



POLITEKNIK NEGERI BALI

PANDUAN

MESIN DISTILASI TENAGA SURYA

Dengan Distilator Refrigerasi



Jurusan Teknik Mesin dan Jurusan Pariwisata,
Politeknik Negeri Bali

I Nyoman Suamir, Made Ery Arsana, Ida Ayu Elistyawati

**PANDUAN
MESIN DISTILASI
TENAGA SURYA
Dengan Distilator Refrigerasi**

PANDUAN MESIN DISTILASI TENAGA SURYA Dengan Distilator Refrigerasi

**I Nyoman Suamir
Made Ery Arsana
Ida Ayu Elistyawati**

Jurusan Teknik Mesin
Jurusan Pariwisata
Politeknik Negeri Bali
Jalan Kampus Bukit Jimbaran, Kuta Selatan Badung, Bali - 80361
Telp (0361) 701981(hunting) Fax. 701128
<http://www.pnb.ac.id> – Email: poltek@pnb.ac.id

PRAKATA

Kami bersyukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, berkat rahmat-Nya, kami dapat menyelesaikan buku pedoman ini dengan judul "Panduan Mesin distilasi tenaga surya dengan distilator refrigerasi". Buku pedoman ini menyajikan penjelasan umum teknologi yang diterapkan, spesifikasi mesin, panduan operasional penggunaan mesin dan karakteristik produksi minuman tradisional Bali yang lebih dikenal dengan Arak Bali.

Buku ini memberikan panduan yang komprehensif pada penggunaan dan operasional mesin distilasi tenaga surya yang dirancang khusus untuk produksi Arak Bali. Mesin distilasi tenaga surya ini menggabungkan kebaruan yang mencakup distilator refrigerasi, dan pengontrol cerdas untuk distilator dan boiler penyuling. Mesin dapat bekerja dengan andal dengan beberapa karakteristik produksi. Dalam buku ini juga dijelaskan hasil uji produksi mesin distilasi dengan beberapa varian Arak Bali yang dapat diproduksi secara konsisten dikelompokkan menjadi empat grade: Grade-Super, Grade-1, Grade-2 dan Grade-3 dengan kadar alkohol masing-masing di atas 40%, 30%, 20%, 10%. Varian produk arak ini dihasilkan dari karakteristik produksi pada temperatur boiler 87-95 °C, temperatur penyuling 5-27 °C dan waktu sekali produksi dari 1 sampai dengan 6 jam.

Juga dijelaskan aspek teknis dari mesin distilasi tenaga surya yang menerapkan teknologi tepat guna (TTG) dengan menggabungkan keunggulan teknologi refrigerasi yang hemat energi (energy efficient refrigeration technology) menggunakan R-134A dan teknologi energi terbarukan (renewable energy technology) yaitu tenaga surya. Teknologi yang diterapkan juga dilengkapi dengan sistem kontrol yang mampu mengendalikan variabel kontrol secara otomatis.

Besar harapan kami buku panduan ini dapat digunakan sebagai pedoman operasional di dalam penerapan mesin distilasi oleh masyarakat produsen Arak Bali. Kami juga menyadari buku panduan ini sangat jauh dari sempurna, untuk itu kami sangat berterima kasih apabila ada saran dan masukan untuk perbaikan buku panduan ini di masa yang akan datang. Terima kasih.

Badung, Oktober 2022
Penulis

DAFTAR ISI

PRAKATA.....	ii
DAFTAR ISI	iii
BAB 1	1
PENDAHULUAN	1
1.1 <i>Sekilas Tentang Mesin Distilasi</i>	1
1.2 <i>Teknologi Distilasi</i>	2
1.3 <i>Teknologi Mesin Distilasi Tenaga Surya</i>	5
BAB 2	8
SPEKIFIKASI MESIN DISTILASI	8
2.1 <i>Deskripsi Mesin Distilasi Tenaga Surya</i>	8
2.2 <i>Kebaharuan Mesin Distilasi Tenaga Surya</i>	13
2.3 <i>Sistem Kendali Cerdas Menjamin Konsistensi Kualitas Produksi</i>	15
BAB 3	17
KARAKTERISTIK OPERASIONAL	17
3.1 <i>Operasional dan Pengaturan</i>	17
3.2 <i>Karakterisasi Produksi pada Mesin Distilasi</i>	18
3.3 <i>Produktivitas dan Kinerja Energi</i>	20
BAB 4	22
PENUTUP.....	22
4.1 <i>Kesimpulan</i>	22
4.2 <i>Ucapan Terima Kasih</i>	23
DAFTAR PUSTAKA	24

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 *Sekilas Tentang Mesin Distilasi*

Mesin distilasi di Indonesia lebih berkembang ke arah teknologi tepat guna (TTG) karena teknologinya sederhana, mudah dioperasikan oleh masyarakat dan sesuai dengan kondisi alam, sosial, ekonomi serta perilaku budaya setempat. Secara teknis TTG memungkinkan dan mudah dibuat, secara ekonomi terjangkau harganya, ditinjau dari aspek keselamatan aman digunakan dan tidak mengganggu kesehatan kerja, ramah lingkungan, hemat energi dan sesuai dengan kemajuan jaman [1]. TTG yang diaplikasikan diharapkan memiliki output dengan identifikasi efektif, nyaman, aman, sehat, efisien dan produktif [2-4].

Pada sisi lain, TTG mesin distilasi produk pertanian yang ada saat ini menerapkan metode kondensasi dengan pendinginan udara atau air. Hal ini dapat menyebabkan mesin kurang praktis dan kurang nyaman digunakan karena ukurannya besar. Juga kurang efektif dalam proses kondensasi karena ada kemungkinan uap distilasi belum sempat terkondensasi di distilator. Dari aspek lingkungan, mesin distilasi yang ada saat ini masih menggunakan listrik PLN untuk pompa atau kipas angin. Listrik PLN masih dianggap dapat mencemari lingkungan yang setara emisi 0,84 kgCO₂ per kWh [5]. Di samping itu, untuk aplikasi distilasi alkohol atau minuman beralkohol, konsistensi kualitas produk sangat sulit dicapai. Diperlukan keterampilan khusus serta pengalaman yang cukup untuk mendapatkan konsistensi kualitas produk. Kalau untuk distilasi minyak atsiri tidak terlalu kritikal, karena setelah distilasi masih ada proses pemisahan antara minyak dan air.

Dengan demikian sangat perlu pengembangan sebuah mesin distilasi sehingga lebih produktif, praktis, nyaman digunakan, efektif dan ramah lingkungan. Di samping itu mesin distilasi harus dapat beroperasi secara handal untuk menghasilkan konsistensi kualitas berbagai varian produk khususnya pada aplikasi produksi Arak Bali.

Pengembangan sebuah mesin distilasi menjadi lebih praktis, efektif, produktif, nyaman digunakan dan ramah lingkungan serta mampu

menghasilkan konsistensi kualitas berbagai varian produk melalui penerapan inovasi distilator refrigerasi tenaga surya tipe coil-on-tube diintegrasikan dengan sistem kendali cerdas. Inovasi ini dapat meningkatkan produktivitas dan konsistensi kualitas produk. Dari aspek lingkungan, dengan menerapkan sumber energi terbarukan maka inovasi ini akan sekaligus dapat menurunkan dampaknya.

Mesin distilasi dengan inovasi distilator refrigerasi tenaga surya tipe coil-on-tube sangat potensial dan layak untuk dikembangkan. Dari aspek teknologi, prototipe mesin distilasi dengan distilator refrigerasi sudah dibuat dan secara terpisah juga sudah dikembangkan sistem tenaga surya. Keduanya sudah dilakukan pengujian pada tingkat laboratorium.

1.2 Teknologi Distilasi

Proses yang terjadi pada mesin distilasi produk pertanian adalah terjadi pemisahan minyak atau alkohol dari bahan bakunya dengan bantuan penguapan atau uap air dan selanjutnya dikondensasikan. Secara umum mesin distilasi produk pertanian menerapkan metode kondensasi dengan pendinginan air. Hal ini membuat mesin distilasi kurang praktis karena ukurannya menjadi besar. Pada Gambar 1.1 ditunjukkan mesin distilasi dengan pendinginan air yang ada saat ini. Mesin dengan tipe seperti pada gambar tersedia dalam rentang kapasitas 10 kg - 100 kg dengan kisaran harga dari 20 juta sampai dengan 100 juta rupiah [6].

Mesin distilasi untuk aplikasi memproduksi Arak Bali, secara umum masyarakat Bali masih menggunakan peralatan distilasi tradisional sehingga belum diketahui dengan jelas kadar alkohol (etanol) yang ada dalam arak yang diproduksi dan konsistensi kualitas arak sangat sulit dipertahankan [7,8]. Proses pengolahan yang sederhana tersebut rentan terhadap timbulnya masalah kesehatan, terutama ada kandungan methanol apabila diminum akan dapat menimbulkan efek beracun pada tubuh manusia. Penyalahgunaan arak sebagai minuman beralkohol sudah dipublikasi oleh dinas terkait seperti dilaporkan pada [9,10]. Namun dalam batas-batas tertentu minuman beralkohol di berbagai negara diizinkan atau halal untuk dikonsumsi [11].

Bali sebagai daerah wisata, Arak Bali juga sangat diminati oleh tamu-tamu dari manca negara. Arak Bali akhir-akhir ini juga semakin memberikan dampak ekonomi yang baik bagi petani arak di Karangasem, Bali. Apalagi perhatian Gubernur Bali sangat serius akan perkembangan minuman tradisional khas Bali ini. Terbukti telah diterbitkan Peraturan

Gubernur Bali no.1 tahun 2020 tentang tata kelola minuman fermentasi atau distilasi khas Bali termasuk Arak Bali [6].



Gambar 1.1. Foto mesin distilasi yang tersedia di pasar nasional [6]

Dengan dukungan pemerintah Daerah Bali dan keyakinan Gubernur Bali bahwa arak Bali sangat efektif dan bermanfaat sebagai bahan dasar terapi Covid-19 dengan efek kesembuhan yang tinggi, petani arak semakin leluasa memproduksi arak dan perekonomian rakyat meningkat. Pengelolaan produksi masih sangat tradisional dengan peralatan distilasi yang juga sangat sederhana seperti yang diilustrasikan pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2. Peralatan distilasi sederhana yang digunakan oleh petani Arak Bali

Dengan terbitnya Peraturan Gubernur Bali no. 1 tahun 2020, perhatian Pemerintah atau Dinas terkait, masyarakat semakin tinggi akan manfaat dan nilai strategis dan ekonomis dari Arak Bali. Usaha-usaha

Gubernur Bali semakin nyata untuk meningkatkan produk khas Bali ini agar semakin dikenal di dunia internasional atau mampu bersaing dengan produk negara lain seperti sake dan soju. Termasuk berkerja sama dengan institusi pendidikan dan penelitian dalam mengembangkan TTG yang dapat membantu meningkatkan proses produksi dan konsistensi kualitas produk petani Arak Bali di Karangasem [12].

Penggunaan peralatan distilasi semakin maju dan berkembang. Pada Gambar 4 disajikan foto mesin distilasi yang sudah dikembangkan di Politeknik Negeri Bali (PNB) dan yang dipergunakan oleh UKM Bali dimana keduanya menggunakan konsep kondensasi menggunakan air. Gambar 5 menyajikan pre-prototipe mesin distilasi dengan distilator refrigerasi dan telah teruji dapat menjaga konsistensi kualitas produk.



Gambar 1.3. Mesin distilasi TTG digunakan oleh petani Arak Bali

Teknologi yang diterapkan pada mesin distilasi seperti yang disajikan pada Gambar 1.4 adalah distilator refrigerasi dengan sumber listrik PLN. Dengan tangki penampungan bahan baku yang cukup besar. Pendinginan sistem refrigerasi dilakukan secara konvektif aliran natural melalui perpindahan panas pada tangki penampung bahan baku dengan tujuan menghangatkan bahan baku sebelum dimasukkan ke boiler. Tetapi hasil pengujian menunjukkan metode pendinginan seperti ini tidak mampu mendinginkan sistem refrigerasi secara optimal. Sehingga mesin secara keseluruhan hanya mampu beroperasi dalam 2 jam karena tidak mampu

lagi melakukan kondensasi uap Arak atau produk pertanian yang lainnya dengan efektif.



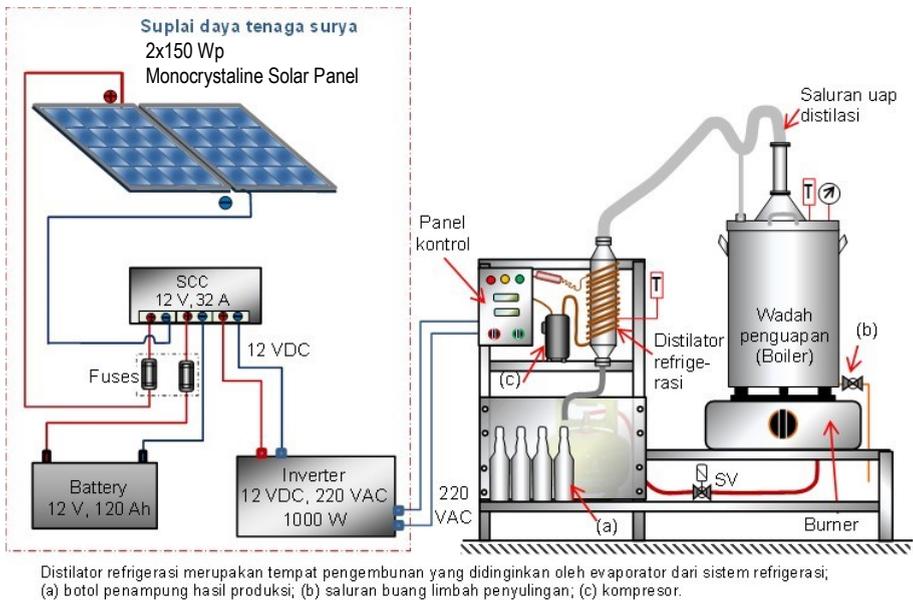
Gambar 1.4. Prototipe mesin distilasi arak menerapkan distilator refrigerasi dengan kondensor pendinginan natural

1.3 Teknologi Mesin Distilasi Tenaga Surya

Adapun teknologi tepat guna yang diterapkan pada mesin distilasi tenaga surya ini menggabungkan keunggulan teknologi refrigerasi yang hemat energi (*energy efficient refrigeration technology*) menggunakan R-134A dan teknologi energi terbarukan (*renewable energy technology*) yaitu tenaga surya. Teknologi yang diterapkan juga dilengkapi dengan sistem kontrol yang mampu mengendalikan variabel kontrol secara otomatis. Skematik dari mesin distilasi tenaga surya diilustrasikan pada Gambar 1.5. Dari Gambar 1.5 dapat diketahui tangki penampung bahan baku sudah dihilangkan karena dianggap tidak efektif penggunaannya, karena jumlah bahan baku yang dihasilkan petani masih skala kecil.

Tiga variabel kontrol dalam mesin distilasi refrigerasi tenaga surya mencakup: temperatur penguapan di dalam boiler, temperatur pengembunan di dalam distilator refrigerasi dan waktu atau lamanya proses distilasi dalam sekali pengisian bahan baku tuak fermentasi pada boiler. Temperatur penguapan di dalam boiler akan dikontrol pada rentang penguapan etanol sekitar 78,4 °C. Kemudian baru diikuti dengan

mengontrol temperatur distilator refrigerasi untuk memulai proses kondensasi arak Bali. Apabila kondensasi dilakukan lebih awal atau di bawah temperatur 78,4 °C, ada kemungkinan akan diperoleh methanol di dalam Arak Bali dan hal ini tidak bagus untuk kesehatan tubuh manusia karena turunan metaboliknya beracun. Pengaturan variabel kontrol sudah dibuat profilnya sampai ditemukan karakteristik proses produksi yang sesuai untuk mendapatkan kualitas Arak Bali memenuhi kualitas produk industri dan dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar terapi penyakit sejenis Covid-19.



Gambar 1.5. Skematik dari teknologi yang diusulkan untuk mesin distilasi pada penelitian ini

Adapun teknologi tenaga surya yang diterapkan pada mesin distilasi adalah untuk membantu program pemerintah dalam meningkatkan penggunaan sumber-sumber energi terbarukan di Tanah Air. Teknologi tenaga surya sudah mulai banyak diterapkan untuk menggerakkan mesin-mesin refrigerasi seperti yang dilaporkan pada [13-17]. Teknologi refrigerasi pada mesin distilasi Arak Bali tenaga surya ini dimanfaatkan secara optimum pada sisi penyerapan panas di evaporator. Evaporator sistem refrigerasi digunakan untuk mendinginkan distilator sehingga uap arak dapat mengembun dan dialirkan ke wadah atau botol penampungan.

Sedangkan sisi kondensornya menggunakan kondensor berpendingin udara aliran paksa dengan menggunakan kipas (*fan*).

Teknologi mesin distilasi tenaga surya juga dilengkapi dengan sistem kontrol otomatis yang terdiri atas dua thermostat yaitu satu buah untuk mengontrol temperatur penguapan pada boiler dan yang satu lagi digunakan untuk mengontrol temperatur dari distilator. Kedua sistem kontrol ini dapat memberikan fleksibilitas pada mesin untuk menentukan karakteristik operasi mesin distilasi secara spesifik untuk menghasilkan produk arak Bali dengan karakteristik tertentu sesuai dengan spesifikasi kebutuhan.

Prototipe distilator refrigerasi tipe coil-on-tube juga sudah disimulasikan. Tipe penukar kalor coil-on-tube (pipa berbentuk koil dari evaporator sistem refrigerasi dipasang di bagian luar pipa distilator) dapat memberikan efek pendinginan yang lebih cukup baik. Distilator dengan tipe coil-on-tube sudah diterapkan pada pre-prototipe yang sudah dikembangkan sebelumnya. Distilator tipe ini dapat berfungsi dengan baik pada kecepatan produksi yang relatif rendah. Pada kecepatan produksi yang lebih besar terjadi peningkatan temperatur distilator secara bertahap. Tapi dengan diimbangi dengan mesin refrigerasi dengan kondensor aliran paksa maka dapat memberikan efek pendinginan yang lebih baik dan dapat juga diaplikasikan pada mesin distilasi dengan kecepatan produksi yang lebih besar.

Sistem suplai listrik dari distilator refrigerasi disuplai dari sumber energi terbarukan dengan menggunakan off/on-grid solar power supply (sistem tenaga surya off/on-grid yang dapat juga disuplai dari listrik PLN). Sistem pembangkit listrik tenaga surya terdiri dari 2 (dua) panel surya PV. Setiap panel PV memiliki kapasitas 150 Wp. Sistem pembangkit tenaga surya PV juga mencakup inverter off/on-grid dengan kapasitas maksimum 300 W. Panel PV memiliki daya puncak pada tegangan maksimum 18 V dan arus 8,33 A. Sel mono-kristal memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan sel PV polikristalin. Sel PV memiliki efisiensi maksimum 22%. Sistem solar PV juga menggunakan sistem instalasi fixed array 17° tilt angle dengan azimuth mengarah ke utara. Sudut kemiringan yang digunakan adalah sudut kemiringan yang optimum berdasarkan kondisi radiasi matahari di Pulau Bali. Sudut kemiringan optimum adalah dari 10° sampai 18° dan arah utara ditentukan sebagai arah azimuth [18,19].

BAB 2

SPEKIFIKASI MESIN DISTILASI

2.1 Deskripsi Mesin Distilasi Tenaga Surya

Pada Gambar 2.1 disajikan pandangan depan dari prototipe Mesin Distilasi Arak Bali dengan Teknologi Refrigerasi. Mesin terdiri dari beberapa komponen utama seperti: rangka mesin, sistem boiler lengkap dengan burner-nya, tangki penyimpanan bahan baku arak, distilator, sistem control cerdas berbasis PLC.



Gambar 2.1. Pandangan depan Prototipe Mesin Distilasi refrigerasi Tenaga Surya

Sistem boiler merupakan bagian pemanas bahan baku arak dan terjadi proses penguapan kandungan arak dari bahan baku. Sistem boiler terdiri atas tangki boiler yang lengkap dengan handle, saluran masuk bahan baku arak, saluran pembuangan sisa bahan, saluran uap arak, dan burner yang sudah dilengkapi dengan api pilot, katup pengatur aliran, katup solenoid, regulator gas dan tabung gas LPG. Burner yang digunakan adalah burner dengan tekanan rendah, karena dalam proses pembuatan arak perlu

pengaturan penyalan sampai penyalan dengan api sedang. Sistem penyalan dari burner dikontrol secara otomatis melalui smart controller berdasarkan temperatur bahan baku arak di dalam tangki boiler. Tangki boiler dilengkapi juga dengan gelas penduga untuk dapat mengetahui level permukaan cairan bahan baku arak di dalam tangki.

Saluran pengisian tangki dihubungkan dengan tangki penampungan sementara bahan baku arak yang dilengkapi dengan katup pengatur aliran. Sedangkan bagian pengeluaran uap arak langsung disalurkan ke distilator refrigerasi untuk mengalami proses pendinginan dan kondensasi menjadi arak.



Gambar 2.2. Pandangan samping kanan Prototipe Mesin Distilasi Tenaga Surya

Pandangan samping dari mesin distilasi disajikan pada Gambar 2.2 dan 2.3. Dapat dilihat salah satu bagian dari sistem boiler yaitu tabung LPG yang memberikan bahan bakar ke burner boiler. Juga terlihat jelas komponen utama sistem refrigerasi yaitu kompresor. Kompresor terhubung dengan sistem kontrol cerdas yang mematikan dan menghidupkan kompresor berdasarkan seting temperatur pada distilator.

Bagian yang juga cukup penting dalam proses distilasi adalah pengisian bahan baku arak yang dilakukan dengan membuka tutup atas dari tangki boiler. Tangki bahan baku yang sekaligus tangki boiler ini dilengkapi dengan kait pengunci antara bagian tutup atas dan tangki bawah. Apabila diperlukan misalnya pada saat membersihkan tangki boiler, bagian bawah tangki dapat dilepas dan dapat dipasang kembali dengan sempurna dengan memastikan kait pengunci tutup dan bagian bawah tangki terkait dengan baik.



Gambar 2.3. Pandangan samping kanan Prototipe Mesin Distilasi Tenaga Surya

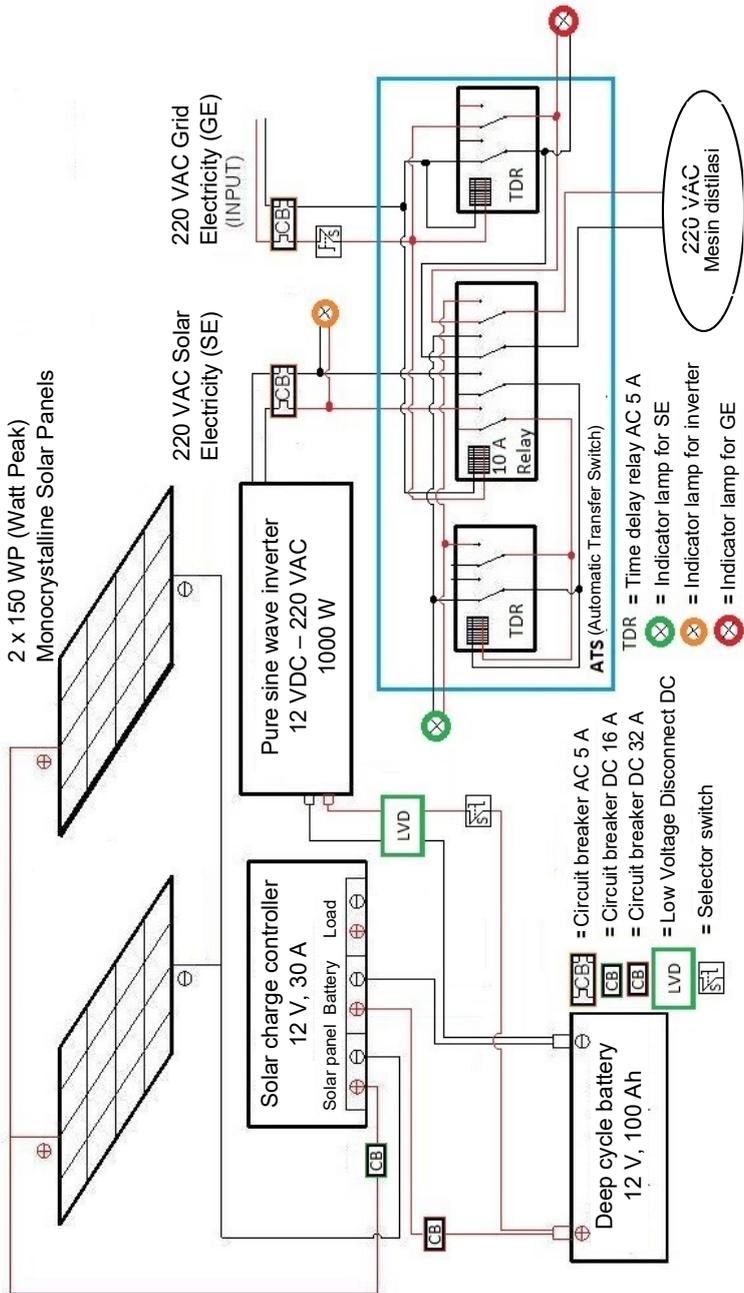
Adapun rangkaian sistem kelistrikan dari sumber pembangkit listrik tenaga surya relatif lebih kompleks karena melibatkan pembangkitan, penyimpanan dan pengkonversian tegangan dari DC 12 V menjadi tegangan AC 220 volt. Adapun detail rangkaian kelistrikan sumber pembangkitan listrik tenaga surya disajikan pada Gambar 2.4. Sistem pembangkit tenaga surya yang diterapkan terdiri dari lima bagian utama: i) panel PV surya; ii) pengontrol muatan surya; iii) unit penyimpanan energi (baterai 100 Ah); iv) inverter gelombang sinus murni 12 VDC-220 VAC 1000 W; dan v) sakelar transfer otomatis (ATS). Sistem refrigerasi pada mesin distilasi adalah unit refrigerasi mandiri yang hemat energi dan ramah lingkungan yang diisi dengan R-134A dengan input daya sekitar 180 W dan 220 VAC.

Kebutuhan energi sistem PV-Mesin distilasi refrigerasi disediakan oleh dua panel fotovoltaik 12VDC 150 Wp yang dihubungkan secara paralel. Panel fotovoltaik yang digunakan adalah jenis monokristalin karena efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan jenis polikristalin. Spesifikasi panel surya disajikan pada Tabel 2.1.

Table 2.1. Specification of the 150 WP monocrystalline solar panel used in the investigation

Parameters	Nilai	Parameters	Nilai
Daya maksimum P_{max} (Wp)	150	Ukuran (mm)	1476 x 671 x 30
Tegangan P_{max} (V)	18	Berat (kg)	10.2
Arus P_{max} (A)	8.33	Ukuran cell (mm)	156 x 156
Tegangan sirkuit terbuka (V)	21.6	Jumlah cell	36
Arus short circuit (A)	9.17	Tipe cell	Mono-crystalline silicon

Unit pengontrol muatan surya mengatur output DC dari panel PV, dan memasok energi matahari ke unit baterai. Unit kontrol mencegah baterai dari pengisian berlebih dan pengosongan penuh. Sistem baterai terdiri dari baterai tipe kering 100 Ah - 12 VDC tunggal. Inverter gelombang sinus murni mengubah tegangan daya 12 V yang disuplai dari sistem baterai menjadi 220 VAC yang dikirim ke sistem refrigerasi dari mesin distilasi melalui unit ATS. Unit inverter memiliki kapasitas 1000 W. Kapasitas ini diperlukan untuk mengakomodasi fluktuasi permintaan daya dari mesin distilasi terutama selama "start" dalam mode siklus "on-off". Unit ATS disediakan dalam sistem pembangkit daya PV untuk memungkinkan sistem menggunakan daya baik yang dipasok dari sistem pembangkit tenaga surya atau dari PLN. Ini memberikan fleksibilitas tinggi pada mesin distilasi tenaga surya. Dalam sistem refrigerasi mesin distilasi tenaga surya, pemilihan dan pemasangan yang tepat dari komponen berukuran tepat secara langsung mempengaruhi fleksibilitas sistem, keandalan, masa pakai, dan biaya awal. Dengan menggunakan lebih banyak baterai dan meningkatkan jumlah susunan panel PV dapat memperpanjang masa pakai dan keandalan sistem PV yang dirancang untuk penggunaan tertentu. Ini akan, bagaimanapun, meningkatkan biaya awal dari sistem pembangkit listrik tenaga surya. Jumlah panel dalam susunan sistem pembangkitan tenaga surya dan ukuran kapasitas penyimpanan baterai bervariasi tergantung pada lokasi dimana mesin distilasi digunakan.



Gambar 2.4. Rangkaian sistem kelistrikan unit pembangkit listrik tenaga surya Mesin Distilasi

2.2 Kebaharuan Mesin Distilasi Tenaga Surya

Secara umum teknologi refrigerasi yang diterapkan pada mesin distilasi dimanfaatkan secara optimal dari sisi penyerapan panas di evaporator. Evaporator sistem refrigerasi digunakan untuk mendinginkan distilator sehingga uap arak dapat mengembun dan mengalir ke dalam botol penyimpanan. Bagian mesin distilasi tanpa pembangkit listrik tenaga surya disajikan pada Gambar 2.5



Gambar 2.5. Mesin distilasi secara individual tanpa pembangkit listrik tenaga surya

Salah satu kebaharuan dari mesin distilasi tenaga surya yang ditampilkan adalah distilator refrigerasi. Distilator ini bisa menjalankan fungsinya untuk mengubah wujud uap arak dari boiler menjadi arak karena mendapatkan dingin dari efek refrigerasi yang diberikan oleh sistem refrigerasi. Pada Gambar 2.6 dapat dilihat tabung distilator yang terbuat dari bahan stainless steel dililit dengan pipa tembaga yang tidak lain adalah evaporator dari sistem refrigerasi. Di bagian dalam tabung distilator dilengkapi dengan semacam baffle yang memperlambat aliran gas arak. Baffle ini dihubungkan dengan dinding distilator yang dingin sehingga juga ikut dingin. Jadi baffle di samping memperlambat aliran juga memperluas bidang kontak dengan uap arak yang panas. Konstruksi seperti meningkatkan keefektifan dari distilator.



Distilator refrigerasi (evaporator)



Sistem refrigerasi

Gambar 2.6. Distilator refrigerasi, rangkaian sistem refrigerasi dan kompresor

Distilator secara terintegrasi juga merupakan bagian dari sistem refrigerasi dari mesin distilasi. Evaporator dari sistem refrigerasi dililit di bagian permukaan luar dari distilator seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.5. Setelah menyerap panas dari distilator dalam hal ini panas dari uap arak, kemudian panas ini oleh refrigeran disalurkan dan dibuang di kondensor setelah refrigerant mengalami kompresi di kompresor. Panas dari kondensor tidak di buang ke udara luar tetapi dimanfaatkan untuk pemanasan awal bahan baku arak yang ada di dalam tangki penampung bahan baku. Sehingga bahan baku relatif lebih hangat begitu disalurkan ke boiler. Hal ini dapat mengurangi konsumsi bahan bakar dari sistem boiler.

Kebaharuan yang ditampilkan pada mesin ini akan membuat mesin lebih kompak dibandingkan dengan mesin distilasi yang menggunakan pendinginan udara atau pendinginan air. Di samping bahan stainless steel yang digunakan akan menjamin kebersihan dan higienitas dari produk arak yang dihasilkan. Di samping itu dengan diaturnya temperatur pendinginan dikombinasikan dengan pengaturan temperatur pemanasan di boiler dapat memberikan varian produk arak sesuai dengan kebutuhan pasar. Kemampuan menjaga operasional temperatur pada distilator dan boiler dapat meningkatkan kebaharuan mesin distilasi karena mampu menjaga konsistensi kualitas produk yang dihasilkan.

2.3 Sistem Kendali Cerdas Menjamin Konsistensi Kualitas Produksi

Pengaturan dan penjaagaan level temperatur pada kedua komponen keabahruan (distilator dan boiler) dari mesin distilasi dilakukan oleh sistem kendali cerdas yang ada pada panel kontrol kelistrikan yang dapat dilihat pada Gambar 2.7. Sistem kendali cerdas tersebut berbasis PLC yang terdiri atas: (i) Controller kendali temperatur distilator, yang berfungsi menjaga dan mengatur temperatur kondensasi dari uap arak di dalam distilator; (ii) Controller kendali temperatur penguapan di dalam boiler, berfungsi menjaga dan mengatur temperature penguapan bahan baku arak menjadi uap arak di dalam boiler. Akurasi pengaturan temperature pada kisaran ± 2 °C.

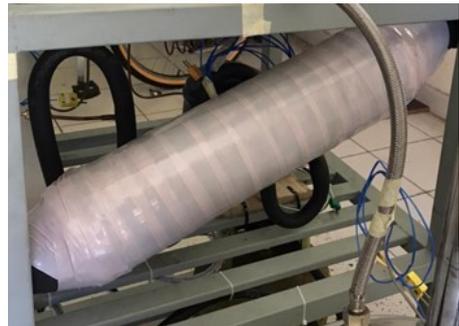


Panel kontrol dengan sistem kendali cerdas berbasis PLC

1. Controller kendali temperatur distilator
2. Controller kendali temperatur penguapan di



Burner dari boiler - penghasil uap



Distilator - pengembun uap arak

Gambar 2.7. Sistem kendali cerdas berbasis PLC dari mesin distilasi dengan teknologi refrigerasi

Kontroller untuk distilator bekerja berdasarkan sensor temperatur yang dipasang pada badan distilator. Sensor ini memberikan signal level

temperatur dari distilator sebagai input. Berdasarkan input ini controller selanjutnya memberikan respon berupa signal "On atau Off" ke sistem refrigerasi. Apabila level temperatur sudah berada pada seting pengaturan, maka kompresor dari sistem refrigerasi dibuat "Off" dan sebaliknya.

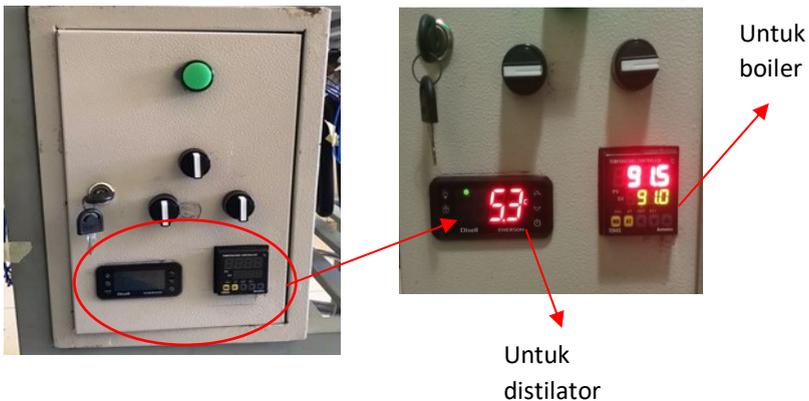
Sedangkan untuk kontroller boiler, sebuah sensor temperatur dipasang atau dicelupkan di dalam cairan bahan baku arak di dalam boiler. Sensor ini memberikan informasi kepada controller level temperatur proses penguapan arak yang terjadi di dalam boiler. Controller akan menutup katup suplai bahan bakar ke burner dan mematikan api (kecuali api pilot tetap menyala) apabila temperatur cairan bahan baku di boiler sudah mencapai temperature pengaturan. Berdasarkan kemampuan pengaturan yang diberikan oleh kedua controller, Mesin Distilasi dapat menampilkan kendali yang cerdas dalam menjaga konsistensi kondisi operasional yang berimbas kepada konsistensi kualitas produksi. Kemampuan pengaturan yang cerdas ini mesin distilasi mampu memberikan berbagai varian kualitas arak yang diproduksi.

BAB 3

KARAKTERISTIK OPERASIONAL

3.1 Operasional dan Pengaturan

Pengaturan dan pemeliharaan level temperatur pada dua komponen utama distilator dan boiler dari mesin distilasi dilakukan dengan sistem kontrol cerdas yang terletak di panel kontrol listrik (Gambar 3.1). Sistem kendali cerdas terdiri dari: (i) Pengontrol temperatur distilator yang berfungsi untuk menjaga dan mengatur temperatur kondensasi uap arak di distilator; (ii) Pengatur temperatur boiler yang menjaga dan mengatur temperatur penguapan bahan baku arak menjadi uap.



Gambar 3.1. Sistem kendali cerdas Distilator dan Boiler

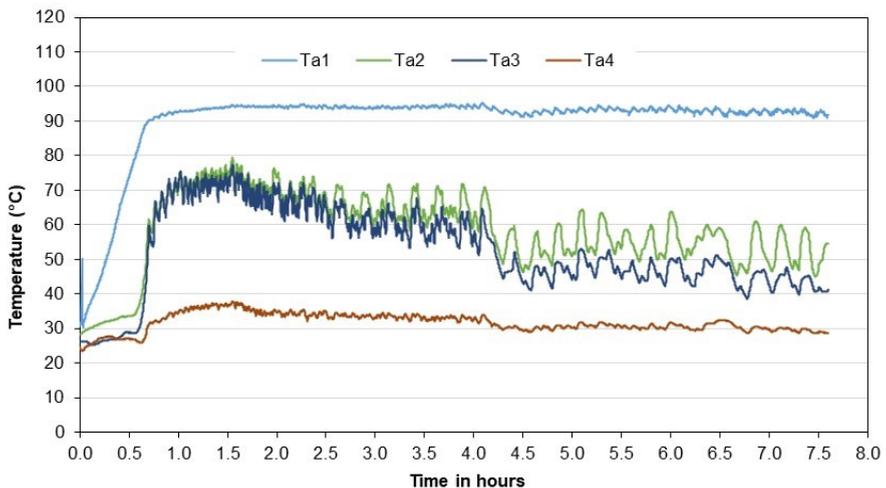
Kontroler untuk distilator bekerja berdasarkan sensor temperatur yang dipasang pada badan distilator. Sensor ini memberikan sinyal level temperatur dari distilator sebagai input. Berdasarkan masukan tersebut, kontroler kemudian memberikan respon berupa sinyal "On atau Off" ke sistem refrigerasi. Jika level temperatur sudah tercapai, maka kompresor sistem refrigerasi dibuat "Off" dan sebaliknya.

Untuk pengontrol boiler, sensor temperatur dibenamkan ke dalam bahan tuak atau nira yang difermentasi. Sensor ini memberikan informasi

kepada pengontrol tingkat temperatur proses penguapan yang terjadi di boiler. Kontroller menutup katup suplai bahan bakar ke burner dan mematikan burner (tetapi api pilot tetap menyala) ketika temperatur penguapan di boiler telah mencapai temperatur pengaturan. Berdasarkan kemampuan regulasi yang diberikan oleh kedua pengontrol tersebut, Mesin Distilasi dapat melakukan kontrol cerdas dalam menjaga konsistensi kondisi operasional yang mempengaruhi kualitas produk. Dengan menggunakan intelligent control, mesin tersebut mampu memberikan berbagai varian kualitas dari Arrack Bali. Kontroler juga dapat memastikan bahwa temperatur penguapan dalam boiler adalah 78,4 °C atau lebih. Oleh karena itu, hanya etanol yang diproduksi.

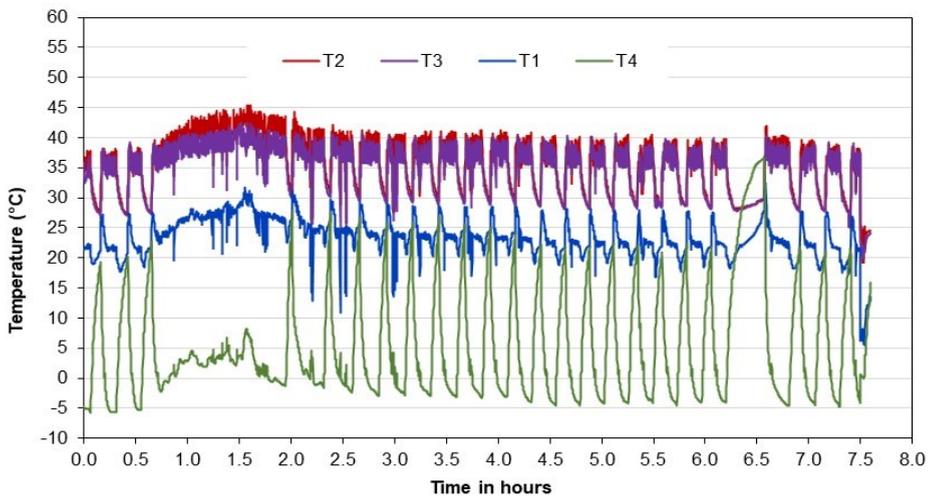
3.2 Karakterisasi Produksi pada Mesin Distilasi

Mesin ini menggabungkan kebaruan yang mencakup distilator refrigerasi dan pengontrol cerdas untuk boiler dan distilator. Mesin dapat bekerja dengan andal dengan beberapa karakteristik produksi. Gambar 3.2 menunjukkan salah satu karakterisasi produksi Arak Bali menggunakan mesin distilasi. Gambar tersebut menunjukkan karakteristik operasional dari 7 jam produksi terus menerus. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa mesin dapat mempertahankan temperatur boiler dan distilator secara stabil dimana bahan baku diuapkan dan dikondensasikan.



Gambar 3.2. Karakterisasi temperatur produksi arak Bali: di boiler (Ta1), pada pipa penghubung (Ta2), masuk ke distilator (Ta3) dan keluar dari distilator (Ta4) atau ke botol penyimpanan

Temperatur kondensasi pada distilator diperkirakan dengan menggunakan temperatur pada inlet (T_{a3}) dan outlet (T_{a4}) dari distilator dengan rata-rata berkisar antara 25 sampai 50 °C. Penurunan temperatur terjadi di sepanjang pipa penghubung dari boiler ke distilator sekitar 20-30 K. Penurunan temperatur ini tidak hanya disebabkan oleh kehilangan panas di sepanjang pipa penghubung tetapi juga karena panas yang diserap oleh evaporator dari sistem refrigerasi di distilator. Temperatur nira yang difermentasi pada gambar mengacu pada temperatur awal bahan baku di tangki boiler.



Gambar 3.3. Karakterisasi temperatur pendinginan dari distilator refrigerasi

Temperatur refrigerasi yang digunakan untuk menggerakkan distilator refrigerasi ditunjukkan pada Gambar 3.3. Terlihat jelas bahwa sistem refrigerasi yang terdiri dari 1/4 Pk condensing unit dapat mempertahankan temperatur dengan siklus On dan Off yang teratur. Ini berarti sistem refrigerasi dapat mencapai set point 5 °C selama masa produksi. Variasi temperatur yang ditunjukkan pada Gambar 3.3 juga menunjukkan distilator refrigerasi dapat diandalkan untuk mengkondensasikan uap arak selama proses produksi (di mana T_1 = temperatur refrigeran masuk kompresor atau keluar distilator, T_2 = temperatur saat keluar kompresor, T_3 = temperatur keluar kompresor kondensor dan T_4 = temperatur refrigeran yang masuk ke evaporator atau distilator).

Dengan demikian, mesin distilasi dapat bekerja dengan andal dengan beberapa karakteristik produksi. Mesin juga mampu secara konsisten memproduksi beberapa varian Arak Bali yang dapat dikelompokkan menjadi empat grade: Grade-Super, Grade-1, Grade-2 dan Grade-3 dengan kadar alkohol di atas 40%, 30%, 20%, 10% masing-masing. Varian ini dihasilkan dari karakteristik produksi pada temperatur boiler 87-95 °C, temperatur penyuling dari -5 hingga 30 °C dan waktu produksi yang sesuai masing-masing 0-1, 1-2, 2-3, dan 3-6 jam seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.1. Dalam penelitian ini, pengelompokan dan grading produk arak Bali dikembangkan untuk mengakomodasi pengelompokan yang dilakukan oleh petani arak.

Tabel 3.1. Karakteristik produksi Arak Bali

Parameter produksi	Arak Bali Product Grade			
	G-S	G-1	G-2	G-3
Boiler temperature (°C)	87-95	87-95	87-95	87-95
Distilator temperature (°C)	-5 to 27	-5 to 27	-5 to 27	-5 to 27
Time of production (hours)*	0 -1	1-2	2-3	3-6
Volume (L)	0.34	0.31	0.30	0.90
Alcohol content (%)	42	34	29	15
Productivity (mL/hour)	340	310	300	300
Energy use intensity (kWh/L)	3.01	3.31	3.42	3.42

Kandungan alkohol masing-masing grade: Grade Super (G-S) >40%-50%; Grade-1 (G-1) >30%-40%; Grade-2 (G-2) >20%-30% and Grade-3 (G-3) >10%-20%; *Time of production including time required for initial process of distillation about 20-30 minutes.

3.3 Produktivitas dan Kinerja Energi

Dari segi performa energi dan produktivitas, hasil pengujian menunjukkan mesin distilasi mampu menghasilkan Arack Bali Grade-Super (G-S) sekitar 340 mL per jam dengan konsumsi energi per liter Arak Bali Grade-Super sekitar 3,01 kWh. Lebih detail intensitas penggunaan energi dan produktivitas mesin dengan varian produk Arak Bali lainnya dapat dilihat pada Tabel 3.1. Intensitas penggunaan energi meningkat ketika kadar alkohol menurun. Artinya, untuk memproduksi Arak Bali dengan kadar rendah akan membutuhkan lebih banyak energi. Hal ini disebabkan oleh semakin banyak kandungan air yang harus diuapkan dan dikondensasikan dimana air memiliki suhu dan energi penguapan atau

pengembunan yang lebih tinggi dibandingkan alkohol. Penggunaan energi dan produktivitas mesin destilasi tenaga surya tidak dapat dibandingkan dengan mesin tradisional yang digunakan oleh petani karena belum ada publikasi yang menyajikan penggunaan energi dan produktivitas mesin distilasi tradisional. Penggunaan energi mungkin sulit diukur karena penggunaan biomassa dengan kompor tradisional sebagai boiler-nya. Dengan menggunakan mesin distilasi ini dengan distilator refrigerasi, produksi dapat diulang dengan karakteristik operasional yang sama dan dengan kualitas produk yang konsisten.

BAB 4

PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Mesin distilasi tenaga surya sudah mengalami optimasi untuk menyempurnakan kinerja dan konsistensi proses distilasi. Dari hasil Optimasi Mesin Distilasi Refrigerasi Arak Bali dengan Penambahan Kondensor Aliran Paksa ini menggunakan tabung penampung bahan baku (tuak) berukuran 350 mm x 390 mm, dan ukuran tabung destilator 500 mm x 100 mm x 100mm, dan untuk rangka alat berukuran 600mm x 600mm x 850mm. Adapun komponen refrigerasi yang digunakan secara umum mirip dengan mesin refrigerasi kompresi uap seperti kompresor, kondensor aliran paksa untuk meningkatkan kemampuan membuang panas dengan pendinginan menggunakan kipas, pipa kapiler, evaporator sebagai alat pendingin untuk membantu mendinginkan uap yang masuk ke distilator dan menambahkan thermometer untuk menstabilkan suhu di boiler dan solenoid valve untuk mengatur keluaran gas dan api lilin digunakan untuk menjaga agar sumbu api utama tetap hidup. Pada mesin distilasi refrigerasi ini menggunakan menggunakan kompresor 1/4 Pk dengan refrigeran R-134A.

Mesin distilasi refrigerasi tenaga surya ini dapat beroperasi dengan sistem refrigerasi kompresi uap dan dapat memberikan variasi produk arak sesuai dengan setting temperatur boiler, destilator dan waktu produksi. Jadi sistem kendali ini bisa mengatur atau memberikan variasi produk arak sesuai dengan temperatur dan waktu produksi. Mesin dapat bekerja dengan andal dengan beberapa karakteristik produksi. Hasil uji produksi menunjukkan beberapa varian Arack Bali dapat diproduksi secara konsisten. Empat grade Arrack Bali dapat diproduksi menggunakan mesin yang meliputi Grade-Super, Grade-1, Grade-2 dan Grade-3 dengan kandungan alkohol di atas 40%, 30%, 20%, 10%. Varian produk dihasilkan dari karakteristik produksi pada temperatur boiler 87-95 °C, suhu distilator dari -5 hingga 30 °C dan waktu produksi yang sesuai yaitu dari 1 jam sampai dengan 6 jam. Mesin distilasi mampu menghasilkan Arak Bali

Grade-Super sekitar 340 mL per jam dengan konsumsi energi per liter Arrack Bali Grade-Super sekitar 3,01 kWh. Intensitas penggunaan energi cenderung meningkat ketika memproduksi Arrack Bali grade yang lebih rendah.

4.2 Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Direktorat Akademik Pendidikan Tinggi Vokasi, Direktorat Jenderal Pendidikan Vokasi, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia yang telah mendanai program penelitian terapan dengan produk Mesin Distilasi Tenaga Surya. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Bali atas dukungan administratifnya. Penulis lebih lanjut mengucapkan terima kasih kepada mahasiswa dan teknisi Politeknik Negeri Bali atas pengumpulan data dan dukungan administrasi.

DAFTAR PUSTAKA

1. Pearce, J.M., Albritton, S., Grant, G., Steed, G., and Zelenika, I. 2014. A new model for enabling innovation in appropriate technology for sustainable development. *Sustainability: Science, Practice, & Policy* 8(2): 42-53.
2. Shin, H., Hwang, J., Kim, H. 2019. Appropriate technology for grassroots innovation in developing countries for sustainable development: The case of Laos. *Journal of Cleaner Production* 232: 1167-1175.
3. Patnaik, J. and Bhowmick, B. 2019. Revisiting appropriate technology with changing socio-technical landscape in emerging countries. *Technology in Society* 57: 8-19.
4. Boakye-Ansah, A.S., Schwartz, K., Zwarteveen, M. 2020. Aligning stakeholder interests: How 'appropriate' technologies have become the accepted water infrastructure solutions for low-income areas. *Utilities Policy* 66: 101081.
5. Suamir, I.N., Arsana, M.E., Subagia, I.W.A., Rasta, I.M., Midiani, L.P.I., and Wibolo, A., 2019. Site investigation on water cooled chiller plant for energy conservation and environmental impact reduction of a large shopping mall. *AIP Conf. Proc.* 2187, <https://doi.org/10.1063/1.5138297>.
6. Silemanjaya, 2022. *Jual Mesin Penyulingan Minyak Atsiri*. Available at: <https://www.tokopedia.com/sileman/mesin-penyulingan-penyulingan-minyak-atsiri-kapasitas-50-kg>
7. Widya Astuti, N.P., Suaniti, N.M., dan Mustika, I.G., 2018. Validasi metode dalam penentuan kadar etanol pada arak dengan menggunakan kromatografi gas detektor ionisasi nyala. *Jurnal Kimia* 11(2): 128-133.
8. Suaniti, N.M., Astiti Asih, I.A.R., Widya, Astuti, N.P. 2012. Deteksi Etanol setelah Konsumsi Arak dalam Urin dengan Gas Chromatography. *Jurnal Kimia* 6 (2): 112-115.
9. Depkes RI. (2014). *Bahaya Minuman Beralkohol Bagi Kesehatan*. Available from: www.depkes.go.id, 15 Agustus 2017.
10. Dinas Kesehatan Provinsi Bali. 2014. *Laporan Kejadian Keracunan Minum Arak, Bali: Dinas Kesehatan Provinsi Bali*.

11. Anis Najiha, A. dan Wan Nadiah, W.A. 2014. Alkohol (Arak dan Etanol) dalam Makanan Halal. *Jurnal Intelek* 9(1): 40-51.
12. Rhismawati, N.L. 2020. Gubernur Bali terbitkan pergub soal tata kelola arak Bali. <https://bali.antaranews.com/berita/179051/gubernur-bali-terbitkan-pergub-soal-tata-kelola-arak-bali>.
13. Elias, M., Saliliha, Yilma, T., Birhane. 2019. Modelling and performance analysis of directly coupled vapor compression solar refrigeration system. *Solar Energy* 190: 228–238.
14. Elias M., Salilih, Yilma T., Birhane, Nidal, H., and Abu-Hamdeh. 2020. Performance prediction of a solar refrigeration system under various operating pressure of evaporator and condenser. *Solar Energy* 209: 485–492.
15. Tian-fei, H., Jian-kun, L., Zhong-hua, H., Jian, C. 2020. Design and experimental study of a solar compression refrigeration apparatus (SCRA) for embankment engineering in permafrost regions. *Transportation Geotechnics* 22: 100311.
16. Li, Y. and Wang, R.Z. 2016. Photovoltaic-powered solar cooling systems. *Advances in Solar Heating and Cooling*: 227-250.
17. Suamir, I.N., Wirajati, I.G.A.B., Santosa, I.D.M.C., Susila, I.D.M. and Tri Putra, I.D.G.A. 2020. Experimental Study on the Prospective Use of PV Panels for Chest Freezer in Hot Climate Regions. *Journal of Physics: Conference Series* 1569: 032042.
18. Sugirianta, I.B.K., Sunaya, I.G.A.M., Saputra, I.G.N.A. D., 2020. Optimization of tilt angle on-grid 300 Wp PV plant model at Bukit Jimbaran Bali. *J. Phys: Conf. Ser.* 1450: 012135.
19. Handoyo, E.A., Ichsani, D., and Prabowo, 2013. The optimal tilt angle of a solar collector. *International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application (ICSEEA)*. *Energy Procedia* 32: 166-175