engine.

No.	Jenis mesin bensin/Gasoline engine type)	Rasio Bensin Etanol (Ratio gasoline ethanol)	Konsumsi bahan bakar (liter/jam) Fuel consumption (litre/hour)	Penghematan bahan bakar (%) Fuel economy (%)	Keadaan mesin Engine condition
1.	Siklus 2 langkah (2 Tak)	100 : 0	0,56	-	Normal
		90 : 10	0,49	12,5	Normal
		80 : 20	-	-	Mesin mati
2.	Siklus 4 langkah (4 Tak)	100 : 0	1,00	-	Normal
		90 : 10	0,71	29,0	Normal
		80 : 20	0,58	52,0	Normal

Keterangan (Note) :

- a. Mesin 2 Tak: Pemotong rumput Tanaka Sum 328SE buatan Jepang /Two stroke engine Handslazer Tanaka Sum 328SE made in Japan.
- b. Mesin 4 Tak: Motor Robin 6,0 HP EX17 buatan Jepang /Four stroke engine Robin machine 6,0 HP EX17 made in Japan.

minimal 24 jam, agar diperoleh data yang lebih akurat.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan bahan bakar campuran bensin-bioetanol dengan rasio 90:10 akan menghemat penggunaan bahan bakar sebesar 12,5-29,0% dibanding dengan menggunakan bahan bakar bensin murni. Penggunaan campuran

campuran bensin-etanol adalah 90:10) pada Toyota Kijang di Serpong, ternyata konsumsi bahan bakar lebih hemat dibanding Pertamina dan bensin murni (Yamin, 2005).

Penelitian yang dilakukan di Pusat Penelitian Gula Indonesia (P3GI) Pasuruan, pada kendaraan Nissan siklus 4 langkah dalam keadaan stasioner, menggunakan

bahan bakar campuran bensin premium-etanol 90:10, ternyata lebih tinggi *antiknock index* bahan bakar (makin sempurna pembakaran bahan bakar dalam mesin), lebih hemat konsumsi bahan bakar, rendah kadar CO dalam gas buangan mesin, dibanding dengan menggunakan bensin premium, serta tidak memerlukan *setting* baru mesin bensin (Bahri *et al.*, 2007).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Alat pengolahan bioetanol, terdiri dari: tangki penguapan, destilator I, destilator II, dan dehidrator yang dirancang secara kompak, sehingga mulai dari proses pemanasan/pemasakan bahan bahan olah, destilasi, dehidrasi sampai produk akhir berlangsung secara kontinu.
2. Penggunaan alat pengolahan bioetanol berupa destilator-dehidrator sistem sinambung sesuai untuk pengolahan etanol kadar 25-30% menjadi etanol hidrat. Alat pengolahan bioetanol destilator-dehidrator sistem sinambung, sesuai untuk di-gunakan kelompok tani dan usaha industri skala kecil-menengah.
3. Penggunaan hidrat saringan molekuler impor dapat meningkatkan kadar etanol sampai 97%. Bioetanol 97% dapat digunakan sebagai bahan bakar mesin dengan campuran bensin-etanol (90:10). Penggunaan bahan bakar ini dapat menghemat penggunaan bahan bakar bensin sebesar 12,5 - 29,0 %.
4. Pengolahan etanol untuk menghasilkan etanol 70-95 % secara ekonomi adalah menguntungkan. Pengolahan etanol dari nira aren menjadi bahan

bakar mesin berupa Pertamax dengan harga Rp. 9.100/liter, cukup menguntungkan.

Saran

1. Untuk meningkatkan kadar etanol dari kadar 25-30% menjadi etanol hidrat atau etanol anhidrat dengan proses yang efisien, perlu dirancang unit dehidrator ganda pada alat pengolahan bioetanol, dengan kapasitas masing-masing 10-10,5 kg yang dilengkapi unit pemanas dan pompa vakum untuk proses regenerasi hidrat dalam satu sistem proses, agar etanol yang diadsorpsi hidrat selama proses pengolahan bioetanol tidak terbuang percuma, tetapi dapat diproses ulang.
2. Secara teknis produk bioetanol sebagai bahan bakar mesin dapat diproduksi, namun secara ekonomi lebih menguntungkan memproduksi bioetanol 90-96%, maka untuk kesinambungan usaha pengembangan, proses produksi pada tahap awal diarahkan untuk memproduksi bioetanol 90-96%.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2005. Bioetanol, pengganti BBM yang kompetitif. Kompas, 14/02/2005
- Anonim. 2008. Teknologi produksi etanol dari sagu dan biofuel minyak kelapa. Laporan Tahunan 2008. Balai Penelitian Tanaman Kelapa dan Palma Lain Manado.
- Bahri S, Santoso BE, Kurniawan Y. 2007. Pengujian bioetanol sebagai campuran bahan bakar pada mesin bensin stasioner. MPG - P3GI, Pasuruan ; 43(3):186-197.

- Bernasconi G, Gaster A, Hauser H, Stanbe H, Schneiter E. 1995. Chemical technologie, Teil 2, Diterjemahkan Lienda Handojo. PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Bustaman S. 2008. Strategi pengembangan bioetanol berbasis sagu di Maluku. *Perspektif, Review Penelitian Tanaman Industri*, Bogor; 7(2):65-79.
- Fornoff LL, 1981. Process for dehydrating ethanol and for the production of gasohol. United States Patent 4.273.621.
- Hambali E, Mujdaliah S, Tambunan AH, Pattiwi AW, Hendroko R. 2008. *Teknologi bio-energi*. AgroMedia Pustaka, Jakarta.
- Instruksi Presiden RI (Inpres) No.1 Tahun 2006. Tugas Menteri Pertanian, untuk menangani bahan baku bahan bakar nabati (biofuel).
- Lay A, Hutapea RTP, Tuyuwale J, Sondakh JO, Polakitan AL. 2004. Pengembangan komoditas aren di Daerah Minahasa Sulawesi Utara. *Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Tanaman Aren*. Tondano, Juni 2004.
- Peraturan Presiden RI (Penpres) No.5 Tahun 2005. Kebijakan energi nasional; Penyediaan biofuel dan kebutuhan energi nasional pada tahun 2005.
- Prihandana R, Hendroko R, Munamin M. 2006. Menghasilkan biodiesel murah; Mengatasi polusi dan kelangkaan BBM. PT. AgroMedia Pustaka, Jakarta.
- Tjokroadikoesoemo PS. 1986. HFS dan industri ubi kayu lainnya. Penerbit Gramedia, Jakarta.
- Yamin PSM. 2005. Gasohol BE 10, bahan bakar minyak alternative karya BPPT. www.bisnis.com.