

DESAIN UNIT PENGOLAHAN BIOETANOL UNTUK PETANI DI DESA NGAJUM KECAMATAN SUMBER PUCUNG KABUPATEN MALANG

Bambang Guritno¹⁾, Bambang Dwi Argo²⁾, Rini Yulianingsih²⁾
Jurusan Budidaya Pertanian FTP, Universitas Brawijaya¹⁾
Jurusan Keteknikan Pertanian FTP, Universitas Brawijaya²⁾
Jl. Veteran No.1 Malang 65154
Telp. (0341) – 571708
E-mail : bbgurit@yahoo.com

Abstract

The aim of the research is to develop bio-ethanol processing unit in small size using simple technology, which can be used by Cassava farmers in the village of Ngajum Sumber Pucung Malang. The capacity of Bioethanol processing unit provided is 100 liters/process which consists of sieve, cooker with cooling mash, fermenter, and distillation unit. Tests on several processing units give the following results: Sieve driven by 7.5 HP diesel engines. Sieve cylinder made of wood cylinder with 40 cm of diameter and 45 cm of length. Sieve has a capacity of 613 kg/h. Cooker tank made of stainless steel plate 4 mm and has dimensions 77 cm of diameter and 150 cm of height. There are 4 pieces of pipe stainless steel 6" placed at the bottom serving as heat exchanger. Cooling Mash has heat transfer surface area of 3.11 m² that consists of 26 stainless steel pipe 1 ½" of diameter and 100 cm of length. Cooking efficiency is 38% with fuel of firewood with a moisture content of 50%. At steady state conditions, Cooling mash is capable to remove energy from substance of 280 kcal/min at mass flow rate of substance of 2.34 l/s and mass flow rate of cooling water of 0.6 l/s.

Fermenter tank has made of stainless steel and has dimensions 110 cm of diameter and 240 cm of height. The mixer's fermenter is driven by a ½ HP electric motor. To maintain the material temperature at 32 °C, the fermenter equipped with a cooling unit that is sprinkler water around the tube. Distillation unit has made of stainless steel 304 and consists of beer column, the column rectifying, pre-heater, condensers and equipped with boiler.

Keywords : Performance, Bioethanol Processing Unit, Small Scale.

PENDAHULUAN

Bioethanol merupakan sumber energi alternatif terbarukan yang dikembangkan untuk mengurangi ketergantungan energi pada sumber energi fosil. Salah satu produk yang dapat digunakan sebagai bahan baku bioethanol adalah singkong dimana rasio konversi singkong menjadi bioethanol adalah 6.5 : 1 [1].

Selama ini bioethanol yang memenuhi persyaratan untuk digunakan sebagai bahan bakar hanya diproduksi oleh Industri berskala besar, sedangkan petani hanya bertindak sebagai pemasok bahan baku. Bioethanol yang diproduksi dalam skala usaha kecil menengah merupakan hal yang perlu dilakukan untuk mengatasi permasalahan

energi, meningkatkan kesejahteraan petani singkong serta guna membentuk masyarakat yang mandiri energi. Masalah utama bagi pengembangan industri bioethanol berbahan baku ubi kayu adalah ketersediaan bahan baku, sebab musim panen ubi kayu di Jawa Timur maupun di Jawa pada umumnya berkisar 4 – 5 bulan saja. Masyarakat petani di Kabupaten Malang, khususnya di Kecamatan Ngajum Sumber Pucung merupakan penghasil ubi kayu yang potensial untuk dikembangkan sebagai penghasil bioethanol karena telah menerapkan budidaya singkong secara tradisional dan mukibat. Sistem mukibat ini telah diteliti oleh Pusat Penelitian Ubi Ubian Universitas Brawijaya dari tahun 1975 – 1980 dengan bantuan dana dari IDRC

(International Development Research Centre) Canada. Budidaya dengan ga-bungan dua sistem ini dapat menghasilkan singkong yang terus-menerus sepanjang tahun.

Teknologi proses produksi ethanol atau bio-ethanol dari singkong dapat dibagi dalam tiga tahap, yaitu gelatinasi, sakharifikasi, dan fermentasi [2]. Setiap tahap proses pengolahan tersebut memerlukan suhu operasional tertentu untuk mendapatkan hasil optimal, dan alat dan mesin yang digunakan harus dapat menciptakan kondisi pengolahan yang diperlukan.

Proses pengolahan memerlukan beberapa unit pengolahan yaitu pamarut, pemasak yang dilengkapi dengan *cooling mash*, fermentor dan destilator. Kegiatan yang dilakukan bertujuan mendesain dan menguji unit pengolahan bioethanol.

METODE PENELITIAN

Perancangan dan pengujian dilakukan di Laboratorium Mekatronik Alat dan Mesin Agroindustri Jurusan Keteknikan Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya Malang.

Pamarut

Pamarut digunakan untuk mengecilkan ukuran singkong. Pamarut terdiri dari beberapa bagian penting yaitu tenaga penggerak, silinder pamarut, as besi, dinding dan rangka mesin. Pengujian pamarut bertujuan untuk mengetahui kapasitas dan biaya operasional.

Pemasak

Pemasak digunakan untuk proses gelatinisasi dan sakharifikasi. Proses gelatinisasi memerlukan suhu 110 °C sedangkan proses sakharifikasi memerlukan suhu 55 °C. Unit pendingin (*cooling mash*) diperlukan untuk mempercepat proses penurunan suhu bahan.

Pemasak terdiri dari beberapa bagian penting yaitu tabung pemasak, pipa penukar panas, unit pengaduk, tungku, thermometer dan katub pengaman. Unit pendingin berupa tabung yang berisi pipa-pipa penukar kalor. Pengujian pemasak meliputi efisiensi energy untuk pemanasan bahan, performansi

pendinginan *cooling mash* dan estimasi biaya operasional mesin.

Fermentor

Fermentor merupakan wadah dimana proses perubahan gula menjadi alcohol dengan bantuan *yeast* berlangsung. Proses fermentasi memerlukan kondisi steril dan suhu berkisar 32 °C. Fermentor memiliki beberapa bagian penting, yaitu: wadah fermentasi, unit pengaduk, unit pengatur suhu, saluran pemasukkan dan saluran pengeluaran. Wadah fermentasi merupakan tempat dimana proses fermentasi berlangsung. Wadah fermentasi harus terbuat dari bahan yang non korosif dan tidak bereaksi dengan bahan serta dibuat kedap udara. Unit pengaduk berfungsi untuk menghomogenkan campuran yang terdiri dari gula hasil proses sakharifikasi, air dan bakteri *saccaromyces*. Unit pengatur suhu berfungsi untuk menjaga suhu fermentasi pada kisaran suhu 28 – 32 °C.

Destilator

Destilator berfungsi untuk memisahkan ethanol dari air sehingga didapatkan ethanol dengan kemurnian 95 %. Untuk mencapai kemurnian yang tinggi, maka destilasi harus dilakukan secara bertingkat. Destilator memiliki beberapa bagian penting yaitu *boiler*, kolom *beer*, kolom *rectifier*, *pre-heater* dan kondensor. Boiler berfungsi untuk menghasilkan uap panas bertekanan tinggi yang akan digunakan untuk mencuci *beer* pada kolom destilasi. Kolom *Beer* berfungsi untuk mencuci *beer* sehingga menghasilkan ethnaol dengan kemurnian rendah, sedangkan kolom *rectifier* berfungsi untuk memurnikan ethanol sampai tingkat kemurnian diatas 95 %. *Pre-heater* berfungsi sebagai tempat pertukaran panas antara bahan yang masuk kolom destilasi dan uap panas yang keluar dari destilasi sehingga bahan masuk mengalami pemanasan dan uap panas mengalami pendinginan. Pendinginan uap panas akan menyebabkan kondensasi jika kemurnian ethanol masih rendah. Ethanol dengan tingkat kemurnian yang masih rendah akan dikembalikan menuju kolom *rectifier* untuk

dimurnikan lebih lanjut. Kondensator berfungsi untuk mengondensasi ethanol yang lolos dari tangki pre-heater untuk selanjutnya menuju tabung penampung.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemarut

Unit mesin pemarut digerakkan oleh mesin diesel dengan daya 7.5 Hp. Silinder pemarut berupa silinder kayu yang pejal dengan diameter 40 cm dan panjang 45 cm, mata parut terbuat dari potongan gergaji beji yang dipotong-potong dengan ukuran tertentu dan dibenamkan pada silinder kayu tersebut. As silinder pemarut berupa as besi berdiameter 1.25 in dan dinding terbuat dari plat SS tebal 2 mm dan ditopang oleh rangka mesin atau "Frame" yang terbuat dari besi kanal C dengan ukuran 6 cm. Mesin pemarut seperti terlihat pada Gambar 1. Berdasarkan hasil pengujian, pemarut memiliki kapasitas 613 kg / jam pada putaran 180 rpm dan digerakkan dengan diesel 7.5 HP dengan konsumsi solar 1.27 liter/jam. Bahan baku yang diperlukan untuk memproduksi 100 liter bioethanol adalah 600 kg singkong, sehingga biaya energi untuk proses pemarutan secara keseluruhan adalah Rp 4.500.



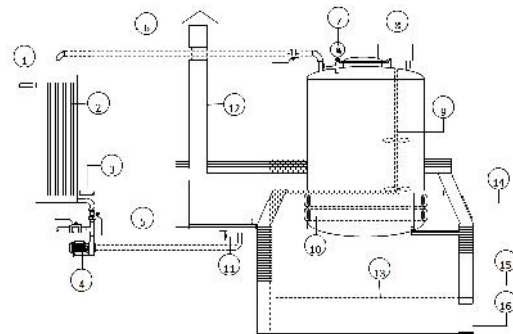
Gambar 1 – Pemarut

Unit Pemasak

Hasil rancangan unit pemasak yang telah dihasilkan seperti terlihat pada Gambar 2. Pemasak memiliki 3 bagian utama yaitu tangki pemasak, tungku dan mash cooler.

Tangki Pemasak

Tangki pemasak berfungsi sebagai wadah dimana proses gelatinisasi dan sakarifikasi berlangsung. Tangki terbuat dari plat stainless steel tebal 4 mm dan memiliki dimensi diameter 77 cm tinggi 150 cm. Pipa penukar panas terletak pada bagian bawah tangki pemasak, berfungsi sebagai media untuk memindahkan panas melalui mekanisme konduksi dan konveksi dari hasil pembakaran biomasa ke bahan yang dipanaskan. Pipa penukar panas berjumlah 4 buah, terbuat dari pipa stainless steel 304 berdiameter 6 “. Pengaduk berfungsi untuk menghomogenkan suhu dan komposisi bahan.

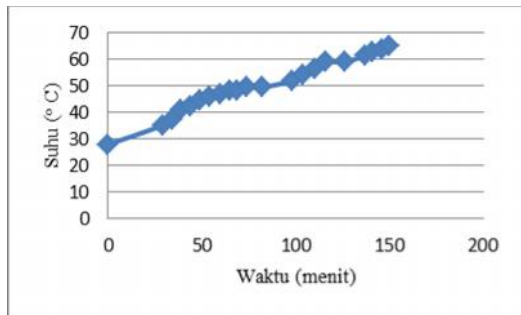


- | | |
|-------------------------------------|--|
| Mash Cooler | 9. Pengaduk |
| 1. Inlet air mendidih | 10. Pipa penukar panas |
| 2. Pina-pipa Heat Exchanger | 11. Kran bahan |
| 3. Outlet air pendingin | Tungku |
| 4. Pompa sakulasi | 12. Cerobong |
| 5. Saluran bahan menuju mash cooler | 13. Tempat bahan bakar |
| 6. Saluran bahan menuju pemasak | 14. Pintu pembersihan pipa penukar panas |
| Tangki Pemasak | 15. Pintu pemasukkan bahan bakar |
| 7. Pengukur Tekanan / Kran pengaman | 16. Pintu pengambilan abu |
| 8. Dinamo pengaduk | |

Gambar 2 – Rancangan Pemasak

Hasil Pengujian Pemasak

Pengujian pemasak dilakukan dengan menggunakan air dengan volume 426 liter dan menggunakan bahan bakar kayu sengon yang memiliki nilai kalor 9.3 MJ / kg. Dari kegiatan penelitian yang dilakukan didapatkan peningkatan suhu bahan terhadap waktu seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3 – Grafik Hubungan Suhu Badan dengan Waktu Pemanasan

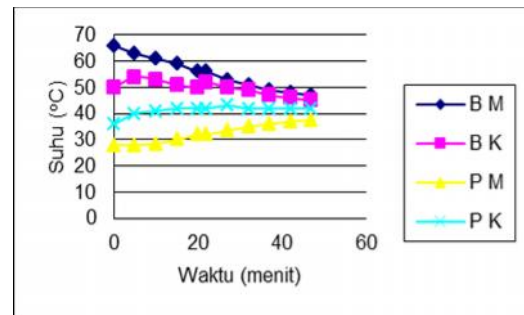
Dari Gambar 3 terlihat bahwa pemanasan selama 150 menit telah meningkatkan suhu 426 liter air sebesar 37 °C, yaitu dari 28 °C menjadi 65 °C. Bahan bakar yang digunakan adalah kayu yang memiliki kadar air 50 % dengan total konsumsi bahan bakar mencapai 39 kg. Nilai kalor kayu adalah 9.35 MJ/kg. Selama proses pengujian, energi yang diperlukan untuk meningkatkan suhu bahan adalah 15762 Kkal, sehingga efisiensi total penggunaan energi pada pemasak adalah 18.15%. Estimasi biaya energi untuk proses pemanasan saja, dengan mengambil nilai C_p singkong 3.26 kJ/kg °C [3] dengan jumlah yang dipanaskan 600 kg, maka jumlah kayu bakar yang dibutuhkan adalah 100 kg. Jika diasumsikan harga kayu bakar adalah Rp 200.000 /m³ maka biaya yang diperlukan untuk mencapai suhu 110 °C adalah Rp 66.600 (densitas kayu 300 kg / m³).

Mash Cooler

Unit *mash cooler* berfungsi untuk mendinginkan bahan dari proses gelatinisasi pada suhu 110 ° menjadi suhu 55 °C untuk proses sakarifikasi. *Cooling Mash* memiliki luas perpindahan kalor seluas 3.11 m² yang terdiri dari 26 lonjor pipa diameter 1½” dengan bahan pipa adalah stainless steel 304. Sirkulasi bahan dari tangki pemasak menuju *mash cooler* dilakukan dengan menggunakan pompa 2 HP yang mempunyai kemampuan untuk menahan panas sampai suhu 130° C.

Pengujian Cooling Mash.

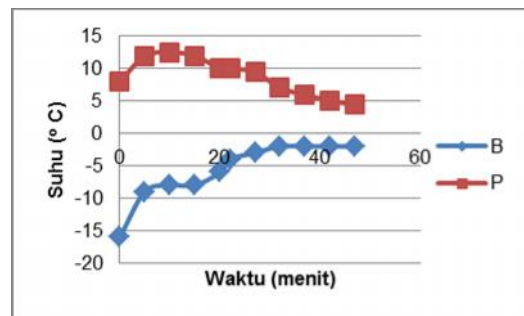
Profil suhu bahan dan suhu air pendingin terlihat pada Gambar 4.



(BM: Bahan masuk; BK: Bahan Keluar; PM: Pendingin Masuk; PK: Pendingin Keluar)

Gambar 4 – Grafik Profil Suhu Bahan dan Air Pendinginan Terhadap Waktu

Gambar 4 menunjukkan bahwa *cooling mash* mampu menurunkan suhu bahan sebesar 19 °C selama 50 menit dengan debit air pendingin 0.644 liter / detik dan debit bahan 1.192 liter / detik pada 20 menit pertama dan 2.346 liter / detik pada menit berikutnya. Perubahan suhu bahan pdan air pendingin selama proses seperti terlihat pada Gambar 5.

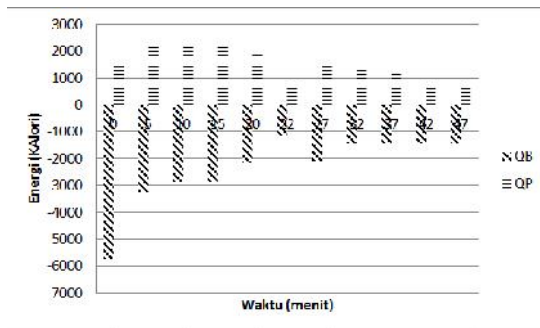


Gambar 5 – Grafik Profil Perubahan Suhu Bahan dan Pendinginan Terhadap Waktu

Gambar 5 memperlihatkan bahwa pada awal pendinginan, terdapat perbedaan suhu antara bahan masuk dan bahan keluar *cooling mash* yang besar yaitu 16 °C dan pada menit ke 50, perbedaan suhu adalah 2 °C. Pada awal pendinginan, energi yang terkandung dalam bahan banyak digunakan untuk memanaskan struktur *cooling mash* yang berupa plat dan pipa stainless steel sehingga penurunan suhu bahan besar.

Selama proses pendinginan, bahan melepaskan kalor dan pendingin menerima kalor. Profil jumlah kalor yang dilepaskan

oleh bahan dan diterima oleh pendingin pada setiap satuan waktu pengamatan seperti terlihat pada Gambar 6.



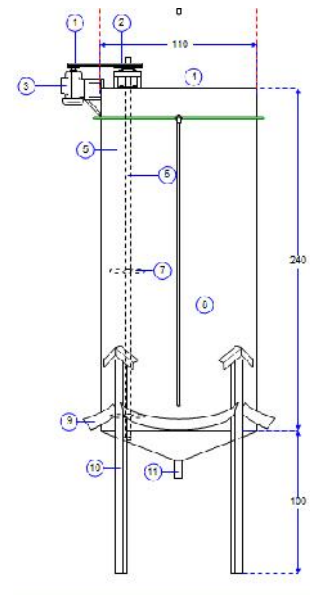
QB: Q bahan; QP: Q Pendingin

Gambar 6 – Grafik Pelepasan Kalor Bahan dan Penerimaan Kalor Oleh Pendingin Terhadap Waktu

Pada awal proses pendinginan, kalor yang dilepaskan oleh bahan mencapai 5712 kalori dan cenderung menurun sampai menit ke 20. Pada saat debit bahan diperbesar, terjadi peningkatan pelepasan dan penerimaan kalor, hal ini disebabkan karena ada peningkatan massa bahan yang memasuki *cooling mash* sehingga jumlah energi yang masuk juga lebih besar. Pada menit ke 37 sudah terlihat adanya kestabilan perpindahan suhu dan energi. Pada kondisi mantap, energi yang dilepas oleh bahan berjumlah 1400 kalori / 5 menit.

Fermentor

Fermentor terbuat dari plat stainless steel 304 tebal 2 mm dimana bahan ini tidak bersifat korosif, tidak mengalami segregasi dan mudah dibersihkan. Tabung fermentor berdimensi diameter 110 cm tinggi 240 cm dan bagian bawah berbentuk kerucut dengan tinggi kerucut 20 cm. Pengaduk yang berfungsi untuk mencampur bahan dengan yeast, NPK dan urea memiliki dua buah sudu yang ditempatkan pada as stainless steel 1½”. Pengaduk digerakkan oleh motor listrik ½ HP dan putaran direduksi menjadi 700 rpm dengan menggunakan pulley dan sabuk-V. Fermentor seperti terlihat pada Gambar 7.



- | | |
|-------------------------|-------------------------------|
| 1. Pulley motor | 7. Sudu pengaduk |
| 2. Pulley pengaduk | 8. Saluran air pendingin |
| 3. Motor | 9. Penampung dan penyalur air |
| 4. Pipa distributor air | 10. Frame |
| 5. Dinding fermentor | 11. Outlet |
| 6. As pengaduk | 12. Sudu pengaduk |

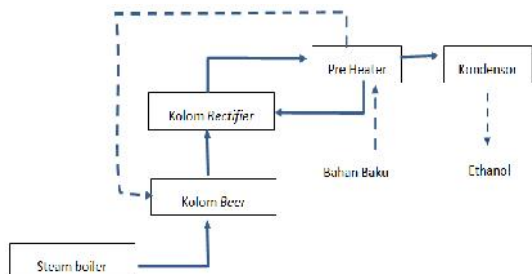
Gambar 7 – Fermentor

Pipa distributor air pendingin berupa dua buah pipa berbentuk setengah lingkaran yang terbuat dari pipa kuningan diameter ½” dengan lubang pengeluaran air 4 mm yang diatur dengan jarak 10 cm. Air pendingin ditampung dalam bak air dan disirkulasikan oleh pompa air 125 Watt dengan debit 0.644 liter / jam.

Destilator

Destilasi adalah pemisahan dari unsur-unsur dari campuran cair oleh penguapan parsial dan kondensasi berikutnya, mengambil keuntungan dari perbedaan volatilitas. Perbaikan beberapa penyulingan cairan adalah kontak langsung dengan uap di berlawanan arah / counterflow [4]. Destilator berfungsi untuk menghasilkan ethanol dengan kemurnian diatas 95 %. Untuk mencapai kemurnian yang tinggi, proses destilasi dilakukan secara bertingkat. Unit destilasi terbuat dari stainless steel 304 dan terdiri dari kolom *beer*, kolom *rectifying*, *pre-heater* dan kondensor. Destilator juga dilengkapi dengan boiler untuk

menghasilkan uap tekanan tinggi yang akan digunakan untuk proses destilasi. Proses destilasi berlangsung sebagaimana terlihat pada Gambar 8.

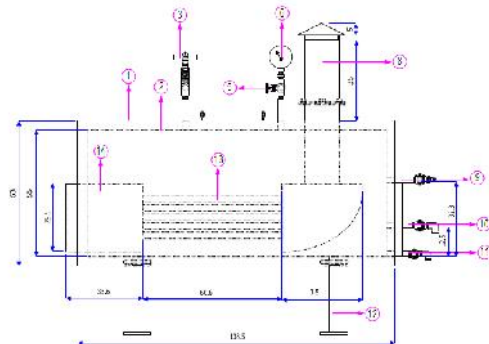


Gambar 8 – Bagan Alur Proses Destilasi

Uap dari boiler menuju kolom *beer* dan kolom *rectifier* untuk selanjutnya menuju *pre heater*. Di dalam *pre heater* terjadi pertukaran panas antara bahan baku (*beer*) dengan uap panas, sehingga bahan baku mengalami peningkatan suhu dan selanjutnya menuju kolom *beer*, sedangkan uap mengalami penurunan suhu sehingga uap dengan kandungan ethanol rendah akan terkondensasi dan menuju kolom *rectifier* untuk dimurnikan lebih lanjut, sedangkan uap dengan kemurnian tinggi akan menuju kondensor dan berubah fase menjadi cair. Proses pemisahan ethanol dan air dilakukan berdasarkan perbedaan titik didih dan berlangsung dalam kolom *beer* dan *rectifier*. Di dalam kolom *beer* dan *rectifier*, bahan (*beer*) dalam rak akan dilewati oleh uap panas. Uap air secara berkala akan berubah fase menjadi cair pada saat melewati *beer*, sedangkan ethanol yang terkandung dalam *beer* akan berubah fase menjadi uap dan menuju ke rak bagian atas.

Boiler terbuat dari plat besi dengan ketebalan 6 mm dan memiliki dimensi diameter 55 cm panjang 138.5 cm (Gambar 9). Pipa-pipa penukar panas yang digunakan dalam boiler berupa pipa gas diameter 1 ½ ” panjang 60 cm sejumlah 6 buah dan terhubung menuju cerobong pembuangan asap yang terbuat dari pipa gas berdiameter 6”. Kelengkapan-kelengkapan yang terdapat boiler meliputi pengukur suhu dan tekanan, katub pengaman, saluran pengeluaran uap, pengeluaran air, pengisian air dan indikator isi air. Untuk meningkatkan efisiensi energi,

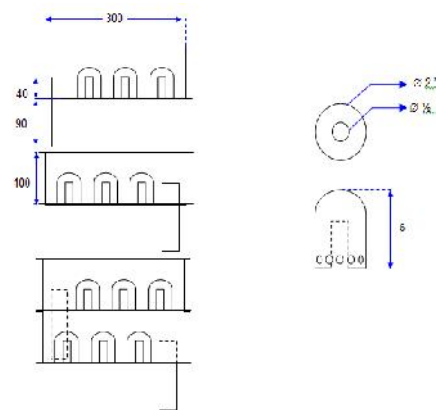
maka disekeliling silinder boiler terdapat isolator galss woll



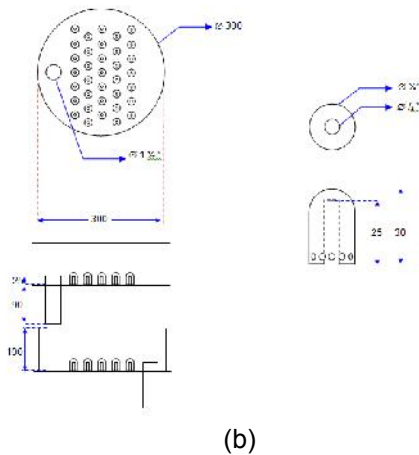
No	Keterangan	No	Keterangan
1	Dinding luar	8	Cerobong
2	Dinding dalam	9	Kran pengisian air
3	Pengukur suhu	10	Kran kontrol ketinggian air
4	Safety valve	11	Kran pengeluaran air
5	Kran penyalur uap	12	Kaki penyangga
6	Pengukur tekanan	13	Pipa HE
7	Pipa penyaluran uap	14	Tempat kompor

Gambar 9 – Boiler

Kolom destilasi terdiri dari kolom *beer* dan kolom *rectifier*. Kolom *beer* berfungsi untuk mencuci *beer* hasil fermentasi dengan kemurnian 9 % sehingga memiliki tingkat kemurnian 75 %, sedangkan kolom *rectifier* berfungsi untuk memurnikan ethanol hingga mencapai 95 %. Kolom destilasi terbuat dari stainless steel, dan berupa susunan rak-rak sebagaimana terlihat pada Gambar 10.



(a)



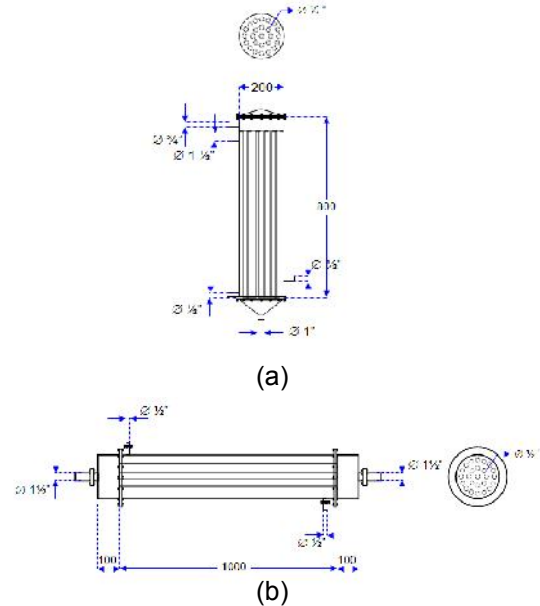
Gambar 10 – Kolom Destilasi (a) Kolom Beer (b) Kolom Rectifier

Rak kolom beer (Gambar 10.a) berjumlah 15 buah dan masing-masing berdimensi diameter 300 mm tinggi 100 mm dimana pada setiap rak terdapat 13 buah mangkok berdiameter 2” tinggi total 60 mm dengan pipa saluran pemasukkan uap berdiameter 1/2”. Pemasukkan beer dari rak bagian atas dan penyaluran ke rak bagian bawah melalui pipa berdiameter 1” panjang 130 mm dengan posisi 40 mm di dalam rak dan 90 mm di bawah rak sehingga ketebalan fluida beer adalah 40 mm. Kolom rectifier (Gambar 10.b) memiliki rak yang sama dengan kolom beer, namun jumlah mangkuk kolom rectifier adalah 35 buah / rak dengan dimensi diameter 3/4 “ tinggi 40 cm dan diameter lubang uap 1/2”.

Pre-heater terbuat dari Plat Stainless Steel 304 tebal 1.5 mm dengan dimensi diameter 200 mm panjang 800 mm dan memiliki pipa-pipa penukar panas berjumlah 25 buah dan masing masing berdiameter 740 mm. Saluran pemasukkan beer terbuat dari pipa stainless steel berdiameter 1 ” sedangkan pengeluaran beer berdiameter 1 1/2”. Saluran pemasukkan uap dari kolom destilasi memiliki ukuran 3/4 ” sedangkan keluaran untuk uap yang terkondensasi dan uap ethanol masing masing berdiameter 1/2”. Gambar pre-heater seperti terlihat pada Gambar 11.a

Kondensor (Gambar 11.b) terbuat dari plat stainless steel 304 tebal 1.5 mm dengan diameter 200 mm panjang total 1200 mm.

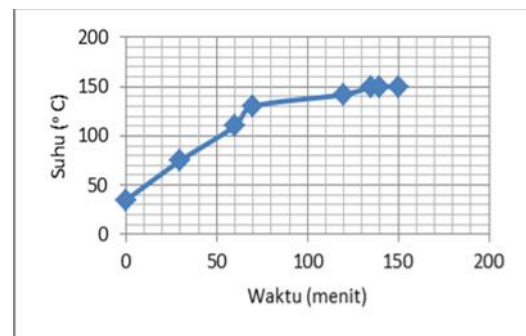
Pipa-pipa penukar kalor berjumlah 25 buah dan masing-masing berdiameter 1/2” panjang 1000 mm. Saluran uap dan kondensat ethanol terbuat dari pipa stainless steel berdiameter 1/2” sedangkan saluran air pendingin berdiameter 1 1/2”.



Gambar 11 – (a) Pre Heater (b) Kondensor

Pengujian Boiler

Bahan bakar yang digunakan untuk pengujian adalah minyak tanah yang memiliki nilai kalor 35,000 kJ/kg. Profil pemanasan awal boiler terlihat pada Gambar 12.



Gambar 12 – Profil Suhu Air Dalam Boiler Terhadap Waktu

Gambar 12 menunjukkan bahwa pada menit ke 52 suhu air sudah mencapai 100°C dan suhu 150°C tercapai pada waktu 135 menit. Kapasitas produksi uap yang dihasilkan pada kondisi mantap mencapai 14 kg/jam .

PEMBAHASAN

Hasil kegiatan sementara yang sudah dicapai menunjukkan bahwa pengujian unit-unit mesin pengolahan untuk produksi bioethanol yang telah dihasilkan dapat digunakan untuk menunjang produksi bioethanol standar bahan bakar di tingkat kelompok petani. Namun demikian kegiatan penelitian ini belum tuntas dan masih memerlukan penelitian lanjutan tentang performansi destilator dan implementasi unit pengolahan di tingkat petani. Uji performansi destilator membutuhkan ketersediaan boiler yang memadai dan unit pembangkit uap ini akan diteliti dan dikembangkan pada rencana penelitian tahun ke-2.

Unjuk raga mesin pamarut telah menghasilkan hasil parutan dengan ukuran yang cukup memadai untuk dijadikan bubur yang mana dalam proses pemasakannya akan cukup baik untuk terjadinya proses gelatinasi. Proses pamarutan berjalan dengan kondisi yang stabil tanpa adanya anomaly getaran yang berlebih. Hasil uji kapasitas kerja mesin menunjukkan bahwa untuk menghasilkan $1000\text{ liter alcohol}$ dibutuhkan waktu pamarutan bahan baku lebih kurang 10 jam . Lamanya waktu pamarutan ini memerlukan analisa penjadwalan proses penyediaan bahan baku yang siap untuk dilakukan proses gelatinasi. Proses pengecilan ukuran ini membutuhkan biaya variable sebesar $\text{Rp } 7.5,-/\text{kg}$ bahan baku. Besar biaya proses ini merupakan salah satu komponen biaya variabel untuk produksi bioethanol dan besarnya masih cukup realistis.

Unit mesin pemasak yang telah dihasilkan mampu bekerja sesuai dengan fungsinya yakni melakukan proses pemanasan pada suhu dan tekanan tinggi. Suhu pemanasan yang dicapai mampu mencapai pada tingkat suhu yang diinginkan yaitu 140°C dimana proses gelatinasi dari karbohidrat akan berlangsung dengan baik. Dari gambar 3, laju kenaikan temperatur

bahan yang dipanaskan dalam tangki pemasak adalah $110.76^{\circ}\text{C.kg/menit}$ dan nilai ini menunjukkan efisiensi proses pemanasan pada pipa penukar panas masih relatif rendah. Perhitungan efisiensi total untuk konversi energy bahan bakar untuk meningkatkan panas bahan mencapai angka 18.15% dan angka efisiensi ini menunjukkan kemungkinan masih adanya banyak kehilangan panas keluar dari system seperti melalui cerobong asap bersama gas buang, udara panas hasil pembakaran yang keluar melalui lubang pemasukan bahan bakar dan sedikit melalui dinding tungku dan tangki pemasak. Untuk mengatasi keadaan ini masih perlu diteliti lagi tentang penyempurnaan bentuk dan dimensi tungku pembakaran termasuk spesifikasi teknis dari cerobong asap. Penelitian tentang laju pengumpulan bahan bakar yang optimal juga masih perlu dilakukan, hal ini dimaksudkan untuk mengurangi jumlah udara panas yang kembali keluar melalui lubang pemasukan bahan bakar atau kemungkinan terjadinya pembakaran yang tidak sempurna dari masa bahan bakar yang terbang bersama gas buang.

Unit pendingin yang telah dibuat mampu berfungsi sesuai dengan fungsinya yaitu untuk menurunkan temperatur atau membuang sebagian energy panas didalam bahan yang didinginkan. Proses pendinginan yang cepat akan membantu untuk mempercepat proses sakarifikasi sehingga akan berpengaruh terhadap waktu proses pembuatan biodiesel secara keseluruhan. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa laju pendinginan adalah $28.56^{\circ}\text{C.lt/menit}$. Hasil pengujian proses pendinginan yang terjadi pada "mash cooler" masih perlu dilakukan penelitian lanjutan guna memperoleh debit aliran bahan fluida pendingin yang optimal dengan demikian tujuan pembuangan panas yang maksimal dapat diwujudkan. Dari hasil analisa perhitungan kalor yang dilepas dari bahan dan yang diterima oleh fluida pendingin (Gambar 6) menunjukkan bahwa masih belum adanya keseimbangan antara jumlah kalor yang dilepas oleh bahan dengan jumlah kalor diterima oleh fluida pendingin. Gambar 6 menunjukkan bahwa debit aliran

pendingin masih belum optimal, dalam hal ini debitnya masih kurang besar.

Mesin boiler yang dibuat berfungsi dengan baik dalam menghasilkan uap super kritis sampai pada tingkat kekeringan tertentu (pada suhu 150°C dan tekanan 8-10 kg/cm²). Kondisi operasional mesin boiler dapat diatur sesuai dengan kebutuhan operasional yang dibutuhkan oleh destilator dan untuk pengaturan ini telah dipasang katup pengaman yang dapat bekerja secara otomatis untuk mengendalikan tekanan uap yang diproduksi didalam boiler. Waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan uap kering dengan temperature 150°C adalah relative pendek yaitu 2.5 jam. Permasalahan yang masih perlu dipecahkan adalah pengaturan antara laju produksi uap dengan dengan laju konsumsi uap yang dibutuhkan didalam destilator. Dari hasil uji coba menunjukkan adanya ketidak seimbangan antara laju produksi uap oleh boiler dengan laju konsumsi uap yang dibutuhkan oleh destilator. Penambahan ruang penampung uap masih dibutuhkan guna untuk menyempurnakan kinerja dari boiler yang telah dibuat.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Kegiatan yang dilakukan telah menghasilkan alat-alat utama dalam pengolahan bioethanol dengan kapasitas 100 liter proses. Hasil pengujian mesin memberikan hasil sebagai berikut: Pamarut memiliki kapasitas 613 kg / jam dengan penggerak disel 7.5 HP pada putaran 180 rpm. Efisiensi pemasak pada saat pemanasan awal mencapai 38 % dengan-

menggunakan bahan bakar kayu dengan kadar air 50 %. Proses pendinginan bahan dalam *cooling mash* pada kondisi mantap adalah 1400 k kal setiap 5 menit. Kapasitas boiler mencapai 14 kg uap / jam.

Saran

Perlu dilakukan penambahan jumlah fermentor untuk meningkatkan kapasitas bioethanol

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nurdyastuti I, 2006, Teknologi Proses Produksi Bioethanol, http://www.oocities.com/markal_bppt/publish/biofbbm/biindy.pdf.
- [2] Wahid, pemanfaatan bio-ethanol sebagai bahan Bakar kendaraan berbahan bakar Premium, http://www.oocities.com/markal_bppt/publish/biofbbm/biwahid.pdf.
- [3] Njie D. N., Rumsey T. R. and Singh R. P. Thermal properties of cassava, yam and plantain. http://www.sciencedirect.com/science?ob=ArticleURL&_udi=B6T8J-3V2F8YM-5&_user=10&_coverDate=06%2F30%2F1998&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=search&_origin=search&_sort=d&_docanchor=&view=c&_searchStrId=1626386561&_rerunOrigin=google&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=2f2a24374808995fc01829ec13f0f681&searchtype=a.
- [4] Anonymous, Distillation Technology www.niroinc.com/html/evaporator/evpdfs/distillation_tech.pdf.