

PROTEKSI ISI LAPORAN AKHIR PENELITIAN

Dilarang menyalin, menyimpan, memperbanyak sebagian atau seluruh isi laporan ini dalam bentuk apapun kecuali oleh peneliti dan pengelola administrasi penelitian

LAPORAN AKHIR PENELITIAN MULTI TAHUN

ID Proposal: b165a90f-8494-4a45-81e4-9bb6c01280fc
Laporan Akhir Penelitian: tahun ke-3 dari 3 tahun

1. IDENTITAS PENELITIAN

A. JUDUL PENELITIAN

Pengembangan Cold Storage Tenaga Surya untuk Meningkatkan Kapasitas dan Kualitas Produksi Perikanan Nasional

B. BIDANG, TEMA, TOPIK, DAN RUMPUN BIDANG ILMU

Bidang Fokus RIRN / Bidang Unggulan Perguruan Tinggi	Tema	Topik (jika ada)	Rumpun Bidang Ilmu
Energi			

C. KATEGORI, SKEMA, SBK, TARGET TKT DAN LAMA PENELITIAN

Kategori (Kompetitif Nasional/ Desentralisasi/ Penugasan)	Skema Penelitian	Strata (Dasar/ Terapan/ Pengembangan)	SBK (Dasar, Terapan, Pengembangan)	Target Akhir TKT	Lama Penelitian (Tahun)
Penelitian Kompetitif Nasional	Penelitian Terapan	SBK Riset Terapan	SBK Riset Terapan	5	3

2. IDENTITAS PENGUSUL

Nama, Peran	Perguruan Tinggi/ Institusi	Program Studi/ Bagian	Bidang Tugas	ID Sinta	H-Index
I NYOMAN SUAMIR Ketua Pengusul	Politeknik Negeri Bali	Teknik Pendingin Dan Tata Udara		5979082	5
SUDIRMAN S.T Anggota Pengusul 1	Politeknik Negeri Bali	Teknik Pendingin Dan Tata Udara	1) Membantu merencanakan pengadaan bahan dan peralatan; 2) Membantu membuat cold room lengkap dengan sistem pemasangan bio-PCM; 3) Membantu membuat sistem refrigerasi dengan tenaga surya; 4) Membantu melakukan	6024583	3

			<p>pengujian sistem cold storage tenaga surya tanpa bio-PCM; 5) Membantu melakukan pengujian sistem cold storage tenaga surya dengan bio-PCM; 6) Membantu melakukan pengolahan data dan analisis hasil pengujian; 7) Membantu melakukan kajian pengaruh teknologi yang diusulkan terhadap kapasitas dan kualitas produksi perikanan nasional; 8) Membantu melakukan analisis komparatif energi dan temperatur performansi antara teknologi yang diusulkan dengan sistem konvensional yang digunakan saat ini; 9) Membantu menyusun artikel untuk publikasi; 10) Membantu mempersiapkan usulan HKI material hayati bio-PCM untuk temperatur kerja -20oC s.d -26oC; 11) Membantu mempersiapkan usulan paten; 12) Membantu mempersiapkan dan membuat laporan kegiatan penelitian</p>		
<p>I NENGAH ARDITA S.T, M.T</p> <p>Anggota Pengusul 2</p>	<p>Politeknik Negeri Bali</p>	<p>Teknik Pendingin Dan Tata Udara</p>	<p>1) Merancang sistem packing dan pemasangan bio-PCM pada cool room; 2) Merancang dan membuat</p>	<p>6022883</p>	<p>2</p>

			<p>dudukan solar panel; 3) Mempersiapkan spesimen sebagai produk yang diinginkan untuk pengujian cold storage dan sistem penempatannya menurut ASHRAE Standard 72 (2005); 4) Membantu merencanakan pengadaan bahan dan peralatan; 5) Membantu membuat cold room lengkap dengan sistem pemasangan bio-PCM; 6) Membantu membuat sistem refrigerasi dengan tenaga surya; 7) Membantu melakukan pengujian sistem cold storage tenaga surya tanpa bio-PCM; 8) Membantu melakukan pengujian sistem cold storage tenaga surya dengan bio-PCM; 9) Membantu melakukan pengolahan data dan analisis hasil pengujian; 10) Membantu melakukan kajian pengaruh teknologi yang diusulkan terhadap kapasitas dan kualitas produksi perikanan nasional; 11) Membantu melakukan analisis komparatif energi dan temperatur performansi antara teknologi yang diusulkan dengan sistem</p>		
--	--	--	--	--	--

			<p>konvensional yang digunakan saat ini; 12) Membantu menyusun artikel untuk publikasi; 13) Membantu mempersiapkan usulan HKI material hayati bio-PCM untuk temperatur kerja - 20oC s.d -26oC; 14) Membantu mempersiapkan usulan paten; 15) Membantu mempersiapkan dan membuat laporan kegiatan penelitian</p>		
<p>Dr GEDE SANTANU S.E., M.M.</p> <p>Anggota Pengusul 3</p>	<p>Politeknik Negeri Bali</p>	<p>Administrasi Bisnis</p>	<p>1) Membuat kajian ekonomis dari sistem cold storage tenaga surya; 2) Membantu melakukan survei kapasitas produksi perikanan nasional dan berbagai daerah di Indonesia; 3) Membantu melakukan survei cara penanganan ikan hasil tangkap nelayan pesisir; 4) Membantu melakukan survei ketersediaan cold storage pada pelabuhan perikanan nasional; 5) Membantu mengolah data dan melakukan analisis hasil survei sebagai informasi pengembangan teknologi yang diusulkan; 6) Membantu melakukan kajian pengaruh teknologi yang diusulkan terhadap kapasitas dan</p>	<p>6034464</p>	<p>0</p>

			kualitas produksi perikanan nasional; 7) Membantu melakukan analisis komparatif energi dan temperatur performansi antara teknologi yang diusulkan dengan sistem konvensional yang digunakan saat ini; 8) Membantu menyusun artikel untuk publikasi		
--	--	--	--	--	--

3. MITRA KERJASAMA PENELITIAN (JIKA ADA)

Pelaksanaan penelitian dapat melibatkan mitra kerjasama, yaitu mitra kerjasama dalam melaksanakan penelitian, mitra sebagai calon pengguna hasil penelitian, atau mitra investor

Mitra	Nama Mitra
Mitra Pelaksana Penelitian	I Gst. Ngr. Putra Astawa, ST
Mitra Calon Pengguna	Pratama Wahyudi Mulyana

4. LUARAN DAN TARGET CAPAIAN

Luaran Wajib

Tahun Luaran	Jenis Luaran	Status target capaian (<i>accepted, published, terdaftar atau granted, atau status lainnya</i>)	Keterangan (<i>url dan nama jurnal, penerbit, url paten, keterangan sejenis lainnya</i>)
3	Dokumentasi hasil uji coba produk	Ada	-

Luaran Tambahan

Tahun Luaran	Jenis Luaran	Status target capaian (<i>accepted, published, terdaftar atau granted, atau status lainnya</i>)	Keterangan (<i>url dan nama jurnal, penerbit, url paten, keterangan sejenis lainnya</i>)
3	Prosiding dalam pertemuan ilmiah Internasional	sudah terbit/sudah dilaksanakan	International Join Conference on Science and Technology
3	Paten Sederhana	terdaftar	-
3	Publikasi Ilmiah Jurnal Internasional	accepted/published	International Journal of Refrigeration
3	Purwarupa/Prototipe	penerapan	-

5. ANGGARAN

Rencana anggaran biaya penelitian mengacu pada PMK yang berlaku dengan besaran minimum dan maksimum sebagaimana diatur pada buku Panduan Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Edisi 12.

Total RAB 3 Tahun Rp. 193,600,000

Tahun 1 Total Rp. 0

Tahun 2 Total Rp. 0

Tahun 3 Total Rp. 193,600,000

Jenis Pembelanjaan	Item	Satuan	Vol.	Biaya Satuan	Total
Bahan	ATK	Paket	1	1,580,000	1,580,000
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	Unit	1	131,460,000	131,460,000
Bahan	Barang Persediaan	Unit	1	60,560,000	60,560,000

6. HASIL PENELITIAN

A. RINGKASAN: Tuliskan secara ringkas latar belakang penelitian, tujuan dan tahapan metode penelitian, luaran yang ditargetkan, serta uraian TKT penelitian.

Cold storage memiliki peran penting dalam mengurangi kerugian pasca panen, meningkatkan kapasitas dan kualitas produksi pangan termasuk perikanan dan akuakultur serta menjaga kestabilan pasokan pangan ke masyarakat. Tetapi perkembangan cold storage secara umum khususnya untuk industri perikanan di Indonesia masih sangat kurang. Sebagai produsen perikanan tertinggi kedua di dunia setelah Cina, Indonesia hanya memiliki 2 dari total 6 pelabuhan perikanan samudera dilengkapi fasilitas cold storage dan hanya 4 dari total 14 pelabuhan perikanan nasional dengan fasilitas cold storage. Kurangnya fasilitas cold storage telah membatasi perkembangan industri perikanan di tanah air. Dalam situasi ini, teknologi yang dapat mendorong pengembangan infrastruktur termasuk cold storage di Indonesia akan meningkat seiring dengan pembangunan ekonomi yang semakin baik.

Proyek penelitian ini menyelidiki teknologi efisien energi untuk aplikasi cold storage yang efisien dan ramah lingkungan serta mampu mendukung pembangunan infrastruktur ketahanan pangan nasional. Pendekatan penelitian yang dilakukan adalah menggabungkan keunggulan penggunaan refrigeran alami seperti hidrokarbon pada sistem refrigerasi cold storage (energy efficient refrigeration technology) dan teknologi energi terbarukan (renewable energy technology) dan teknologi penyimpanan dingin (cold thermal storage) berbasis vegetable oil phase change materials (bio-PCM) sebagai teknologi efisien energi. Sebuah prototipe cold storage bertenaga surya sudah dirancang dan dibangun agar dapat dievaluasi dan dikaji kinerja energi, temperatur, dampak lingkungan serta keunggulan ekonomis pada aplikasi sebagai sistem penyimpanan produk pangan nasional. Prototipe cold storage ini dibangun di Laboratorium Refrigerasi, Politeknik Negeri Bali. Penelitian dilakukan secara bertahap selama 3 tahun.

Pada tahun-1 melakukan investigasi kandidat bahan PCM dari bahan-bahan lokal. Kemudian melakukan pengujian untuk dapat diterapkan pada temperatur kerja dari -20 °C sampai dengan -26 °C. Dua bio-PCM sudah berhasil ditemukan. Data pengujian sudah diperoleh dan sudah dipublikasi dengan konten terbatas karena juga dipersiapkan untuk paten pada tahun-2 dan tahun-3. Simulasi kinerja Cold Storage Tenaga Surya dengan menggunakan model numerik juga dilakukan, kemudian membuat rancangan sistem sesuai hasil simulasi. Pada tahun-2 dimulai proses konstruksi ruang cold storage termasuk mempersiapkan integrasi bio-PCM yang ditemukan pada tahun-1. Sistem refrigerasi dengan refrigeran hidrokarbon juga dibangun dan draft paten mulai disiapkan. Pada tahun-3 adalah melengkapi sistem cold storage dengan sistem instrumentasi dan kontrol dan membuat sistem suplai listrik dengan tenaga surya yang dirancang khusus untuk menggerakkan sistem Cold Storage, pengujian prototipe, pelaporan serta publikasi. Oleh karena adanya pandemi Covid-19 disertai dengan pembatasan kegiatan serta kebijakan lockdown di

kampus, pelaksanaan kegiatan penelitian menjadi terbatas. Pembuatan sistem instrumentasi dan kontrol yang kompleks dan perlu banyak waktu di kampus sempat tertunda, tetapi pada akhirnya dapat dilanjutkan sehingga pengujian cold storage tenaga surya kapasitas 2,5 kW bisa dilakukan. Prototipe bio-PCM cold storage mini (80 W) juga dibuat dari chest freezer standar diintegrasikan dengan Bio-PCM dengan sistem instrumentasi yang lebih sederhana sudah berhasil dibuat dan dilakukan pengujian. Sistem suplai daya tenaga surya (sistem solar PV) tipe “on-grid” kapasitas 3,1 kWp juga sudah berhasil dibangun dan diuji fungsi serta kinerjanya dan diintegrasikan dengan cold storage. Adapun hasil yang telah dicapai dari penelitian tahun-3: sebuah prototipe cold storage tenaga surya lengkap dengan sistem instrumentasi, prototipe bio-PCM cold storage mini lengkap dengan data pengujian, sistem suplai daya tenaga surya “on-grid” 3,1 kWp lengkap dengan data pengujian, 2 paten Bio-PCM sudah terdaftar, artikel prosiding internasional terindex scopus sudah terbit, artikel jurnal internasional Q3 dengan SJR 0,24 sudah accepted dan laporan penelitian.

B. KATA KUNCI: Tuliskan maksimal 5 kata kunci.

Teknologi efisien energi; cold storage; pembangkit listrik tenaga surya; bio-PCM; dampak lingkungan

Pengisian poin C sampai dengan poin H mengikuti template berikut dan tidak dibatasi jumlah kata atau halaman namun disarankan ringkas mungkin. Dilarang menghapus/modifikasi template ataupun menghapus penjelasan di setiap poin.

C. HASIL PELAKSANAAN PENELITIAN: Tuliskan secara ringkas hasil pelaksanaan penelitian yang telah dicapai sesuai tahun pelaksanaan penelitian. Penyajian dapat berupa data, hasil analisis, dan capaian luaran (wajib dan atau tambahan). Seluruh hasil atau capaian yang dilaporkan harus berkaitan dengan tahapan pelaksanaan penelitian sebagaimana direncanakan pada proposal. Penyajian data dapat berupa gambar, tabel, grafik, dan sejenisnya, serta analisis didukung dengan sumber pustaka primer yang relevan dan terkini.

Pengisian poin C sampai dengan poin H mengikuti template berikut dan tidak dibatasi jumlah kata atau halaman namun disarankan ringkas mungkin. Dilarang menghapus/memodifikasi template ataupun menghapus penjelasan di setiap poin.

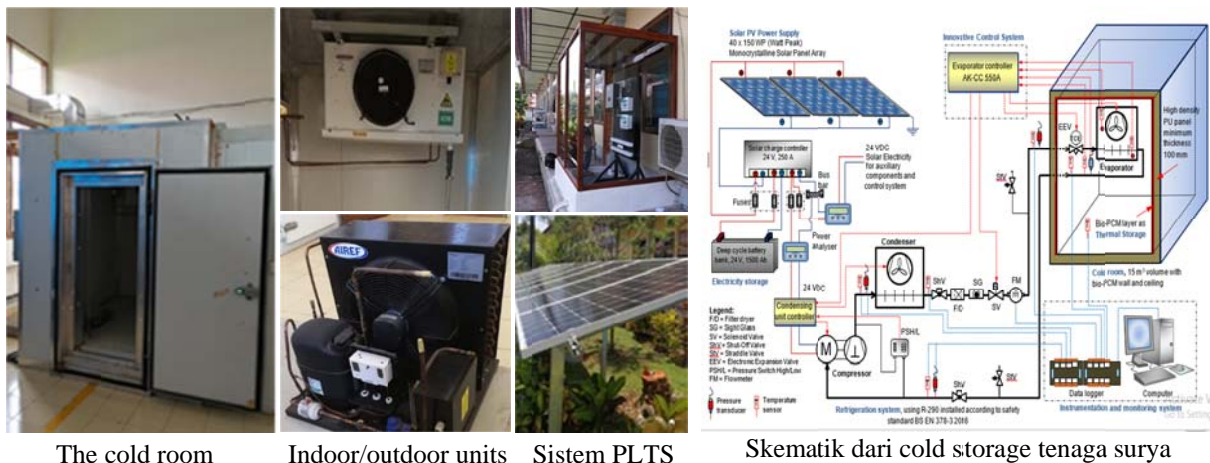
C. HASIL PELAKSANAAN PENELITIAN: Tuliskan secara ringkas hasil pelaksanaan penelitian yang telah dicapai sesuai tahun pelaksanaan penelitian. Penyajian dapat berupa data, hasil analisis, dan capaian luaran (wajib dan atau tambahan). Seluruh hasil atau capaian yang dilaporkan harus berkaitan dengan tahapan pelaksanaan penelitian sebagaimana direncanakan pada proposal. Penyajian data dapat berupa gambar, tabel, grafik, dan sejenisnya, serta analisis didukung dengan sumber pustaka primer yang relevan dan terkini.

Kegiatan penelitian Tahun-3 meliputi beberapa kegiatan untuk dapat menyelesaikan konstruksi prototipe cold storage tenaga surya beserta data kinerjanya yaitu: adalah melengkapi sistem cold storage kapasitas 2,5 kW yang telah dibangun pada Tahun-2 dengan sistem instrumentasi dan kontrol dan membuat sistem suplai listrik tenaga surya yang dirancang khusus untuk menggerakkan sistem Cold Storage, pengujian prototipe, pelaporan, paten dan publikasi baik pada prosiding internasional maupun jurnal internasional.

Hampir semua kegiatan sudah dapat dilaksanakan kecuali pada instalasi sistem instrumentasi dan kontrol yang kompleks dan pengujian cold storage tenaga surya. Kedua kegiatan penelitian ini memerlukan banyak waktu di kampus, sedangkan karena adanya pandemi Covid-19 disertai dengan pembatasan kegiatan serta kebijakan lockdown di kampus, pelaksanaan kedua kegiatan penelitian menjadi terbatas. Sehingga sistem instrumentasi dan kontrol yang kompleks dan perlu banyak waktu di kampus belum selesai dilaksanakan sehingga pengujian cold storage tenaga surya kapasitas 2,5 kW belum bisa dilakukan sampai pada laporan ini dibuat. Tetapi prototipe bio-PCM cold storage mini (80 W) yang dibuat dari chest freezer standar diintegrasikan dengan Bio-PCM dengan sistem instrumentasi yang lebih sederhana sudah berhasil dibuat dan dilakukan pengujian. Sistem suplai daya tenaga surya (sistem solar PV) tipe "on-grid" kapasitas 3,1 kWp juga sudah dibangun dan dihubungkan dengan sistem cold storage dan juga sudah dilakukan pengujian fungsi serta kinerjanya.

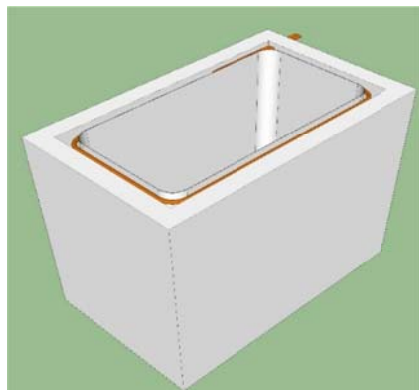
Pencapaian luaran pada Tahun-3 mencakup:

Pencapaian luaran wajib: berupa prototipe cold storage tenaga surya 2,5 kW sudah ada ditambah prototipe Bio-PCM Cold Storage Mini (Bio-PCM Freezer) serta prototipe sistem suplai daya tenaga surya (PLTS) 3,1 kWp tipe on-grid seperti yang disajikan pada Gambar C.1, C.2 dan C.3. Data pengujian juga sudah ada berupa data pengujian Bio-PCM cold storage kapasitas kecil (80 W) dan data pengujian fungsi dan kinerja sistem suplai daya tenaga surya (PLTS) yang dijelaskan lebih rinci pada bagian pengujian prototipe. Data pengujian untuk sistem cold storage tenaga surya kapasitas 2,5 kW juga disajikan setelah pengujian di dalam kampus dapat dikerjakan yang sempat tertunda akibat pandemi Covid-19 dan kampus PNB mengambil kebijakan lockdown dan pembatasan kegiatan kelas dan laboratorium di dalam kampus.

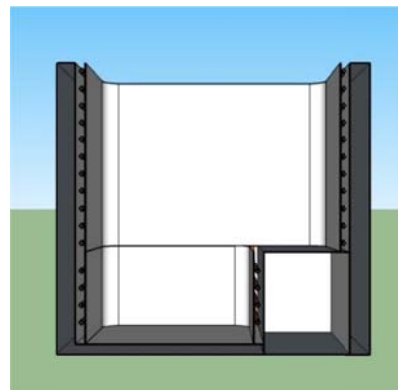


Gambar C.1 Prototipe cold storage tenaga surya kapasitas 2,5 kW

Prototipe cold storage tenaga surya sudah terintegrasi dengan sistem suplai daya tenaga surya (PLTS) lengkap dengan ruang kontrol, sistem instrumentasi dan kontrolnya untuk pengujian yang mencakup sistem data logger lengkap dengan berbagai sensor baik sensor temperatur, tekanan, flowmeter dan power analyzer.



Gambar tiga dimensi dari Bio-PCM freezer tanpa tutup



Gambar potongan Bio-PCM freezer tanpa tutup

Gambar C.2 Prototipe Bio-PCM Cold Storage Mini (Bio-PCM Freezer)



Gambar C.3 Prototipe sistem suplai daya tenaga surya PLTS tipe on-grid lengkap dengan kendalanya (diaplikasikan untuk suplai daya ke *cold storage* atau ruang kantor prodi TPTU yang dipersiapkan menuju *green office*)

Pencapaian luaran tambahan berupa: artikel jurnal internasional, sudah submit sebuah artikel pada sebuah jurnal internasional terindex scopus Q3 SJR 0,24 dan sudah accepted; artikel pada prosiding internasional, juga sudah terbit sebuah artikel dalam prosiding International Conference on Applied Science and Technology (ICAST on Engineering Science) 24–25 October 2019, Bali, Indonesia yang dipublish pada international publisher terindex scopus SJR 0,23 IOP Journal of Physics: Conference series, Volume 1450: 012106, tahun 2020 dengan judul artikel: "*Experimental and numerical optimization on chilled water configuration for improving temperature performance and economic viability of a centralized chiller*", Hak Kekayaan Intelektual (HKI) berupa paten sederhana, telah dilakukan pendaftaran **2 paten Bio-PCM** yaitu:

1. Bahan perubahan fasa (Bio-PCM) *campuran air dan ester minyak jagung* sebagai penyimpan energi termal untuk aplikasi sistem refrigerasi temperatur penyimpanan di bawah 0°C, sudah terdaftar dengan nomor permohonan: P00202010143;
2. Bahan perubahan fasa (Bio-PCM) *campuran air dan ester minyak kedelai* sebagai penyimpan energi termal untuk aplikasi sistem refrigerasi temperatur penyimpanan di bawah 0°C, sudah terdaftar dengan nomor pendaftaran: P00202010149.

Sedangkan luaran tambahan dalam wujud purwarupa atau prototipe, sudah dibuat dan sudah diuji sebuah Bio-PCM Cold Storage Mini kapasitas 80 W. Dari prototipe ini akan dibuat tambahan satu paten dengan judul "Bio-PCM kotak penyimpanan pangan beku (freezer box)" dimana dokumen usulan sedang dipersiapkan untuk didaftarkan ke DJKI juga sebagai luaran dari penelitian pada kegiatan tahun-3.

Pencapaian luaran wajib dalam bentuk data hasil pengujian Bio-PCM cold storage mini kapasitas (80 W) dan data pengujian kinerja sistem suplai daya tenaga surya (PLTS) 3,1 kWp dibahas lebih rinci pada uraian berikut.

1. PENGUJIAN PROTOTIPE BIO-PCM COLD STORAGE MINI KAPASITAS 80 W

1.1 Tahapan dan Prosedur Pengujian

Mini Cold Storage yang digunakan dalam pengujian penerapan Bio-PCM berupa *chest freezer* kapasitas 220 liter dengan 80 - 100 W kapasitas pendinginan. Diawali dengan pengujian kinerja temperatur dan energi dari chest freezer tanpa Bio-PCM selanjutnya dilakukan modifikasi penambahan Bio-PCM dan diuji juga kinerja temperature dan energinya termasuk jumlah siklus on-off dari operasional chest freezer.

Chest Freezer tanpa Bio-PCM

Mini cold storage yang digunakan pada pengujian ini yaitu jenis *chest freezer* yang berkapasitas 220 liter. Adapun foto lengkap dengan spesifikasi dari *chest freezer* disajikan pada Gambar 1.1.

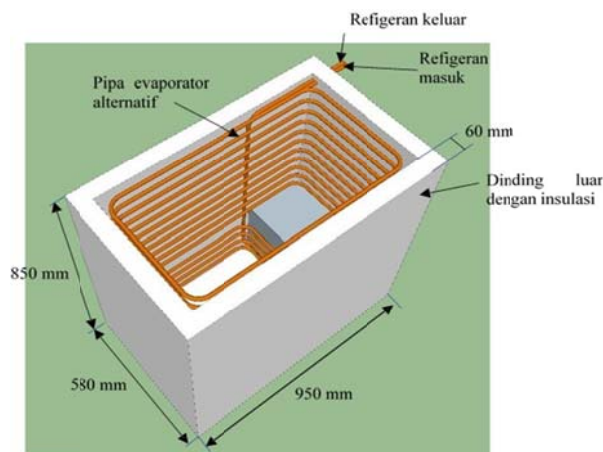


No	Parameter	Data
1	Merek Barang	RSA
2	Model	CF-220
3	Volume	220 L
4	Arus	0,74 A
5	Voltase/Frekuensi	220 V/1P/50Hz
6	Suhu	-15 ~ -20 °C
7	Kelas Iklim	T (Tropicalized)
8	Nama/Massa Refrigeran	R-600a/42 gram
9	Insulasi	Cyclopentane 34 kg
10	Berat bersih	34 kg
11	Negara pembuat	Cina

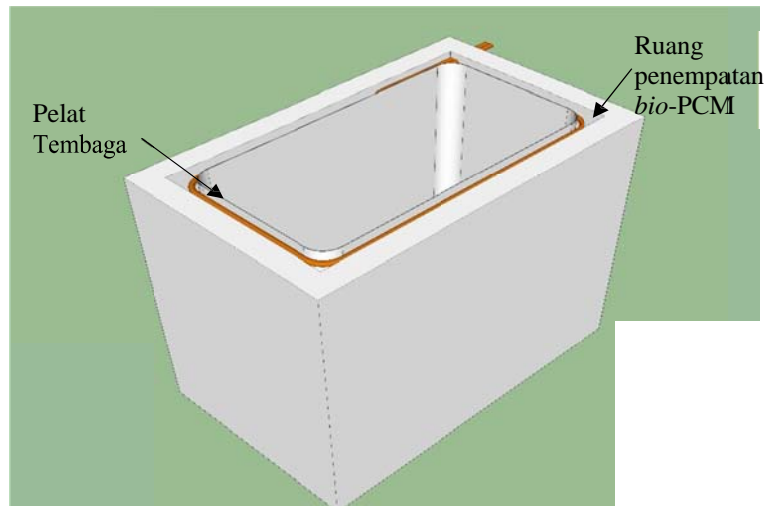
Gambar 1.1 *Chest freezer* kapasitas 220 liter (80 W) lengkap dengan spesifikasinya

Modifikasi Chest Freezer dengan Integrasi Bio-PCM

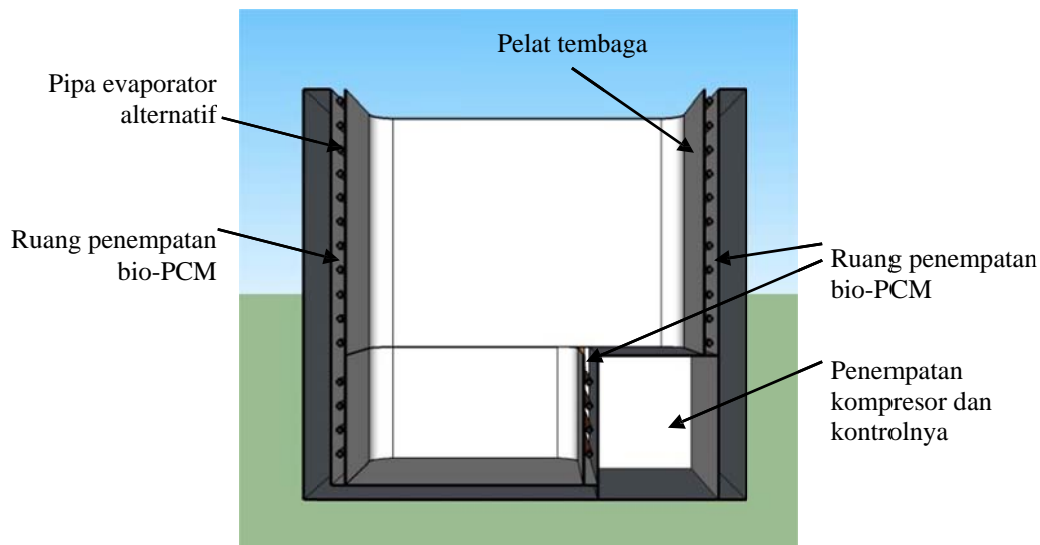
Modifikasi dilakukan untuk dapat mengintegrasikan Bio-PCM secara akurat dengan jumlah yang cukup untuk dapat menghasilkan kinerja temperatur yang berada pada rentang temperatur freezer tanpa bio-PCM dan kinerja energi dengan penghematan yang optimal. Dilakukan kajian komparasi kinerja dari *chest freezer* kapasitas 220 liter tanpa menggunakan *bio-PCM* dan dengan menggunakan *bio-PCM* dan pada akhirnya juga membandingkan konsumsi energi dari *chest freezer* kapasitas 220 liter tanpa menggunakan *bio-PCM* dan dengan menggunakan *bio-PCM*. Modifikasi dari chest freezer dan penempatan Bio-PCM dapat dilihat pada Gambar 1.2 sampai dengan Gambar 1.4. Dari Gambar tersebut dapat diketahui bahwa Bio-PCM ditempatkan pada sebuah wadah dengan bahan dari tembaga yang menyelubungi ruang freezer. Pada pengujian ini evaporator baru yang ditempelkan pada wadah bio-PCM tidak digunakan. Jadi masih menggunakan evaporator yang asli. Dengan demikian Bio-PCM benar-benar menyentuh dinding evaporator.



Gambar 1.2 *Box chest freezer* yang sudah dimodifikasi evaporatornya



Gambar 1.3 Box chest freezer yang sudah dimodifikasi dengan tambahan wadah Bio-PCM



Gambar 1.4 Gambar potongan dari chest freezer yang sudah dimodifikasi menjadi Bio-Cold Storage Mini

Bio-PCM

Jenis PCM yang digunakan pada pengujian ini adalah jenis PCM organik yaitu campuran air dengan ester minyak jagung (corn oil ester) dengan komposisi 20 - 25% corn oil ester. Material dengan campuran air ini telah diinvestigasi untuk pengembangan PCM sebagai penyimpan energi thermal yang dapat diaplikasikan untuk sistem refrigerasi temperatur di bawah 0 °C [1], [2] and [3]. Hasil penelitian sebelumnya dan diperkuat dengan hasil penelitian tahun 1 dan 2 juga menemukan bahwa Bio-PCM yang dimaksud memiliki minimum atau bahkan tidak ada derajat supercooling. Selain itu campuran corn oil ester dengan air menawarkan suplai yang berkelanjutan dan lebih murah dibandingkan dengan fatty acid ester yang telah digunakan untuk aplikasi temperatur di bawah 0 °C. Corn oil ester memiliki sifat tidak korosif dan tidak beracun.

Instrumen Pengujian

Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan instrumen atau alat ukur yang sesuai dengan data yang diambil. Alat ukur yang digunakan di antaranya, sebagai berikut:

1. *Thermocouple*, dalam pengujian ini alat ukur yang dimaksud yaitu untuk mendapatkan temperatur refrigerant pada masing-masing titik yang ditentukan.
2. Power meter, pada pengujian ini alat ukur berfungsi untuk mendapatkan data kuat arus listrik, tegangan listrik dan

- daya yang dikonsumsi kompresor pada chest freezer yang digunakan.
3. Data logger, pada pengujian ini alat yang dimaksud digunakan untuk menampilkan dan merekam hasil pengukuran temperatur refrigeran, Bio-PCM dan produk yang diukur menggunakan sensor *thermocouple* tipe K.

Prosedur Pengujian

Adapun langkah-langkah atau prosedur yang dilakukan dalam melaksanakan pengujian ini, sebagai berikut:

1. Mempersiapkan alat dan bahan untuk pengujian: Chest freezer kapasitas 220 liter; Alat ukur yang berupa *thermocouple*, power meter dan data logger; Produk yang diuji berupa air dengan volume 20 liter.
2. Menempatkan alat ukur pada chest freezer tanpa menggunakan bio-PCM dan dengan menggunakan bio-PCM sesuai dengan data yang dicari.
3. Melakukan pengujian pada chest freezer tanpa menggunakan bio-PCM dan dengan menggunakan bio-PCM (chest freezer dihidupkan hingga mencapai temperatur kerja).
4. Mencatat data hasil pengujian pada tabel.
5. Melakukan perhitungan *coefficient of performance* (COP) untuk chest freezer tanpa menggunakan bio-PCM dan dengan menggunakan bio-PCM menggunakan persamaan 2.3 berdasarkan data yang telah diambil.
6. Melakukan perhitungan konsumsi energi chest freezer tanpa menggunakan bio-PCM dan dengan menggunakan bio-PCM menggunakan persamaan 2.5 berdasarkan data yang telah diambil.
7. Membandingkan performansi chest freezer tanpa menggunakan bio-PCM dan dengan menggunakan bio-PCM.
8. Membandingkan konsumsi energi chest freezer tanpa menggunakan bio-PCM dan dengan menggunakan bio-PCM.
9. Menganalisa dari hasil dan pembahasan.

1.2 Proses dan Hasil Pengujian

Dalam pengujian ini, pengujian pada *chest freezer* dilakukan secara bertahap. Mulai dari, pengujian pada *chest freezer* tanpa *bio-PCM*, lalu pengujian pada *chest freezer* dengan *bio-PCM*. Freezer tanpa *bio-PCM* disajikan pada Gambar 1.5.



Gambar 1.5 Kabin *chest freezer* yang standar

Pengujian *chest freezer* dengan *bio-PCM* dilakukan dengan dua *setting* termostat. *Setting* termostat ini dilakukan untuk mengontrol hidup mati (*on-off*) kompresor. Pada *setting* pertama termostat di-*setting* agar sama dengan *chest freezer* tanpa *bio-PCM* yaitu kompresor mati saat temperatur kabin mencapai $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan hidup kembali saat temperatur kabin mencapai $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$. Untuk *setting* yang ke dua termostat di-*setting* agar kompresor mati saat temperatur kabin mencapai $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan hidup kembali saat temperatur kabin mencapai $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Penambahan bio-PCM

Penempatan *Bio-PCM* di dalam freezer merupakan salah satu parameter yang penting untuk dipertimbangkan dalam mengintegrasikan *Bio-PCM* dengan chest Freezer. Pada pengujian ini *bio-PCM* ditempatkan di antara evaporator dan kabin dengan cara dituangkan pada ruang antara pelat tembaga tambahan dan evaporator. Metode penempatan lain dari *PCM* pada freezer telah dilaporkan pada artikel [4]. Dapat disimpulkan *Bio-PCM* ditempatkan di antara evaporator dan produk yang didinginkan seperti yang disajikan pada Gambar 1.6.



Gambar 1.6 Kabin *chest freezer* dari plat tembaga

Bio-PCM yang digunakan dalam pengujian ini yaitu campuran air dengan ester minyak jagung (corn oil easter) dengan komposisi 75% air dan 25% ester minyak jagung (corn oil easter). Komposisi ini dipilih agar bio-PCM membeku pada temperatur $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Proses pembuatan Bio-PCM sangat mudah tinggal mencampurkan kedua bahan baku dan kemudian diauk agar campuran homogen. Karena ester minyak jagung terlarut sempurna di dalam air proses pengadukan juga dilakukan dengan metode sederhana seperti yang disajikan pada Gambar 1.7.



Gambar 1.7 Proses pembuatan *bio-PCM*

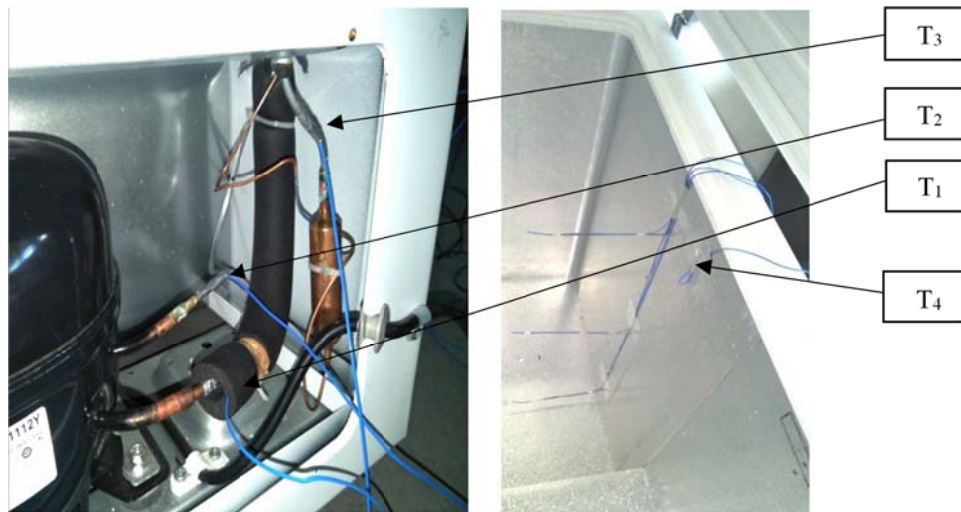
Kabin chest freezer yang tanpa bio-PCM pada Gambar 1.5 dimasukan kotak yang terbuat dari plat tembaga sehingga terlihat seperti pada Gambar 1.6. Kotak ini akan menjadi kabin chest freezer atau tempat untuk produk. Dari kabin chest freezer yang standar tanpa Bio-PCM dengan kotak tembaga memiliki jarak 20 mm. Dengan memberikan celah 20 mm tersebut tempat produk berkurang sebanyak 29,2 liter atau 14,9%. Pada ruang tersebut bio-PCM dituangkan sebanyak 20 liter seperti pada Gambar 1.8.



Gambar 1.8 Proses penuangan *bio-PCM*

Hasil Pengujian Temperatur Refrigeran

Pada pengambilan data temperatur refrigeran pada sistem refrigerasi chest freezer pada masing-masing titik pengukuran dapat dilihat pada Gambar 1.9.



Gambar 1.9 Penempatan *thermocouple* pada sistem refrigerasi

Pada Gambar 1.9 terlihat penempatan *thermocouple* pada sistem refrigerasi chest freezer. Untuk T_1 diukur pada pipa hisap (suction) kompresor, T_2 diukur pada pipa ke luar (discharge) kompresor, T_3 diukur pada pipa ke luar kondensor, dan T_4 diukur pada pipa masuk evaporator. Hasil dari pengukuran ini ditampilkan dan disimpan pada data *logger* seperti pada Gambar 1.10. Untuk mengukur temperatur kondensasi (T_{cond}) dapat diestimasi melalui pengukuran temperature refrigerant keluar kondensor yang diukur pada *body* dari *chest freezer* menggunakan *thermal image camera* seperti pada Gambar 1.11. Pendekatan ini dilakukan karena posisi kondensator yang berada di dalam *body* dari *chest freezer* dimana sangat tidak memungkinkan untuk mengukurnya menggunakan *thermocouple*.



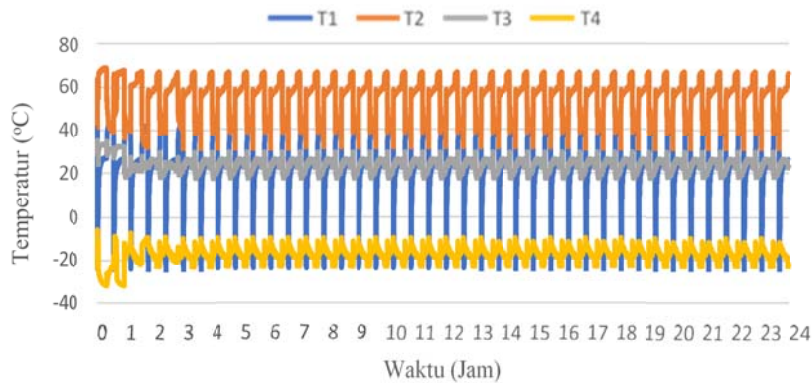
Gambar 1.10 Penampilan hasil pengukuran temperatur refrigerant



Gambar 1.11 Pengukuran temperatur kondensasi thermal image camera

Temperatur refrigeran tanpa bio-PCM

Pengambilan data temperatur refrigerant pada *chest freezer* tanpa *bio-PCM* dilakukan selama 24 jam. Pengambilan data temperatur refrigeran digunakan untuk mengetahui performansi dari *chest freezer* tanpa *bio-PCM*. Untuk mencari performansi dari *chest freezer* tanpa *bio-PCM* diperlukan rata-rata dari temperatur refrigeran dari masing-masing titik pengukuran. Pada Gambar 1.12 diperlihatkan grafik dari temperatur refrigeran.



Gambar 1.12 Grafik temperatur refrigeran dari *chest freezer* tanpa *bio-PCM*

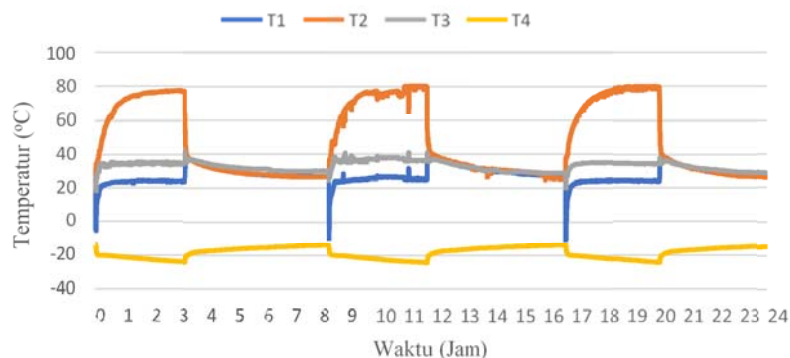
Rata-rata dari temperatur refrigeran dari masing-masing titik hanya diambil pada satu siklus saja pada saat sistem berjalan dan yang dirata-ratakan temperatur refrigeran yang stabil saja, jadi didapat temperatur refrigeran pada T_1 sebesar $25,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, T_2 sebesar $66,97\text{ }^{\circ}\text{C}$, T_3 sebesar $32,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan T_4 sebesar $-30,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Setelah dilakukan analisis dengan software EES diperoleh COP (*Coefficient of Performance*) atau kinerja energinya mencapai 1,99.

Dalam pengujian ini pengambilan data temperatur refrigeran, T_1 mendapat imbas temperatur kompresor saat sistem refrigerasi sedang berjalan maupun berhenti sehingga temperatur refrigeran pada T_1 sangat tinggi dan saat sistem berhenti temperatur refrigerant pada T_1 naik, hal ini terjadi karena penempatan *thermocouple* pada T_1 sangat dekat dengan kompresor.

Temperatur refrigeran dengan bio-PCM

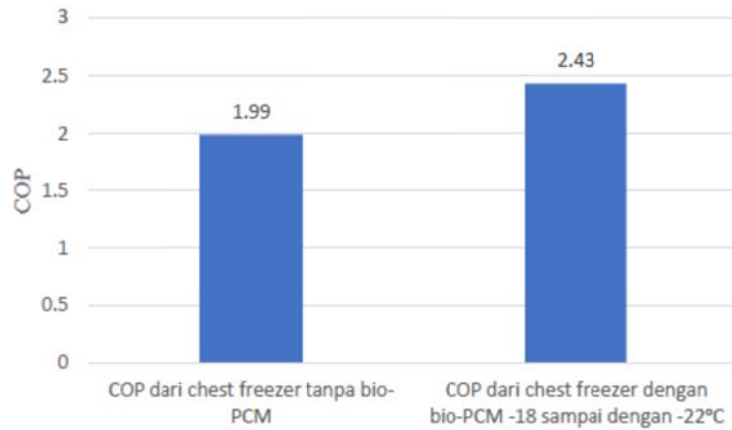
Pengambilan data temperatur refrigeran pada *chest freezer* dengan *bio-PCM* juga dilakukan selama 24 jam. Pengambilan data temperatur refrigeran digunakan untuk mengetahui performansi dari *chest freezer* dengan *bio-PCM*. Untuk mencari performansi dari *chest freezer* dengan *bio-PCM* diperlukan rata-rata dari temperatur refrigeran dari masing-masing titik pengukuran. Pada Gambar 1.13 diperlihatkan grafik dari temperatur refrigeran pada *chest freezer* dengan *bio-PCM*.

Rata-rata dicari pada satu siklus saat sistem sedang berjalan saja dengan temperatur yang stabil. Jadi didapat rata-rata T_1 sebesar $24,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, T_2 sebesar $77\text{ }^{\circ}\text{C}$, T_3 sebesar $34,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan T_4 sebesar $-23,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pada pengambilan data temperatur refrigeran pada *chest freezer* dengan *bio-PCM* temperatur refrigeran pada T_1 juga terkena imbas dari temperatur kompresor. Setelah dilakukan analisis numerik menggunakan EES berdasarkan data pengukuran dapat diperoleh kinerja energi (COP) sistem refrigerasi pada pengujian kedua yaitu *chest freezer* dengan *Bio-PCM* dan seting termostat dari $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai dengan $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ sebesar 2,43.



Gambar 1.13 Grafik temperatur refrigeran dari *chest freezer* dengan *bio-PCM*

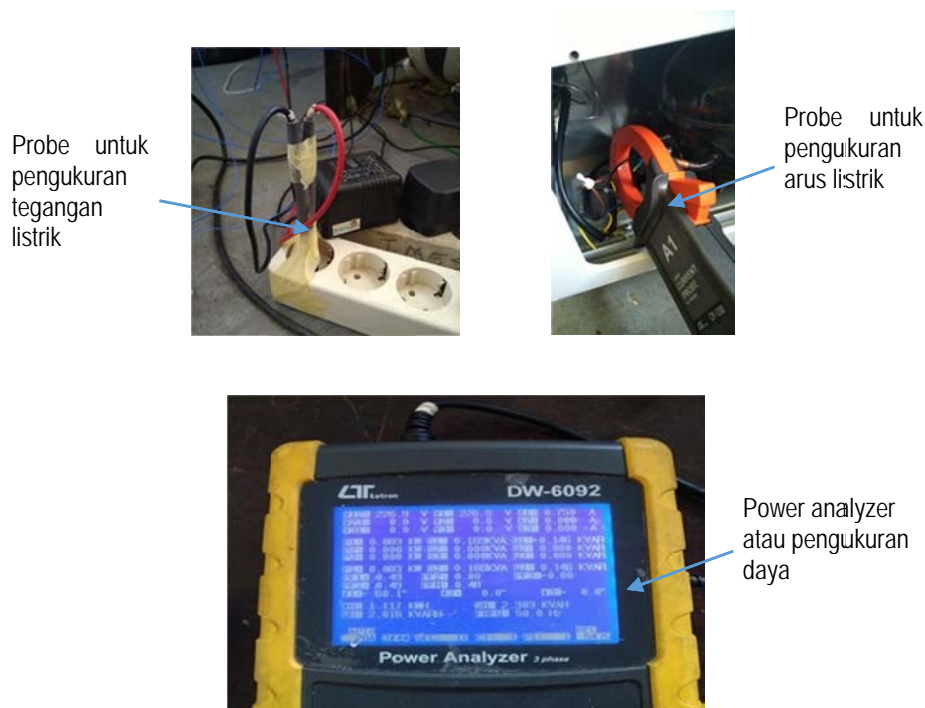
Dari hasil kajian berdasarkan data pengujian sistem refrigerasi chest freezer tanpa dan dengan Bio-PCM maka diperoleh bahwa COP atau kinerja energi Chest freezer dengan Bio-PCM jauh lebih baik dibandingkan dengan yang tanpa Bio-PCM, hasil ini sesuai dengan hasil-hasil yang telah dipublikasikan [5] dan [6]. Dengan COP freezer Bio-PCM sekitar 21,5% lebih besar dibandingkan dengan freezer standar tanpa Bio-PCM. Pada Gambar 1.14 disajikan perbandingan COP chest freezer tanpa dan dengan Bio-PCM.



Gambar 1.14 Perbandingan COP antara chest freezer tanpa dan dengan Bio-PCM

Konsumsi Daya Kompresor

Pada pengambilan data daya kompresor menggunakan alat power meter dengan penempatan seperti Gambar 1.15.

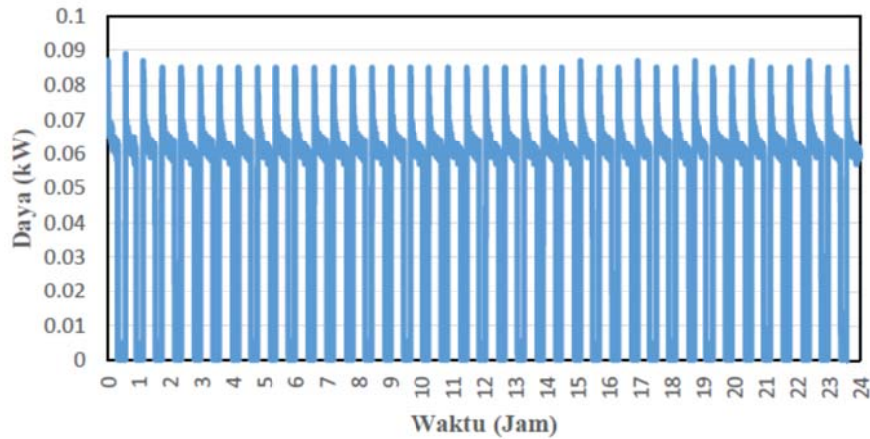


Gambar 1.15 Pengukuran daya kompresor

Pada Gambar 1.15 diilustrasikan pengukuran dan penyimpanan data hasil pengukuran daya kompresor dengan menggunakan power analyzer. Power analyser dilengkapi dengan probe untuk pengukuran tegangan listrik dan arus listrik yang masuk kompresor. Pada display dari power analyser dapat dimonitor hasil pengukuran selain tegangan listrik dan arus listrik juga daya yang dikonsumsi kompresor dan frekuensi listrik. Pengukuran dilakukan selama 24 jam dengan interval waktu perekaman data dalam 10 detik.

Daya kompresor tanpa bio-PCM

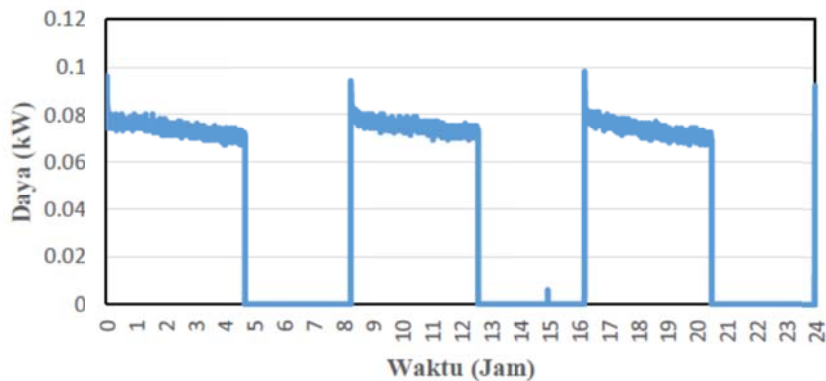
Dalam pengujian *chest freezer* tanpa *bio-PCM* yang dilakukan selama 24 jam didapat jumlah siklus *on-off* yang terjadi pada kompresor sebanyak 39,5 siklus. Selama 24 jam, *on-time* dari kompresor lebih panjang dibandingkan *off-time*, dimana total *on-time* dari kompresor yaitu selama 16,28 jam dan total *off-time* selama 7,72 jam dengan rata-rata daya yang dikonsumsi oleh kompresor yaitu sebesar 0,064 kW atau 64 W. Grafik dari daya kompresor tanpa Bio-PCM ditampilkan pada Gambar 1.16.



Gambar 1.16 Grafik daya kompresor dari *chest freezer* tanpa *bio-PCM*

Daya kompresor dengan bio-PCM pada setting termostat -23 °C sampai dengan -27 °C

Dalam pengujian *chest freezer* dengan *bio-PCM* pada setting termostat -23 sampai dengan -27 °C yang dilakukan selama 24 jam didapat jumlah siklus *on-off* yang terjadi pada kompresor sebanyak 3 siklus. Selama 24 jam *on-time* dari kompresor masih lebih panjang dibandingkan dengan *off-timanya*, dimana total *on-time* dari kompresor yaitu selama 13,35 jam dan total *off-time* 10,65 jam dengan rata-rata daya yang dikonsumsi oleh kompresor yaitu sebesar 0,074 kW atau 74 W. Grafik dari daya kompresor ditampilkan pada Gambar 1.17.

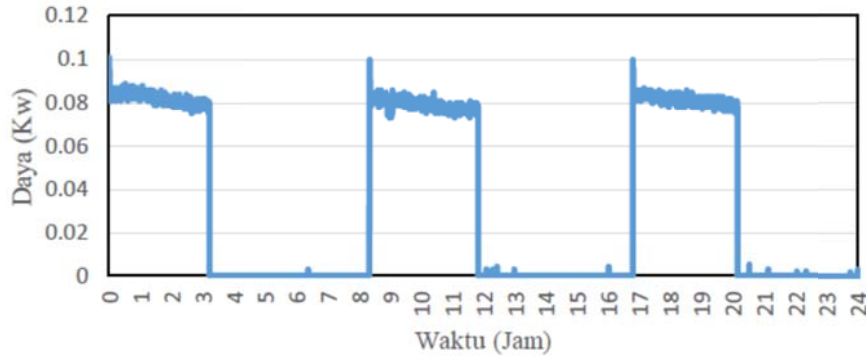


Gambar 1.17 Grafik daya kompresor dari *chest freezer* dengan *bio-PCM* pada setting termostat -23 °C sampai dengan -27 °C

Daya dengan bio-PCM pada setting termostat -18 °C sampai dengan -22 °C

Dalam pengujian *chest freezer* dengan *bio-PCM* pada setting termostat -18 °C sampai dengan -22 °C yang dilakukan selama 24 jam didapat jumlah siklus *on-off* yang terjadi pada kompresor sebanyak 2,5 siklus. Dalam 24 jam, *on-time* dari kompresor menjadi lebih pendek dibandingkan dengan *off-time* dari kompresor, dimana total *on-time* dari kompresor yaitu selama 10,07 jam dan total *off-time* yaitu selama 13,93 jam dengan rata-rata daya yang dikonsumsi oleh kompresor yaitu sebesar 0,081 kW atau 81 W. Grafik dari daya kompresor ditampilkan pada Gambar 1.18.

Dari hasil pengujian ini juga ditemukan bahwa Bio-PCM dapat menurunkan jumlah siklus *on-off* dari kompresor, sangat relevan dengan hasil yang telah dilaporkan pada [7] dan [8]. Penurunan jumlah siklus *on-off* sangat signifikan dari 39,5 menjadi hanya 3 siklus. Dengan pengaturan termostat penurunan siklus lebih dapat mencapai 2,5 siklus per hari. Penurunan jumlah siklus *on-off* secara signifikan akan meringankan beban kerja kompresor yang akan lebih diperdalam analisisnya pada pembahasan konsumsi energi dari chest freezer.



Gambar 1.18 Grafik daya kompresor dari chest freezer dengan bio-PCM pada setting termostat -23 °C sampai dengan -27 °C

Di samping itu Bio-PCM juga dapat mengubah lama waktu "on" dan "off" dari chest freezer. Pada seting thermostat yang optimum dengan integrasi Bio-PCM pada chest freezer ditemukan ada perubahan waktu "on" dan "off" yang sangat signifikan seperti yang disajikan pada Tabel 1.1. Dapat dilihat dengan jelas bahwa dengan menggunakan Bio-PCM, waktu mati "off" dari chest freezer dapat lebih lama dibandingkan dengan lam waktu hidupnya "on". Hal ini berpengaruh sangat signifikan terhadap konsumsi energi.

Tabel 1.1 Perbandingan lama waktu hidup "On" dan mati "Off" dari kompresor chest freezer

	Lama waktu hidup "On" (jam)	Lama waktu mati "Off" (jam)	Temperatur produk (°C)
Freezer tanpa Bio-PCM	16,3	7,7	-19 s.d. -22
Freezer dengan Bio-PCM	10,1	13,9	-18 s.d. -21

Catatan: Seting thermostat -18 s.d. -22 °C; waktu pengukuran dalam 24 jam

Konsumsi Energi

Setelah mendapat data dari daya yang dikonsumsi kompresor dan total on-time dari kompresor dapat dihitung konsumsi energi dari chest freezer tanpa bio-PCM dan dengan bio-PCM. Pada Tabel 1.2 disajikan perbandingan konsumsi energi chest freezer tanpa dan dengan bio-PCM. Ditemukan bahwa dengan integrasi Bio-PCM pada freezer dapat memberikan penghematan energi mencapai 21,7% walaupun konsumsi daya sesaatnya lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh karena lama waktu hidupnya freezer jauh lebih rendah.

Tabel 1.2 Perbandingan konsumsi energi freezer tanpa dan dengan Bio-PCM

	Daya rata-rata (Watt)	Lama waktu hidup "On" (jam)	Konsumsi energi dalam 24 jam (kWh)	Penghematan energi (%)
Freezer tanpa Bio-PCM	64	16,3	1,041	-
Freezer dengan Bio-PCM	81	10,1	0,815	21,7

1.3 Ringkasan Hasil Pengujian Bio-PCM Cold Storage Mini

Dari hasil pengujian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Bio-PCM dari bahan campuran ester minyak jagung dan air, sebagai salah satu luaran dari penelitian ini, dapat berfungsi dengan baik sebagai bahan penyimpan energi termal pada aplikasi temperatur di bawah 0 °C.
2. Freezer dengan menggunakan Bio-PCM sebanyak 20 liter dapat mengurangi jumlah siklus hidup mati kompresor secara signifikan dari 39,5 siklus per hari menjadi 2,5 siklus per hari.
3. Penerapan Bio-PCM dapat meningkatkan lama waktu matinya kompresor dari 7,7 jam menjadi 13,9 jam atau sekitar 81% dalam jangka waktu 24 jam.
4. Integrasi Bio-PCM pada freezer atau cold storage menurut pengujian yang dilakukan dapat memberikan penghematan energi yang signifikan mencapai 21,7%.
5. Bio-PCM sebagai bahan penyimpanan energi termal menjadi sangat potensial untuk diterapkan pada cold storage tenaga surya dengan kapasitas yang lebih besar.

2. PENGUJIAN SISTEM SUPLAI DAYA TENAGA SURYA (PLTS)

2.1 Deskripsi Sistem PLTS yang Dibangun

Konsep suplai daya listrik tenaga surya (PLTS) berbasis “on-grid” yang diinstall di lab refrigerasi dan tata udara Politeknik Negeri Bali diilustrasikan pada Gambar 1.1. Sistem suplai daya listrik terdiri atas solar PV array yang tersusun dari 10 panel PV dengan kapasitas masing-masing 310 Wp. Sehingga total kapasitasnya menjadi 3,1 kWp. Sistem juga dilengkapi dengan pengaman tegangan DC (DC breaker), on-grid inverter dengan kapasitas 5 kW, pengaman tegangan AC, pengaman beban dan dua power meter analog (mengukur produksi energi total) dan digital (mengukur daya dan produksi energi yang diekspor ke PLN). Online Monitoring System (OMS) juga dilengkapi, sehingga suplai daya listrik tenaga surya ini dapat dimonitor secara online. Konsep suplai daya on-grid seperti sudah juga diimplementasikan pada sebuah bangunan gedung pendidikan [9]. Sistem PLTS on-grid dengan optimum integrasi dapat mengurangi rugi-rugi daya dan meningkatkan efisiensi pembangkitan energi seperti yang dilaporkan oleh [10] dan [11].



Gambar 2.1 Konsep suplai daya listrik tenaga surya yang dikembangkan melalui penelitian ini

Foto instalasi dari suplai daya tenaga surya (PLTS) disajikan pada Gambar C.3. Sistem PLTS yang dimaksud memiliki spesifikasi sebagai berikut:

1. Kapasitas pembangkitan atau produksi 3,1 kWp dengan jumlah panel PV 10 buah dan kapasitas masing-masing panel PV 310 Wp;
2. Tipe instalasi “on-grid”;
3. Sistem kontrol dan monitoring online, karena PLTS ini dilengkapi dengan OMS atau Online Monitoring System;
4. Memberikan suplai daya untuk cold storage pada siang hari bersama listrik PLN kalau produksi tidak mencukupi dan mengekspor listrik ke PLN apabila sistem cold storage tidak beroperasi.
5. Apabila cold storage tidak dioperasikan, maka sistem PLTS mampu untuk mensuplai listrik untuk mendukung program Green Office ruang kantor Kaprodi TPTU dan TRU Jurusan Teknik Mesin PNB. Program green office dikembangkan untuk penguatan PNB yang berpayung pada pusat unggulan “Green Tourism”;
6. PLTS ini juga sudah dirancang untuk dapat dimanfaatkan sebagai media pembelajaran “Renewable Energy Technology”.

Adapun model panel PV yang digunakan memiliki kapasitas daya puncak 310 Wp dengan rincian spesifikasi seperti yang diilustrasikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Spesifikasi panel surya (Solar PV) yang digunakan pada sistem PLTS

Parameters	Value	Parameters	Value
Maximum power P_{max} (Wp)	310	Panel size (mm)	1640 x 990 x 35
Voltage at P_{max} (V)	33	Weight (kg)	19
Current at P_{max} (A)	9.4	Cell size (mm)	156 x 156
Open circuit voltage (V)	40.30	Number of cells	36
Short circuit current (A)	9.96	Cells type	Mono-crystalline silicon

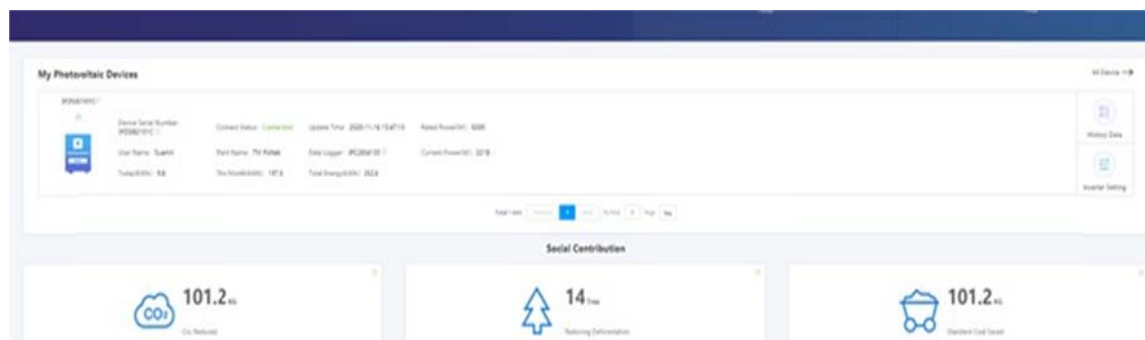
Sistem Monitoring Berbasis Online

Monitoring sistem PLTS ini dapat dilakukan online maupun langsung dari ruang kontrol. Monitoring secara online dapat dilakukan melalui handphone maupun computer dan dapat bisa diamati perkembangan daya listrik yang dihasilkan serta produksi energi per 5 menit. Tampilan juga dilengkapi dengan diagram yang menarik. Sistem monitoring online juga dilengkapi dengan kemampuan pencatatan data baik data berdasarkan real time, harian, bulanan, dan tahunan. Semua itu dapat diakses pada sistem monitoring yang disediakan dan dapat ditampilkan dan di-download untuk dapat diolah lebih lanjut. Tampilan produksi energi dari sistem PLTS dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Sistem monitoring untuk produksi energi sistem PLTS melalui komputer dengan jaringan internet

Sistem monitoring juga dilengkapi dengan kemampuan untuk pengamatan secara langsung berdasarkan real time kontribusi sosial dari sistem PLTS. Kontribusi sosial yang dimaksud mencakup: penurunan emisi CO₂ dalam kg, pengurangan penebangan pohon ekuivalen dalam satuan batang pohon (tree), dan penghematan penggunaan batubara untuk memproduksi listrik dalam kg. Tampilan monitoring kontribusi social dari sistem PLTS disajikan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Sistem monitoring untuk kontribusi sosial sistem PLTS melalui komputer dengan jaringan internet

Peresmian Sistem PLTS oleh Pimpinan PNB

Pembangunan sistem PLTS di Lab Refrigerasi Jurusan Teknik Mesin PNB, walaupun dalam skala kecil, tetapi masih tetap menjadi perhatian pimpinan PNB dengan pertimbangan sangat relevan dan mendukung payung unggulan lembaga yaitu "Green Tourism" terbukti dengan diselenggarakannya acara peresmian yang dihadiri oleh Wadir 1, Ketua Jurusan Teknik Mesin dan Tim Peneliti beserta seluruh dosen dan PLP di jurusan Teknik Mesin. Foto-foto peresmian pembangunan sistem PLTS untuk program hibah penelitian DRPM di lab refrigerasi PNB dapat dilihat pada Gambar 2.4. Dosen-dosen dan PLP Jurusan Teknik Mesin Nampak sangat bersemangat dalam acara ini. Sebagian dosen dan PLP memang belum mengetahui adanya luaran-luaran penelitian yang dapat dimanfaatkan langsung untuk mendukung kemajuan lembaga. PLTS ini diangkat oleh pimpinan menjadi salah satu contoh implementasi penelitian yang mendukung payung unggulan PNB yaitu "Green Tourism".



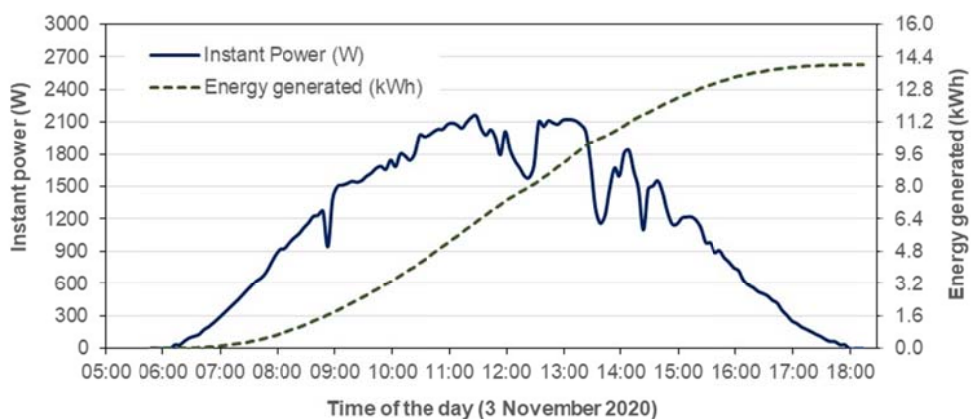
Gambar 2.4 Foto-foto peresmian PLTS di Lab Refrigerasi oleh Wadir 1 didampingi Kajur, tim peneliti, dosen dan PLP Jurusan Teknik Mesin, PNB

2.2 Hasil Pengujian Sistem PLTS dan Kajian Optimasi Sistem

Hasil Pengujian Pembangkitan Daya dan Energi Harian

Pengujian dilakukan secara online dan juga divalidasi dengan hasil pengamatan secara langsung pada ruang kontrol sistem PLTS. Pengamatan data baru diperoleh selama dua bulan semenjak sistem PLTS selesai dibangun dan dikomisioning yaitu bulan November dan Desember 2020. Pengamatan dilakukan secara harian untuk dapat mengetahui variasi produksi listrik dalam setiap 5 menit, waktu awal produksi dan waktu akhir produksi harinya. Pengamatan juga dilakukan terhadap produksi kumulatif energi listrik setiap harinya di dalam rentang 1 bulan (bulan November dan Desember).

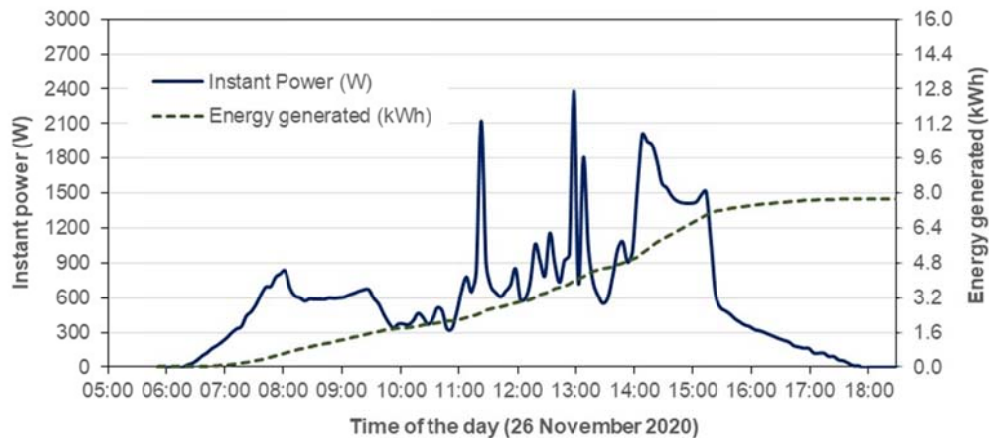
Gambar 2.5, 2.6 dan 2.7 menampilkan perkembangan variasi pembangkitan daya dan kumulatif pembangkitan energi listrik dari sistem PLTS dalam setiap 5 menit untuk tanggal 3 November, 26 November dan 14 Desember tahun 2020 yang merupakan hari dengan produksi energi listrik terbesar pada bulan November dan terkecil pada bulan November dan Desember. Pada laporan ini **hanya** ditampilkan tiga grafik saja. Untuk hari lainnya akan dapat tergambar dari perbandingan pembangkitan energi listrik harian.



Gambar 2.5 Variasi pembangkitan daya dan energi kumulatif sistem PLTS pada tanggal 3 November 2020

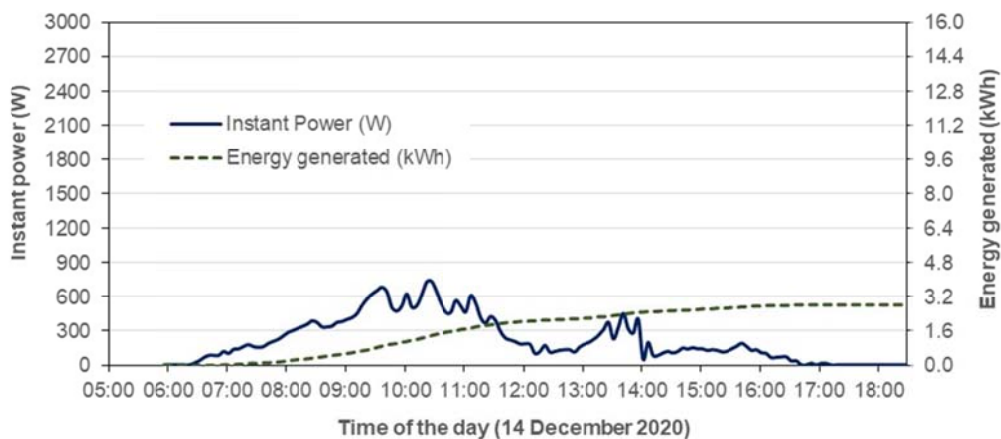
Dari grafik pembangkitan daya pada Gambar 2.5, 2.6 dan 2.7 dapat diketahui bahwa pada tanggal 3 November 2020 pembangkitan daya listrik relatif lebih stabil dengan rata-rata 1118 W dibandingkan dengan pada tanggal 26 November dan 14 Desember 2020 dengan rata-rata pembangkitan hanya 590 W dan 219 W. Hal ini menunjukkan kondisi cuaca pada tanggal 3 November relatif lebih cerah dibandingkan dengan tanggal 26 November dan 14 Desember 2020. Adapun kumulatif pembangkitan energi listriknya adalah 14,0 kWh, 7,7 kWh dan 2,8 kWh berturut-turut untuk tanggal 3, 26 November dan 14 Desember 2020. Kondisi cuaca sangat mempengaruhi jumlah pembangkitan energi oleh sistem PLTS. Kondisi cuaca pada hari pengamatan juga sudah dikonfirmasi dengan hasil pengamatan cuaca secara langsung dimana pada tanggal 26

November dan 14 Desember 2020 kondisi cuaca mendung tebal dan hujan relatif lebat. Sedangkan pada tanggal 3 November hari relatif lebih baik mendung tipis dan sekali-sekali disertai hujan gerimis.



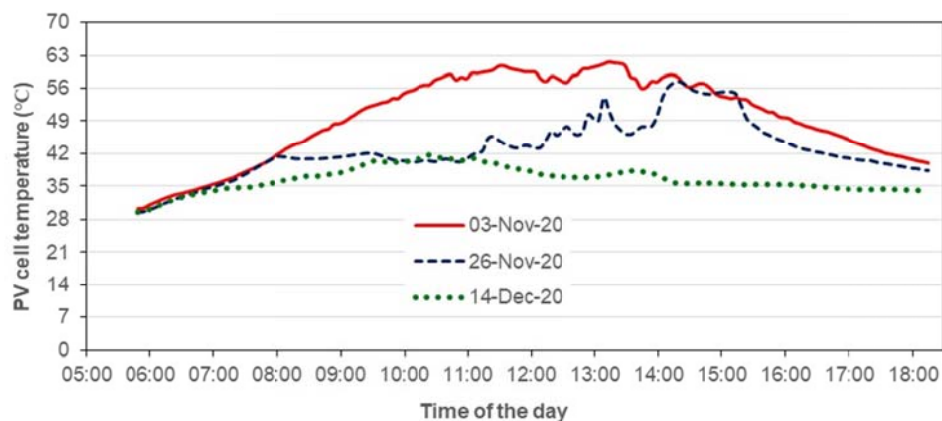
Gambar 2.6 Variasi pembangkitan daya dan energi kumulatif sistem PLTS pada tanggal 26 November 2020

Khusus untuk tanggal 14 Desember terjadi hujan hampir sepanjang hari dan hanya berhenti sebentar tapi masih mendung dari jam 9 sampai jam 11.30. Sehingga pembangkitan daya listrik dan energi kumulatif pada hari ini sangat rendah (Gambar 2.7).



Gambar 2.7 Variasi pembangkitan daya dan energi kumulatif sistem PLTS pada tanggal 14 Desember 2020

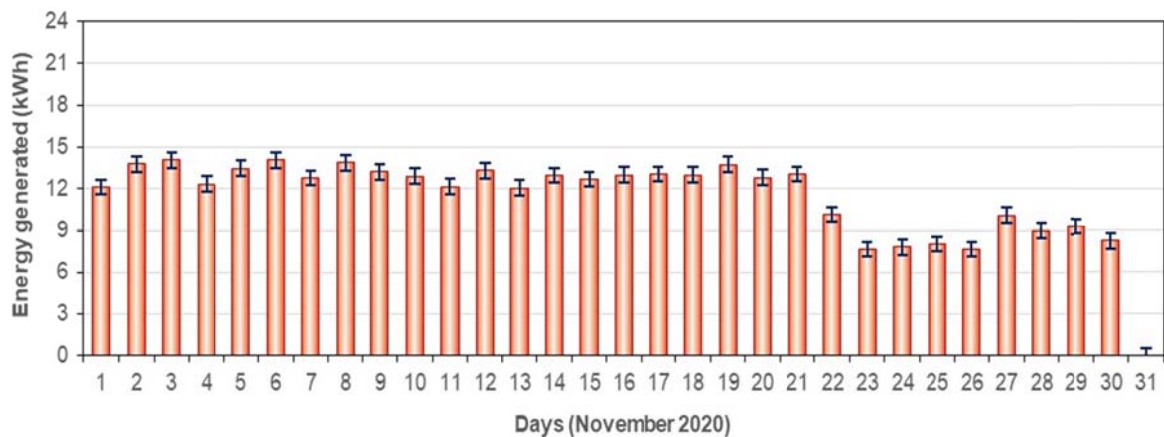
Variasi besarnya pembangkitan daya dan energi pada kedua hari yang diamati juga terkonfirmasi dengan kesesuaian variasi temperatur permukaan sel panel PV. Gambar 2.8 menunjukkan variasi temperatur permukaan sel panel PV yang sangat dipengaruhi oleh keadaan cuaca serta radiasi matahari.



Gambar 2.8 Variasi temperatur permukaan sel panel PV sepanjang hari pada tanggal 3 dan 26 November 2020

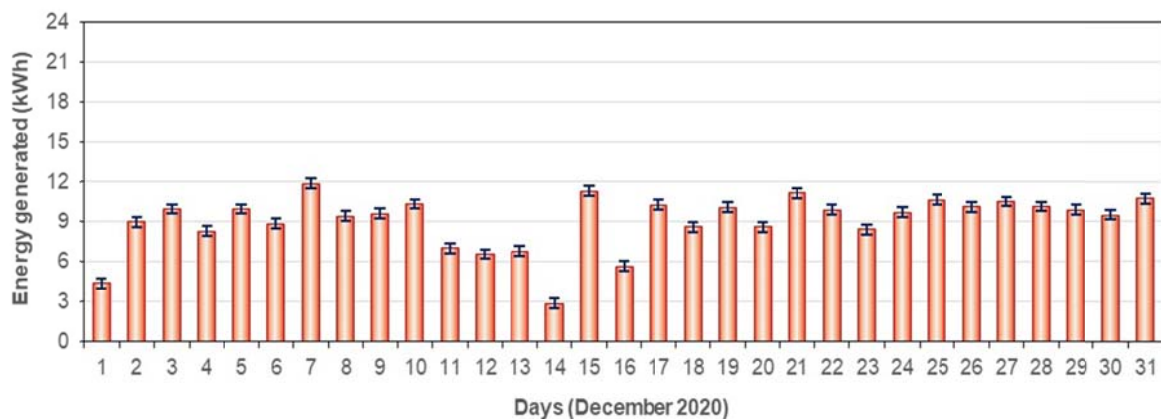
Hasil Pengujian Pembangkitan Energi Bulanan

Sistem PLTS dalam penelitian ini baru beroperasi sekitar 2 bulan 7 hari. Oleh karena itu data pembangkitan energi yang dapat ditampilkan baru dua bulan saja, yaitu pada bulan November dan Desember tahun 2020. Pembangkitan energi pada bulan November 2020 disajikan pada Gambar 2.9. Sedangkan bulan Desember dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.9 Variasi pembangkitan energi listrik PLTS pada bulan November 2020

Berdasarkan Gambar 2.9 dan 2.10 dapat diidentifikasi bahwa pembangkitan energi listrik pada bulan Desember secara umum lebih rendah dibandingkan pada bulan November. Rata-rata pembangkitan listrik per hari sebesar 11,7 kWh dan 9,0 kWh berturut-turut untuk bulan November dan Desember. Pembangkitan listrik harian paling rendah terjadi pada tanggal 14 Desember 2020 dengan nilai 2,8 kWh. Secara umum pembangkitan energi listrik pada kedua bulan ini relatif lebih rendah dari bulan-bulan yang lainnya karena sudah musim penghujan. Hujan lebih sering dan lebih lebat terjadi pada bulan Desember 2020.



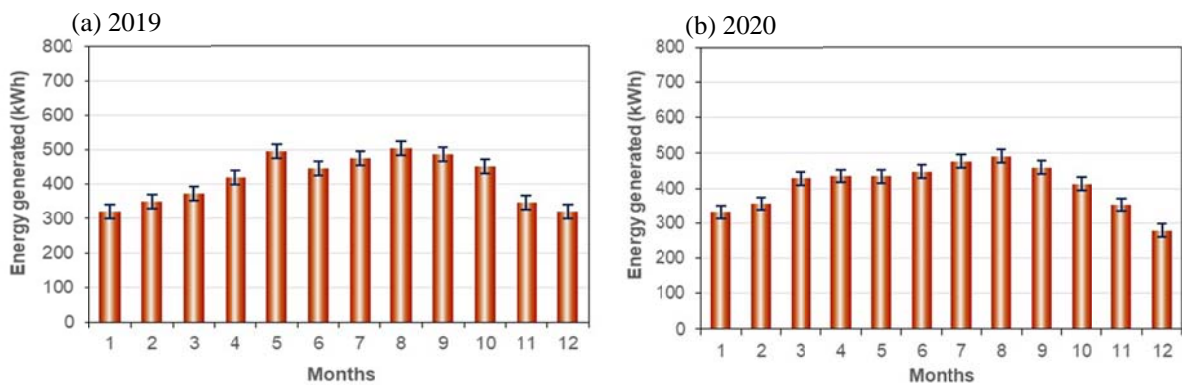
Gambar 2.10 Variasi pembangkitan energi listrik PLTS pada bulan Desember 2020

Hasil Estimasi Pembangkitan Energi Tahunan

Karena sistem PLTS baru beroperasi hanya dua bulan lebih, untuk mendapatkan kinerja tahunan dari sistem PLTS dilakukan estimasi dengan melakukan simulasi perbandingan dengan sistem PLTS yang sudah beroperasi di sekitar lokasi pengujian. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk dapat melakukan identifikasi kecukupan pembangkitan daya dan energi listrik dari PLTS dalam mensuplai daya pada mesin Cold Storage. Dari hasil simulasi tersebut diperoleh pembangkitan energi tahunan selama dua tahun seperti yang disajikan pada Gambar 2.11(a) untuk tahun 2019 dan Gambar 2.11(b) untuk tahun 2020.

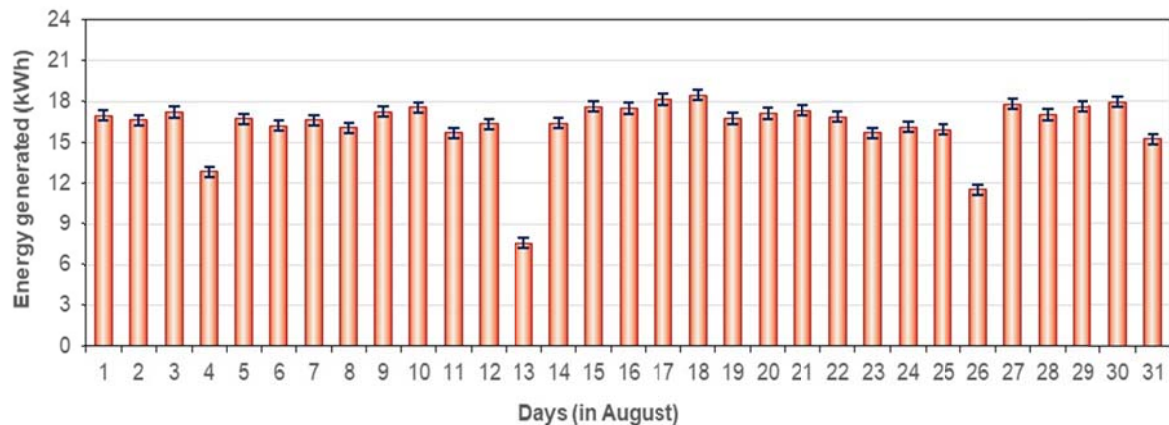
Dari kedua grafik pada Gambar 2.11(a) dan 2.11(b), pembangkitan energi listrik dapat diprediksi dengan distribusi pembangkitan terbesar jatuh pada sekitar bulan Agustus. Pembangkitan relatif baik pada sekitar bulan Maret sampai dengan bulan Oktober dan relatif rendah pada bulan Januari, Februari, November dan Desember serta pembangkitan listrik PLTS terendah terjadi pada bulan Desember. Adapun pembangkitan listrik per tahunnya diestimasi berkisar antara 4906

kWh dan 4986 kWh dengan rata-rata pembangkitan tiap bulannya berada pada rentang antara 409 kWh dan 416 kWh.



Gambar 2.11 Fluktuasi pembangkitan energi listrik PLTS dalam satu tahun diestimasi berdasarkan data sistem sejenis di sekitar lokasi PLTS pada tahun 2019 dan 2020

Untuk dapat memprediksi pembangkitan daya optimum sistem PLTS dengan kapasitas 3,1 kWp di kawasan Bali Selatan khususnya kampus Politeknik Negeri Bali (PNB), maka dilakukan simulasi pembangkitan energi kumulatif harian pada bulan pembangkitan tertinggi yaitu bulan Agustus.

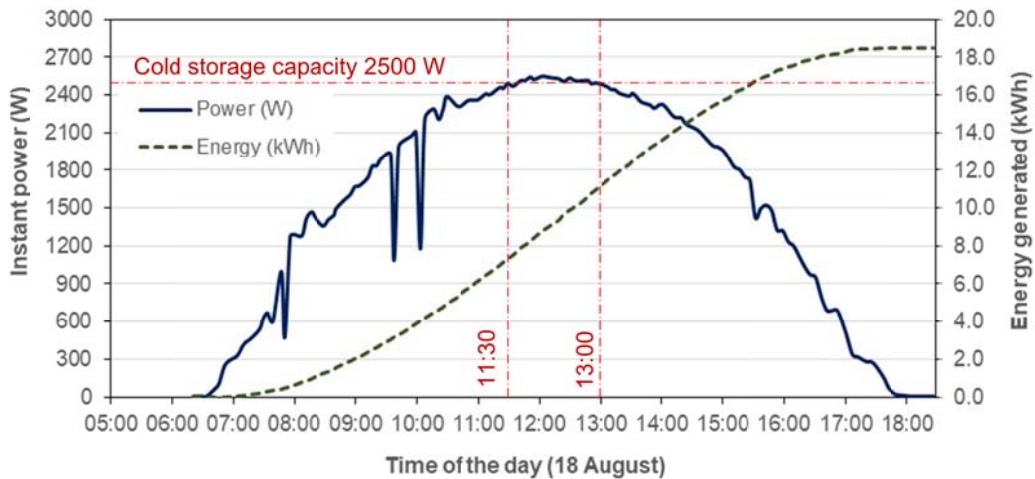


Gambar 2.12 Estimasi variasi pembangkitan energi listrik PLTS berdasarkan data sistem sejenis di sekitar lokasi PLTS pada bulan Agustus 2019 dan 2020

Berdasarkan hasil simulasi diperoleh distribusi pembangkitan energi listrik PLTS seperti yang disajikan pada Gambar 2.12. Dari grafik ini dapat diperoleh gambaran rata-rata produksi energi listrik relatif tinggi. Hampir setiap hari pembangkitan listrik melebihi 15 kWh. Hanya sekitar 3 hari di bawah 15 kWh. Hal ini menunjukkan kondisi cuaca di bulan Agustus sangat cerah. Adapun pembangkitan energi listrik pada bulan Agustus diestimasi dapat mencapai angka 492 kWh sampai dengan 505 kWh dengan rata-rata pembangkitan energi harian mencapai 16,3 kWh.

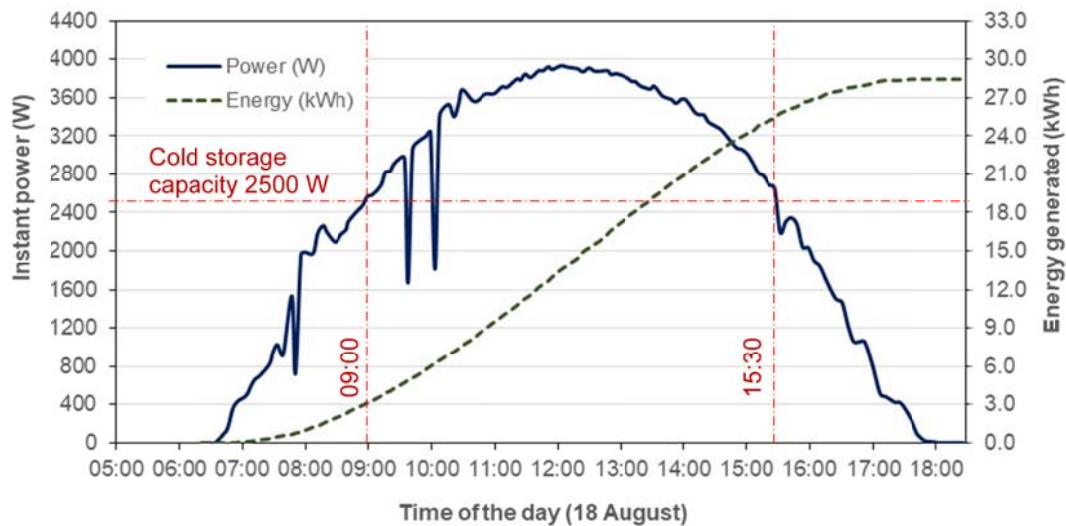
Daya pembangkitan optimum dari sistem PLTS dapat dianalisis dengan menggunakan grafik pembangkitan daya dan energi berdasarkan waktu harian (real time). Dari Gambar 2.12 dapat diidentifikasi pembangkitan energi terbesar terjadi pada tanggal 18 Agustus. Tanggal ini dipilih untuk dilakukan analisis lebih lanjut untuk dapat memprediksi pembangkitan daya dan energi berdasarkan waktu harian. Hasil estimasi tersebut diilustrasikan pada Gambar 2.13.

Dari Gambar 2.13 dapat dilihat variasi pembangkitan daya yang teratur mulai dari jam 6.43 pagi terus meningkat secara signifikan dan mencapai puncaknya pada sekitar jam 12.00 sampai jam 13.00 dengan daya pembangkitan maksimum mencapai 2551 kW. Kemudian terus menurun sampai tidak produksi lagi pada jam 17.58. Terjadi hanya sedikit fluktuasi pada sekitar jam 10 pagi. Dari grafik ini juga dapat ditentukan pembangkitan daya maksimum yang dapat dihasilkan dari suatu sistem PLTS 3,1 kWp untuk kawasan Bali Selatan hanya sekitar 2,55 kW atau sekitar 82,3% dari spesifikasi daya puncak. Adapun daya pembangkitan rata-rata harian maksimum dapat mencapai 1625 W. Sebagian besar daya pembangkitan harian berada di bawah kapasitas sistem cold storage 2500 W. Pembangkitan daya yang dapat memenuhi kebutuhan daya cold storage hanya 1,5 jam dari jam 11.30 sampai dengan jam 13.00. Total jam pembangkitan harian sekitar 10 jam lebih. Dengan kondisi pembangkitan ini, sebagian besar waktu operasional cold storage perlu suplai listrik dari PLN dan hanya 1,5 jam/hari mampu memenuhi daya secara mandiri.



Gambar 2.13 Estimasi variasi pembangkitan daya dan energi kumulatif sistem PLTS berdasarkan data sistem sejenis di sekitar lokasi PLTS pada tanggal 18 Agustus 2019 dan 2020

Oleh karena itu dilakukan optimasi kapasitas sistem PLTS tipe "on grid" agar mampu beroperasi secara mandiri pada jam-jam efektif pembangkitan mulai dari jam 09.00 sampai dengan jam 15.30. Hasil optimasi melalui program EES disajikan pada Gambar 2.14. Dengan sistem PLTS seperti ini, diperoleh rata-rata pembangkitan daya optimum sebesar 2500 W dengan daya pembangkitan tertinggi sekitar 3900 W dan energi kumulatif harian mencapai 28 kWh. Kemudian ditentukan kapasitas sistem PLTS yang optimum yaitu sebesar 4960 Wp dengan jumlah panel solar PV 310 W sebanyak 16 buah. Dengan sistem PLTS hasil optimasi, sistem cold storage dapat beroperasi mandiri tanpa suplai daya PLN selama 6,5 jam setiap harinya. Sekitar 3,5 jam beroperasi secara kombinasi dengan suplai daya dari sistem PLTS dan PLN. Sedangkan sisa waktu operasi disuplai sepenuhnya dari listrik PLN.



Gambar 2.14 Estimasi variasi pembangkitan daya dan energi kumulatif dari sistem PLTS hasil optimasi

Hasil optimasi dari hasil penelitian ini menjadi rekomendasi untuk penyempurnaan hasil penelitian dan sebagai referensi untuk pengembangan sistem PLTS pada aplikasi cold storage di kawasan Bali Selatan.

Kontribusi sosial dari sistem PLTS

PLTS sebagai sumber energi terbarukan, memberikan kontribusi sosial yang mencakup penurunan emisi CO₂ dalam kg, pengurangan penebangan pohon ekuivalen dalam satuan batang pohon (tree), dan penghematan penggunaan batubara untuk memproduksi listrik dalam kg. Kontribusi sosial sistem PLTS dapat diamati melalui sistem monitoring dan juga dapat

disimulasikan dengan program computer seperti EES. Kontribusi sosial dari sistem PLTS dan dari sistem PLTS optimasi diestimasi untuk jangka waktu satu tahun dan hasilnya disajikan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Kontribusi sosial dari sistem PLTS terpasang dan hasil optimasi

Kontribusi sosial	Sistem PLTS	
	PLTS terpasang kapasitas 3,10 kWp	PLTS hasil optimasi kapasitas 4,96 kWp
Pembangkitan energi per tahun (kWh)	4946	7914
Penurunan emisi CO ₂ (kg/tahun)	1979	3166
Pengurangan deforestisasi (pohon/tahun)	271	434
Pengurangan pembakaran batubara (kg/tahun)	1979	3166

Dari Tabel 2.2 dapat diketahui bahwa sistem PLTS terpasang dengan pembangkitan energi 4946 kWh per tahun dapat menurunkan efek pemanasan global melalui pengurangan emisi CO₂ sebesar 1979 kg/tahun, menurunkan laju deforestisasi atau penurunan penebangan pohon sebanyak 271 pohon per tahun serta pengurangan pembakaran sumber energi batubara sebanyak 1979 kg/tahun. Sedangkan sistem PLTS hasil optimasi mampu menurunkan parameter kontribusi energi sebanyak 60% lebih besar dari sistem terpasang. Dari hasil analisis ini ditemukan bahwa sistem PLTS hasil optimasi mampu membangkitkan daya listrik mandiri untuk dapat menjalankan sistem cold storage secara mandiri sekitar 6,5 jam per harinya atau sekitar 4 kali dari waktu sistem PLTS terpasang. Di samping itu sistem PLTS hasil optimasi juga memberikan kontribusi yang jauh lebih baik.

2.3 Ringkasan Hasil Pengujian Sistem PLTS

Dari hasil pengujian dan hasil optimasi sistem PLTS dalam penelitian ini dapat ditarik beberapa kesimpulan:

1. Sistem PLTS tipe On-grid dengan kapasitas 3,1 kWp yang terdiri atas 10 buah panel PV 310 Wp lengkap dengan sistem kontrol dan monitoring berbasis "online" sudah berhasil dibangun, diuji dan diintegrasikan dengan sistem cold storage kapasitas 2,5 kW di Laboratorium Refrigerasi PNB.
2. Kondisi cuaca sangat mempengaruhi jumlah pembangkitan energi oleh sistem PLTS yang dapat dikonfirmasi dari variasi temperatur permukaan panel PV.
3. Hasil simulasi menunjukkan, pembangkitan energi listrik oleh sistem PLTS terbesar jatuh pada sekitar bulan Agustus. Pembangkitan relatif baik pada sekitar bulan Maret sampai dengan bulan Oktober dan relatif rendah pada bulan Januari, Februari, November dan Desember serta pembangkitan listrik PLTS terendah terjadi pada bulan Desember.
4. Pembangkitan listrik per tahun dari sistem PLTS berkisar antara 4906 kWh dan 4986 kWh dengan rata-rata pembangkitan tiap bulannya berada pada rentang antara 409 kWh dan 416 kWh.
5. Pembangkitan daya maksimum yang dapat dihasilkan dari sistem PLTS (kapasitas 3,1 kWp) untuk kawasan Bali Selatan hanya mencapai 2,55 kW atau sekitar 82,3% dari spesifikasi daya puncak. Adapun daya pembangkitan rata-rata harian maksimum dapat mencapai 1625 W. Sebagian besar daya pembangkitan harian berada di bawah kapasitas sistem cold storage 2500 W. Pembangkitan daya yang dapat memenuhi kebutuhan daya cold storage hanya 1,5 jam dari jam 11.30 sampai dengan jam 13.00. Total jam pembangkitan harian sekitar 10 jam lebih (dari jam 6.40 sampai dengan 17.50). Dengan kondisi pembangkitan ini, sebagian besar waktu operasional cold storage perlu suplai listrik dari PLN dan hanya 1,5 jam mampu memenuhi daya secara mandiri.
6. Optimasi sistem PLTS dilakukan untuk dapat mengoptimalkan penggunaan energi terbarukan dalam pengoperasian sistem cold storage. Hasil optimasi menunjukkan kapasitas sistem PLTS yang optimum adalah sebesar 4960 Wp dengan jumlah panel solar PV 310 W sebanyak 16 buah. Dari sistem PLTS hasil optimasi diperoleh rata-rata pembangkitan daya optimum sebesar 2500 W dengan daya pembangkitan tertinggi mencapai 3900 W dan energi kumulatif harian 28 kWh. Hasil analisis juga menunjukkan dengan sistem PLTS hasil optimasi, sistem cold storage dapat beroperasi mandiri tanpa suplai daya PLN selama 6,5 jam setiap harinya. Sekitar 3,5 jam beroperasi secara kombinasi dengan suplai daya dari sistem PLTS dan PLN. Sedangkan sisa waktu operasi disuplai sepenuhnya dari listrik PLN.

Sistem PLTS juga memberikan kontribusi sosial. Untuk sistem PLTS terpasang dengan pembangkitan energi 4946 kWh per tahun dapat menurunkan efek pemanasan global melalui pengurangan emisi CO₂ sebesar 1979 kg/tahun, menurunkan laju deforestisasi atau penurunan penebangan pohon sebanyak 271 pohon per tahun serta pengurangan pembakaran sumber energi batubara sebanyak 1979 kg/tahun. Sedangkan untuk sistem PLTS hasil optimasi mampu meningkatkan parameter kontribusi energi sebanyak 60% lebih besar dari sistem terpasang.

D. **STATUS LUARAN:** Tuliskan jenis, identitas dan status ketercapaian setiap luaran wajib dan luaran tambahan (jika ada) yang dijanjikan pada tahun pelaksanaan penelitian. Jenis luaran dapat berupa publikasi, perolehan kekayaan intelektual, hasil pengujian atau luaran lainnya yang telah dijanjikan pada proposal. Uraian status luaran harus didukung dengan bukti kemajuan ketercapaian luaran sesuai dengan luaran yang dijanjikan. Lengkapi isian jenis luaran yang dijanjikan serta unggah bukti dokumen ketercapaian luaran wajib dan luaran tambahan melalui Simlitabmas mengikuti format sebagaimana terlihat pada bagian isian luaran

Pencapaian luaran penelitian pada Tahun-3 dapat diuraikan sebagai berikut:

Pencapaian luaran wajib:

Target Luaran wajib dalam penelitian ini berupa protoipe cold storage tenaga surya lengkap dengan data pengujiannya.

Status luaran wajib: Prototipe cold storage tenaga surya sudah terintegrasi dengan sistem suplai daya tenaga surya (PLTS) lengkap dengan ruang kontrol, sistem instrumentasi dan kontrolnya telah selesai diinstalasi khususnya instrumentasi untuk pengujian yang mencakup sistem data logger lengkap dengan berbagai sensor baik sensor temperatur, tekanan, flowmeter dan power analyzer, ketercapaian sudah mencapai 100%.

Walaupun demikian penelitian ini berhasil mengembangkan capaian luaran wajib dengan dua prototipe tambahan lengkap dengan data pengujian yaitu:

1. Sebuah prototipe Bio-PCM Cold Storage Mini (Bio-PCM Freezer);
2. Sebuah prototipe sistem suplai daya tenaga surya (PLTS) 3,1 kWp tipe on-grid;
3. Data pengujian Bio-PCM Cold Storage Mini;
4. Data pengujian sistem suplai daya tenaga surya (PLTS) 3,1 kWp tipe on-grid.

(Bukti-bukti luaran sudah dilampirkan di Simlitabmas)

Pencapaian luaran tambahan:

Target luaran tambahan berupa:

- Publikasi pada jurnal internasional dengan target indicator accepted
- Publikasi pada prosiding internasional dengan target indikator published
- Paten dengan target indikator terdaftar
- Purwarupa dengantarget indikator prototipe

Status luaran tambahan dapat dirinci sebagai berikut:

- Publikasi pada jurnal internasional: Sebuah artikel sudah diterima (accepted) untuk publikasi pada *jurnal internasional* terindex scopus Q3 SJR 0,24 dengan judul: "*Study on the Performance of Scroll Compressor Applied for Medium Temperature Refrigeration System*" (bukti-bukti sudah dilampirkan di Simlitabmas);
- Publikasi pada prosiding internasional: Sebuah artikel sudah terbit dalam prosiding International Conference on Applied Science and Technology (iCAST on Engineering Science) 24–25 October 2019, Bali, Indonesia yang dipublish pada international publisher terindex scopus SJR 0,23 IOP Journal of Physics: Conference series, Volume 1450: 012106, tahun 2020 dengan judul artikel: "*Experimental and numerical optimization on chilled water configuration for improving temperature performance and economic viability of a centralized chiller*";
- Hak Kekayaan Intelektual (HKI) berupa paten: telah dilakukan pendaftaran **2 paten Bio-PCM** dan **sebuah draft paten** yaitu:
 1. **Nama paten:** Bahan perubahan fasa (Bio-PCM) **campuran air dan ester minyak jagung** sebagai penyimpan energi termal untuk aplikasi sistem refrigerasi temperatur penyimpanan di bawah 0°C, sudah terdaftar dengan nomor permohonan: P00202010143;
 2. **Nama paten:** Bahan perubahan fasa (Bio-PCM) **campuran air dan ester minyak kedelai** sebagai penyimpan energi termal untuk aplikasi sistem refrigerasi temperatur penyimpanan di bawah 0°C, sudah terdaftar dengan nomor pendaftaran: P00202010149;
 3. **Nama draft paten:** "*Bio-PCM kotak penyimpanan pangan beku (Bio-PCM freezer box)*" dokumen usulan sedang dipersiapkan untuk didaftarkan ke DJKI.

Purwarupa: Sebuah prototipe Bio-PCM Cold Storage Mini (Bio-PCM Freezer box) sudah dibuat dan sudah dilakukan pengujian kinerja.

E. PERAN MITRA: Tuliskan realisasi kerjasama dan kontribusi Mitra baik *in-kind* maupun *in-cash* (jika ada). Bukti pendukung realisasi kerjasama dan realisasi kontribusi mitra dilaporkan sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Bukti dokumen realisasi kerjasama dengan Mitra diunggah melalui Simlitabmas mengikuti format sebagaimana terlihat pada bagian isian mitra

Kontribusi mitra pada penelitian Tahun-3 dalam bentuk *in-kind* berupa penyambungan kabel daya dari sistem panel surya ke cold storage dan pembangunan ruang kontrol dari sistem panel surya. Kontribusi *in-kind* tersebut kalau diuangkan bernilai sekitar Rp 15.000.000. Bukti kontribusi mitra sudah diupload di Simlitabmas.

F. KENDALA PELAKSANAAN PENELITIAN: Tuliskan kesulitan atau hambatan yang dihadapi selama melakukan penelitian dan mencapai luaran yang dijanjikan, termasuk penjelasan jika pelaksanaan penelitian dan luaran penelitian tidak sesuai dengan yang direncanakan atau dijanjikan.

Kendala pelaksanaan penelitian yang paling utama adalah keterbatasan akses untuk melakukan kegiatan penelitian sebagai akibat pemberlakuan pembatasan oleh PNB karena pandemi Covid-19. Hal ini dilakukan sebagai bagian dari pelaksanaan kebijakan nasional dan daerah dalam mengendalikan penyebaran virus Covid-19. Di dsamping itu Ketua Peneliti juga sempat terpapar Covid-19 dan harus isolasi selama lebih dari 3 minggu kemudian pemulihan sekitar 2-3 minggu. Akibat dari serangan Covid-19 Ketua Peneliti tidak dapat melakukan kegiatan sama sekali termasuk penelitian ini dan itu terjadi lebih dari 6 minggu mulai akhir November 2020 sampai dengan awal Januari 2021. Syukur dapat sehat kembali seperti sedia kala dan peneliti akhirnya mampu membuat laporan penelitian.

Semoga pandemi Covid-19 cepat berlalu, dan puji syukur kepada Tuhan yang Maha Esa penelitian ini dapat diselesaikan 100% dan dapat mencapai semua luaran yang telah ditargetkan.

G. RENCANA TINDAK LANJUT PENELITIAN: Tuliskan dan uraikan rencana tindaklanjut penelitian selanjutnya dengan melihat hasil penelitian yang telah diperoleh. Jika ada target yang belum diselesaikan pada akhir tahun pelaksanaan penelitian, pada bagian ini dapat dituliskan rencana penyelesaian target yang belum tercapai tersebut.

Rencana tahap selanjutnya dalam penelitian ini adalah menyelesaikan luaran tambahan berupa satu paten lagi sehingga rangkaian penelitian dalam tiga tahun akan dapat menghasilkan 3 (tiga) paten. Melakukan pengujian lebih comprehensive terhadap penerapan bio-PCM pada walk-in freezer yang digerakkan dengan kombinasi pembangkit listrik tenaga surya dan sumber listrik PLN.

Tahapan berikutnya akan terus melakukan penelitian lanjutan dengan memanfaatkan output penelitian ini, yaitu pengembangan aplikasi bio-nano refrigeran sekunder dan bio-nano PCM pada freezer. Dengan penelitian lanjutan ini semoga luaran-luaran penelitian yang sudah dicapai dapat dimanfaatkan oleh masyarakat dan industri khususnya dalam meningkatkan ketahanan pangan nasional.

H. DAFTAR PUSTAKA: Penyusunan Daftar Pustaka berdasarkan sistem nomor sesuai dengan urutan pengutipan. Hanya pustaka yang disitasi pada laporan akhir yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka.

- [1] I.N. Suamir, I.M. Rasta, Sudirman, K.M. Tsamos, "Development of Corn-Oil Ester and Water Mixture Phase Change Materials for Food Refrigeration Applications", *Energy Procedia* 161 (2019): 198-206.
- [2] I.M. Rasta, I.N. Suamir, "Study on Thermal Properties of Bio-PCM Candidates in Comparison with Propylene Glycol and Salt Based PCM for sub-Zero Energy Storage Applications", *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 494 (2019): 012034.
- [3] I.M. Rasta, I.N. Suamir, "The role of vegetable oil in water based phase change materials for medium temperature refrigeration", *Journal of Energy Storage* 15 (2018): 368-378.
- [4] A.H. Raesi, I.N. Suamir, S.A. Tassou, "Energy storage in freezer cabinets using phase change materials", 2nd IIR International Cold Chain Conference, Paris, (2013): 8 pages.
- [5] E. Oró, L. Miró, M.M. Farid, L.F. Cabeza, "Improving thermal performance of freezers using phase change materials", *International Journal of Refrigeration* 35 (2012): 984-991.

- [6] A.A.M. Omara, A.A.M. Mohammedali, "Thermal management and performance enhancement of domestic refrigerators and freezers via phase change materials: A review", *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 66 (2020): 102522
- [7] S. Bista, S.E. Hosseini, E. Owens, G. Phillips, "Performance improvement and energy consumption reduction in refrigeration systems using phase change material (PCM)", *Applied Thermal Engineering* 142 (2018): 723-735.
- [8] B. Gin, M.M. Farid, "The use of PCM panels to improve storage condition of frozen food", *Journal of Food Engineering* 100 (2010): 372-376
- [9] M. Auliq, Fitriana, S. Robitoh, "Studi Implementasi Smart Grid Solar PV System Di Gedung G Universitas Muhammadiyah Jember", *Jurnal Teknik Elektro dan Komputasi*2 (2020): 87-95.
- [10] R. Satpathy, V. Pamuru, "Chapter 9 - Grid-connected solar PV power systems" in *Solar PV Power Design, Manufacturing and Applications from Sand to Systems*, (2021): 365-433.
- [11] R. Komiyama, Y. Fujii, "Optimal integration assessment of solar PV in Japan's electric power grid", *Renewable Energy* 139 (2019): 1012-1028.

Dokumen pendukung luaran Wajib #1

Luaran dijanjikan: Dokumentasi hasil uji coba produk

Target: Ada

Dicapai: Tersedia

Dokumen wajib diunggah:

1. Dokumentasi (foto) Pengujian Produk
2. Dokumen Deskripsi dan Spesifikasi Produk
3. Dokumen Hasil Uji Coba Produk

Dokumen sudah diunggah:

1. Dokumen Deskripsi dan Spesifikasi Produk
2. Dokumen Hasil Uji Coba Produk
3. Dokumentasi (foto) Pengujian Produk

Dokumen belum diunggah:

- Sudah lengkap

Nama Produk: Cold storage tenaga surya terintegrasi dengan bio-PCM

Tgl. Pengujian: 15 Februari 2021

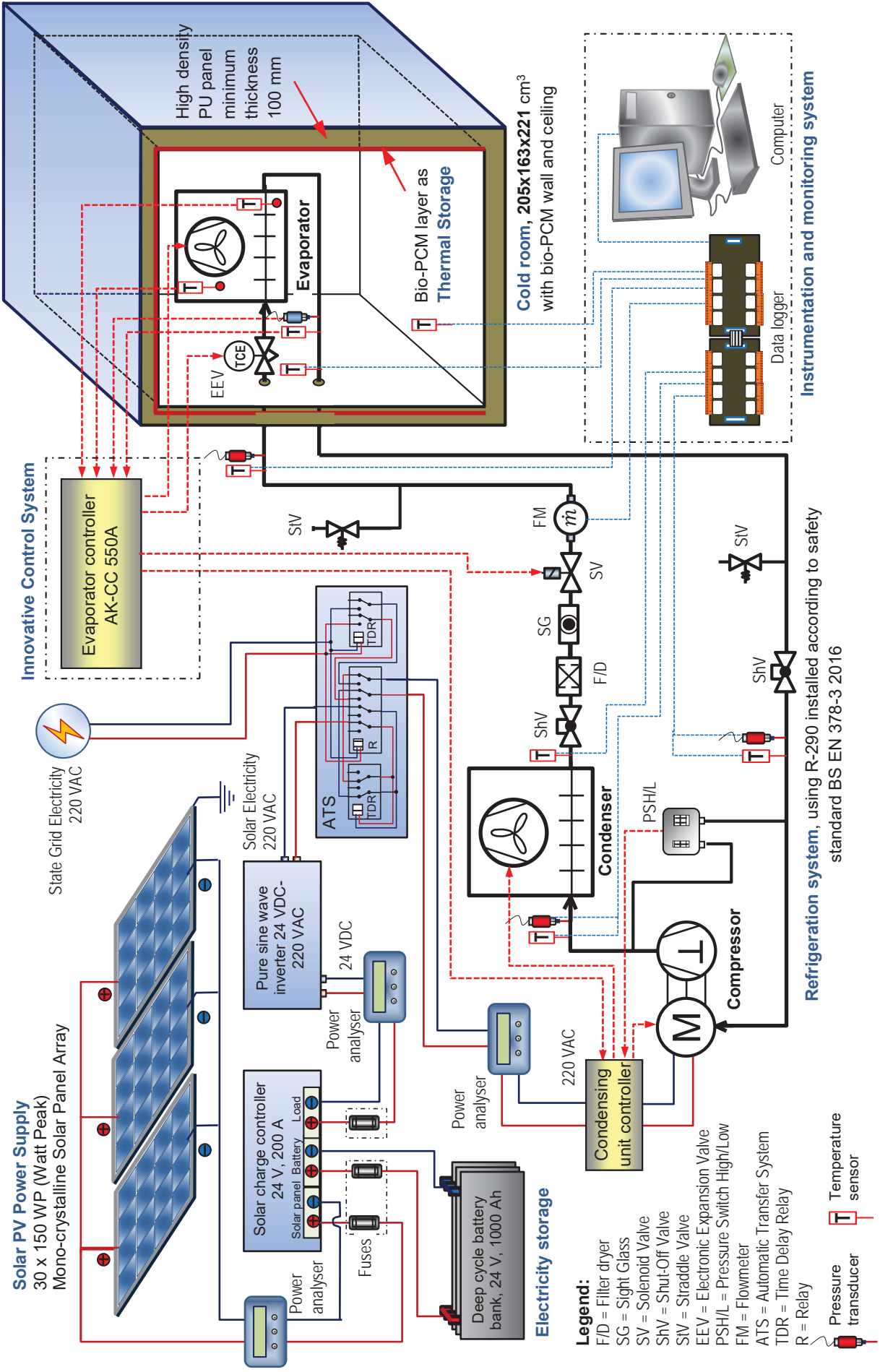
Link Dokumentasi: <https://youtu.be/IZH649pQ2yY>

**COLD STORAGE TENAGA SURYA
DENGAN BIO-PCM**
(Solar Driven Cold Storage integrated with Bio-PCM)

I NYOMAN SUAMIR, ST, MSc, PhD
SUDIRMAN, ST, MT
I NENGAH ARDITA, ST, MT
DR. GEDE SANTANU, SE, MM

POLITEKNIK NEGERI BALI
2020

COLD STORAGE TENAGA SURYA DENGAN TEKNOLOGI ENERGI BERKELANJUTAN



COLD STORAGE TENAGA SURYA DENGAN BIO-PCM

(Solar Driven Cold Storage integrated with Bio-PCM)

Inovatif *cold storage* telah dibangun di Laboratorium Refrigerasi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali. *Cold storage* yang dimaksud merupakan sistem refrigerasi dengan platform teknologi energi terbarukan (*renewable energy technology*) dan teknologi energi berkelanjutan (*sustainable energy technology*) untuk aplikasi penyimpanan pangan segar (*chilled food*) dan pangan beku (*frozen food*) yang disebut dengan nama: “COLD STORAGE TENAGA SURYA DENGAN TEKNOLOGI ENERGI BERKELANJUTAN” atau “*Solar Driven Cold Storage with Sustainable Energy Technologies*” dengan kandungan inovasi sebagai berikut:

1. Sistem suplai daya tenaga surya (*solar PV*) “off-grid”;
2. Penyimpanan energi inovatif yang mengintegrasikan sistem penyimpanan energi listrik dan penyimpanan energi termal;
3. Sistem refrigerasi yang efisien energi dan refrigeran yang ramah lingkungan;
4. Sistem kontrol yang inovatif yang dapat mengurangi konsumsi energi dan memaksimalkan pengoperasian tanpa konsumsi energi;
5. Ruang dingin (*Cold room*) dengan dinding yang efisien energi;
6. Sistem instrumentasi dan monitoring yang independen.

Sistem *cold storage* yang inovatif dapat digunakan untuk melakukan evaluasi baik secara numerikal maupun eksperimental kelayakan konsep sebuah teknologi refrigerasi berkelanjutan yang berbasis sumber-sumber energi terbarukan.

Tujuan inovasi alat peraga adalah untuk menerapkan metode yang seragam untuk menguji *cold storage* komersial untuk evaluasi konsumsi energi, kinerja suhu produk, dan faktor kinerja lainnya. Untuk mencapai pengujian kinerja lengkap, sistem uji *Cold Storage* dilengkapi dengan sistem instrumentasi dan monitoring yang tepat yang terdiri dari sensor suhu dan tekanan, sensor RH, flowmeter, dan pengukur daya. Untuk panel PV surya, instrumentasi akan mencakup tegangan, arus, daya, iradiasi matahari, dan pengukuran suhu permukaan.

Sinyal keluaran dari perangkat instrumentasi dicatat oleh sistem pencatatan data yang terdiri dari modul akuisisi data dan sistem perekaman dan tampilan. Modul akuisisi data menggunakan seri Datascan 7000 dari MSL (Measurement System Ltd.) yang mencakup prosesor pengukuran Datascan 7320 dan modul ekspansi 7020. Setiap modul Datascan berisi 16 saluran input diferensial, yang dapat dikonfigurasi secara terpisah untuk pengukuran tegangan dan termokopel. Flowmeter Coriolis juga akan digunakan untuk mengukur laju aliran zat pendingin dalam sistem pendingin.

Prinsip Kerja Cold Storage Tenaga Surya dengan Bio-PCM

Cold room dari cold storage memiliki ukuran 205x163x221 cm³ dengan dinding polyurethane 100 mm tebal. Dinding cold storage juga diintegrasikan dengan lapisan Bio-PCM pada bagian dalamnya yang pada bagian dalamnya dilapisi dengan pelat aluminium dengan ketebalan 1 mm. Ketebalan lapisan bio-PCM mencapai 25 mm. Bio-PCM merupakan material penyimpan energy termal dengan menerapkan konsep perubahan fase. Titik beku dan titik cair dari bio-PCM untuk kebutuhan Frozen food digunakan bio-PCM temperature -20 °C. Sedangkan untuk chilled food digunakan bio-PCM dengan temperature perubahan fase sekitar -8 °C. Bio-PCM akan menyimpan dingin pada saat sistem refrigerasi beroperasi dan akan mensuplai dingin atau menyerap panas pada saat sistem refrigerasi dari cold storage tidak beroperasi. Sehingga temperatur produk yang ada di dalam cold storage dapat dipertahankan pada temperature penyimpanan walaupun sistem refrigerasi dari cold storage tidak bekerja. Bio-PCM akan efektif pada saat malam hari terutama suplai listrik dari solar panel tidak ada. Sehingga bio-PCM dapat mensuplai efek pendinginan walaupun sistem refrigerasi tidak bekerja.

Sistem refrigerasi yang diterapkan dalam cold storage merupakan sistem refrigerasi yang menggunakan refrigeran yang ramah lingkungan. Refrigeran yang dimaksud adalah R-290 yang merupakan bahan alami dengan ODP nol dan GWP hanya 3 kg CO₂/kg. Dibandingkan dengan refrigerant jenis HCFC seperti R-22 yang dapat merusak ozone dan menimbulkan efek pemanasan global (GWP) sekitar 1800 kg CO₂/kg. Sistem refrigerasi yang digunakan juga memiliki efisiensi yang sangat tinggi, sekitar 20% lebih rendah dari sistem konvensional dengan menggunakan R-22. Indoor dari sistem refrigerasi ditempatkan di dalam Cold Storage sedangkan condensing unitnya ditempatkan di luar ruangan. Sehingga memenuhi aspek keselamatan kerja karena menggunakan refrigerant jenis R-290.

Sistem refrigerasi dari cold storage berkerja berdasarkan kontroller AK-CC 550A yang merupakan kotrol evaporator yang dilengkapi dengan sensor temperature dan tekanan. Sensor temperature mencakup temperature udara di dalam ruangan Cold storage, temperature evaporator, temperature refrigerant ke luar evaporator untuk mendeteksi degree of superheat dari refrigerant yang masuk ke kompresor, sehingga kompresor dari sistem refrigerasi selalu bekerja pada kondisi yang aman. Besarnya degree of superheat dapat diset pada evaporator controller. Pengamanan kompresor lainnya dapat berupa low dan high pressure switch yang terintegrasi dengan sistem kontrol dari condensing unit.

Untuk keperluan simulasi kinerja sistem cold storage dengan teknologi berkelanjutan, sistem refrigerasi juga dilengkapi dengan sensor tekanan dan temperature pada empat titik siklus refrigerasi. Sistem juga dilengkapi dengan flowmeter untuk mengukur laju aliran massa refrigerant di dalam siklus refrigerasi. Power meter juga dipasang untuk mengukur daya yang dikonsumsi oleh kompresor dan komponen lainnya.

Untuk memonitor kinerja dan operasional dari sistem refrigerasi dan juga sistem panel surya, unit peraga juga dilengkapi dengan sistem instrumentasi dan sistem monitoring yang dapat mencatat data operasional cold storage berdasarkan real time. Di samping itu sistem monitoring dapat juga menyajikan parameter operasi secara langsung sehingga dapat segera diketahui

kinerja sistem dari detik ke detik. Hasil pengukuran operasional dan kinerja sistem dapat kemudian didownload melalui sistem computer yang disiapkan sebagai bagian integral dari sistem instrumentasi dan monitoring.

Dengan memonitoring semua parameter kinerja dari sistem Cold Storage, maka pengaruh dari penggunaan integrasi dari dua tipe penyimpanan energi yaitu penyimpanan energi listrik dengan battery dan penyimpanan energi termal dengan menggunakan bio-PCM akan dapat diamati terutama pada malam hari dimana sumber energi surya tidak ada, sehingga sistem cold storage akan sepenuhnya bekerja menggunakan energi listrik dan energy termal yang sudah disimpan pada siang harinya. Dengan aplikasi bio-PCM pada sistem akan dapat mengurangi kapasitas battery yang diperlukan untuk menjaga operasi sistem cold storage pada malam hari atau pada kondisi dimana tidak ada cahaya matahari, misalnya karena hari hujan atau mendung.

BAGIAN 1 - DESKRIPSI SUPLAJ DAYA LISTRIK TENAGA SURYA

1.1 Suplai Daya Listrik Tenaga Surya (PLTS) Berbasis “On-Grid”

Konsep suplai daya listrik tenaga surya (PLTS) berbasis “on-grid” yang diinstall di lab refrigerasi dan tata udara Politeknik Negeri Bali diilustrasikan pada Gambar 1.1. Sistem suplai daya listrik terdiri atas solar PV array yang tersusun dari 10 panel PV dengan kapasitas masing-masing 310 Wp. Sehingga total kapasitasnya menjadi 3,1 kWp. Sistem juga dilengkapi dengan pengaman tegangan DC (DC breaker), on-grid inverter dengan kapasitas 5 kW, pengaman tegangan AC, pengaman beban dan dua power meter analog (mengukur produksi energi total) dan digital (mengukur daya dan produksi energi yang diekspor ke PLN). Online Monitoring System (OMS) juga dilengkapi, sehingga suplai daya listrik tenaga surya ini dapat dimonitor secara online.



Gambar 1.1 Konsep suplai daya listrik tenaga surya yang dikembangkan melalui penelitian ini

Foto instalasi dari suplai daya tenaga surya (PLTS) disajikan pada Gambar 1.2. Sistem PLTS dengan spesifikasi:

1. Kapasitas pembangkitan atau produksi 3,1 kWp dengan jumlah panel PV 10 buah dan kapasitas masing-masing panel PV 310 Wp;
2. Tipe instalasi “on-grid”;
3. Sistem kontrol dan monitoring online, karena PLTS ini dilengkapi dengan OMS atau Online Monitoring System;
4. Memberikan suplai daya untuk menjalankan cold storage pada siang hari juga dari listrik PLN kalau suplai atau produksi tidak mencukupi dan mengekspor

- daya listrik ke PLN apabila sistem cold storage dalam kondisi tidak beroperasi.
5. Apabila cold storage tidak dioperasikan, maka sistem PLTS mampu untuk mensuplai listrik untuk mendukung program Green Office ruang kantor Kaprodi TPTU dan TRU Jurusan Teknik Mesin PNB. Program green office dikembangkan untuk penguatan PNB yang berpayung pada pusat unggulan “Green Tourism”;
 6. PLTS ini juga sudah dirancang untuk dapat dimanfaatkan sebagai media pembelajaran “Renewable Energy Technology”.



Gambar 1.2 PLTS yang dibangun dalam penelitian ini lengkap dengan spesifikasinya

Adapun model panel PV yang digunakan memiliki kapasitas daya puncak 310 Wp dengan rincian spesifikasi seperti yang diilustrasikan pada Tabel 1.1.

Table 1.1 Spesifikasi panel surya (Solar PV) yang digunakan pada sistem PLTS

Parameters	Value	Parameters	Value
Maximum power P_{max} (WP)	310	Panel size (mm)	1640 x 990 x 35
Voltage at P_{max} (V)	33	Weight (kg)	19
Current at P_{max} (A)	9.4	Cell size (mm)	156 x 156
Open circuit voltage (V)	40.30	Number of cells	36
Short circuit current (A)	9.96	Cells type	Mono-crystalline silicon

1.2 Sistem Monitoring Berbasis Online

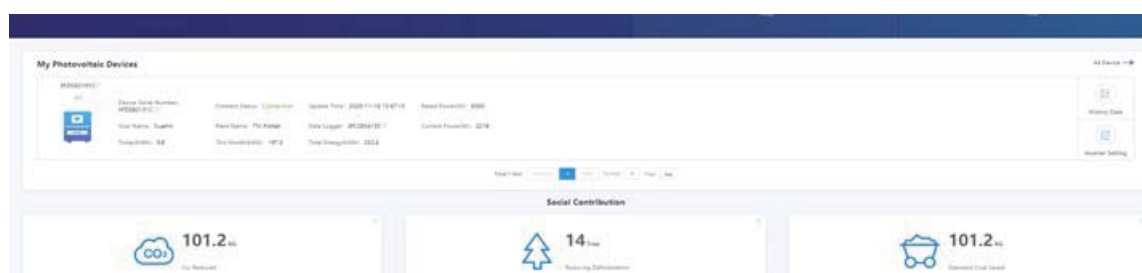
Monitoring sistem PLTS ini dapat dilakukan online maupun langsung dari ruang kontrol. Monitoring secara online dapat dilakukan melalui handphone maupun computer dan dapat bisa diamati perkembangan daya listrik yang dihasilkan serta produksi energi per 5 menit. Tampilan juga dilengkapi dengan diagram yang menarik. Sistem monitoring online

juga dilengkapi dengan kemampuan pencatatan data baik data berdasarkan real time, harian, bulanan, dan tahunan. Semua itu dapat diakses pada sistem monitoring yang disediakan dan dapat ditampilkan dan di-download untuk dapat diolah lebih lanjut. Tampilan produksi energi dari sistem PLTS dapat dilihat pada Gambar 1.3.



Gambar 1.3 Sistem monitoring untuk produksi energi sistem PLTS melalui komputer dengan jaringan internet

Sistem monitoring juga dilengkapi dengan kemampuan untuk pengamatan secara langsung berdasarkan real time kontribusi sosial dari sistem PLTS. Kontribusi sosial yang dimaksud mencakup: penurunan emisi CO₂ dalam kg, pengurangan penebangan pohon ekuivalen dalam satuan batang pohon (tree), dan penghematan penggunaan batubara untuk memproduksi listrik dalam kg. Tampilan monitoring kontribusi sosial dari sistem PLTS disajikan pada Gambar 1.4.



Gambar 1.4 Sistem monitoring untuk kontribusi sosial sistem PLTS melalui komputer dengan jaringan internet

1.3 Peresmian Sistem PLTS oleh Pimpinan PNB

Pembangunan sistem PLTS di Lab Refrigerasi Jurusan Teknik Mesin PNB, walaupun dalam skala kecil, tetapi masih tetap menjadi perhatian pimpinan PNB dengan pertimbangan sangat relevan dan mendukung payung unggulan lembaga yaitu “Green

Tourism” terbukti dengan diselenggarakannya acara peresmian yang dihadiri oleh Wadir 1, Ketua Jurusan Teknik Mesin dan Tim Peneliti beserta seluruh dosen dan PLP di jurusan Teknik Mesin. Foto-foto peresmian pembangunan sistem PLTS untuk program hibah penelitian DRPM di lab refrigerasi PNB dapat dilihat pada Gambar 1.5.



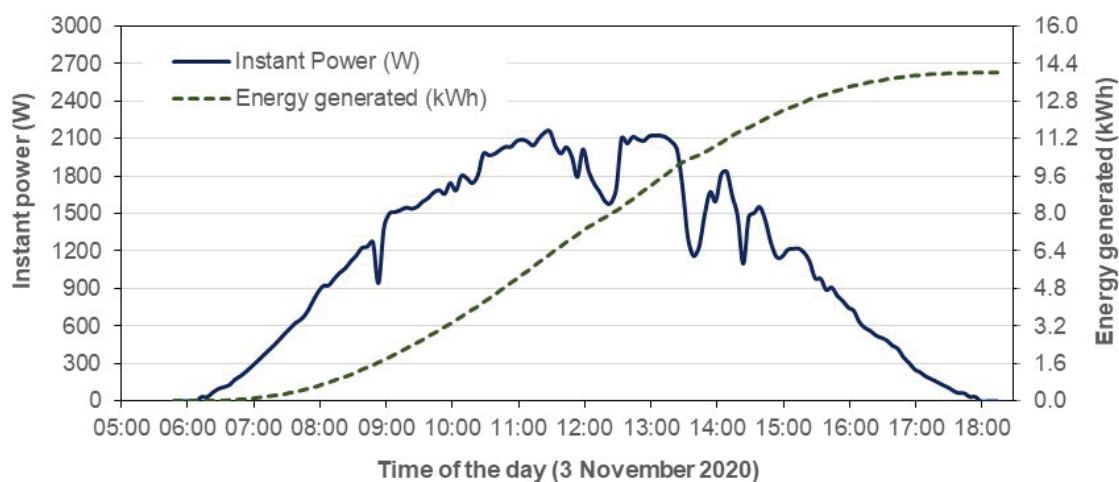
Gambar 1.5 Foto-foto peresmian PLTS di Lab Refrigerasi oleh Wadir 1 didampingi Kajur, tim peneliti, dosen dan PLP Jurusan Teknik Mesin, PNB

BAGIAN 2 - HASIL PENGUJIAN

2.1 Hasil Pengujian Pembangkitan Daya dan Energi Harian

Pengujian dilakukan secara online dan juga divalidasi dengan hasil pengamatan secara langsung pada ruang kontrol sistem PLTS. Pengamatan data baru diperoleh selama dua bulan semenjak sistem PLTS selesai dibangun dan dikomisioning yaitu bulan November dan Desember 2020. Pengamatan dilakukan secara harian untuk dapat mengetahui variasi produksi listrik dalam setiap 5 menit, waktu awal produksi dan waktu akhir produksi hariannya. Pengamatan juga dilakukan terhadap produksi kumulatif energi listrik setiap harinya di dalam rentang 1 bulan (bulan November dan Desember).

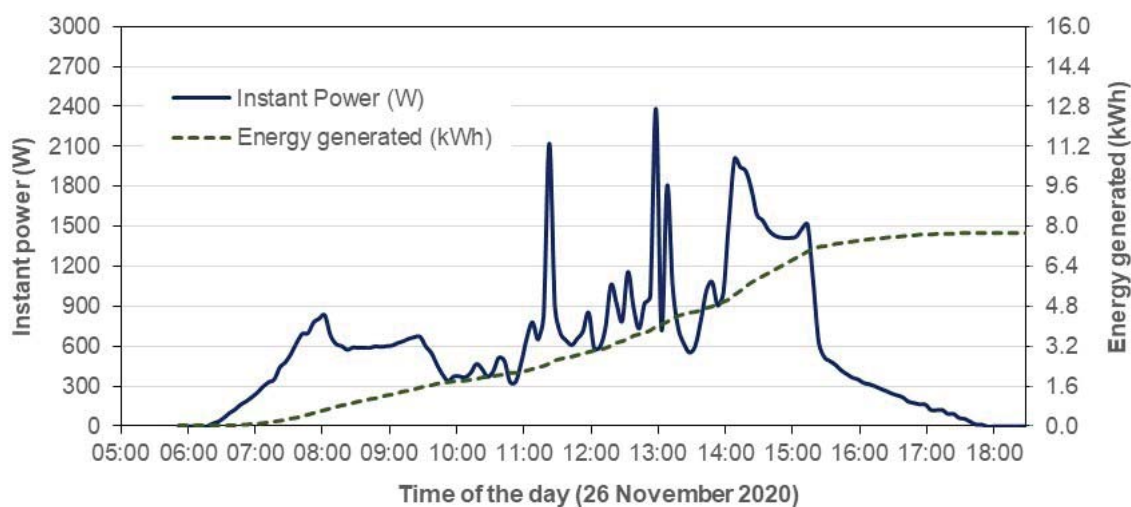
Gambar 2.1, 2.2 dan 2.3 menampilkan perkembangan variasi pembangkitan daya dan kumulatif pembangkitan energi listrik dari sistem PLTS dalam setiap 5 menit untuk tanggal 3 November, 26 November dan 14 Desember tahun 2020 yang merupakan hari dengan produksi energi listrik terbesar pada bulan November dan terkecil pada bulan November dan Desember. Pada laporan ini **hanya** ditampilkan tiga grafik saja. Untuk hari lainnya akan dapat tergambar dari perbandingan pembangkitan energi listrik harian.



Gambar 2.1 Variasi pembangkitan daya dan energi kumulatif sistem PLTS pada tanggal 3 November 2020

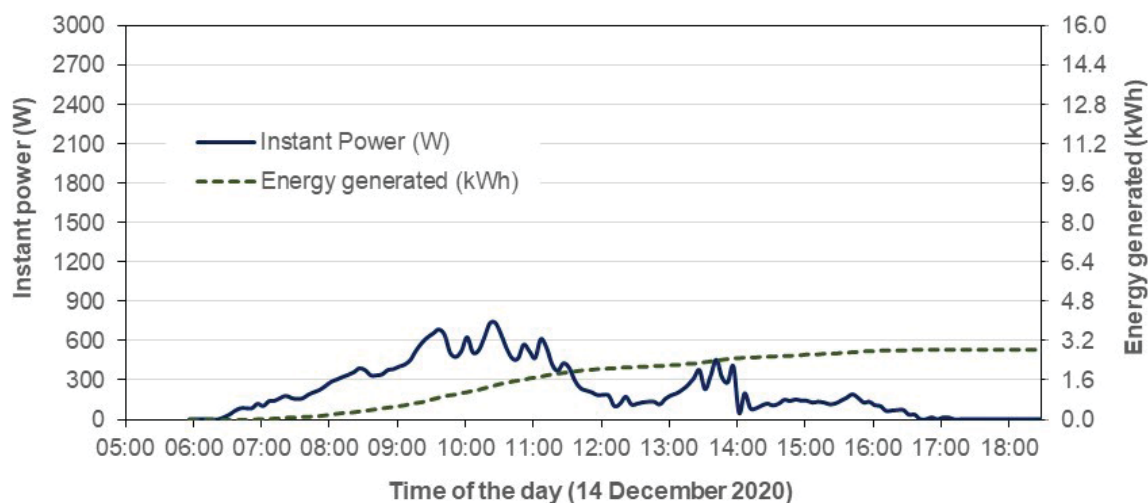
Dari grafik pembangkitan daya pada Gambar 2.1, 2.2 dan 2.3 dapat diketahui bahwa pada tanggal 3 November 2020 pembangkitan daya listrik relatif lebih stabil dengan rata-rata 1118 W dibandingkan dengan pada tanggal 26 November dan 14 Desember 2020 dengan rata-rata pembangkitan hanya 590 W dan 219 W. Hal ini menunjukkan kondisi cuaca pada

tanggal 3 November relatif lebih cerah dibandingkan dengan tanggal 26 November dan 14 Desember 2020. Adapun komulatif pembangkitan energi listriknya adalah 14,0 kWh, 7,7 kWh dan 2,8 kWh berturut-turut untuk tanggal 3, 26 November dan 14 Desember 2020. Kondisi cuaca sangat mempengaruhi jumlah pembangkitan energi oleh sistem PLTS. Kondisi cuaca pada hari pengamatan juga sudah dikonfirmasi dengan hasil pengamatan cuaca secara langsung dimana pada tanggal 26 November dan 14 Desember 2020 kondisi cuaca mendung tebal dan hujan relatif lebat. Sedangkan pada tanggal 3 November hari relatif lebih baik mendung tipis dan sekali-sekali disertai hujan gerimis.



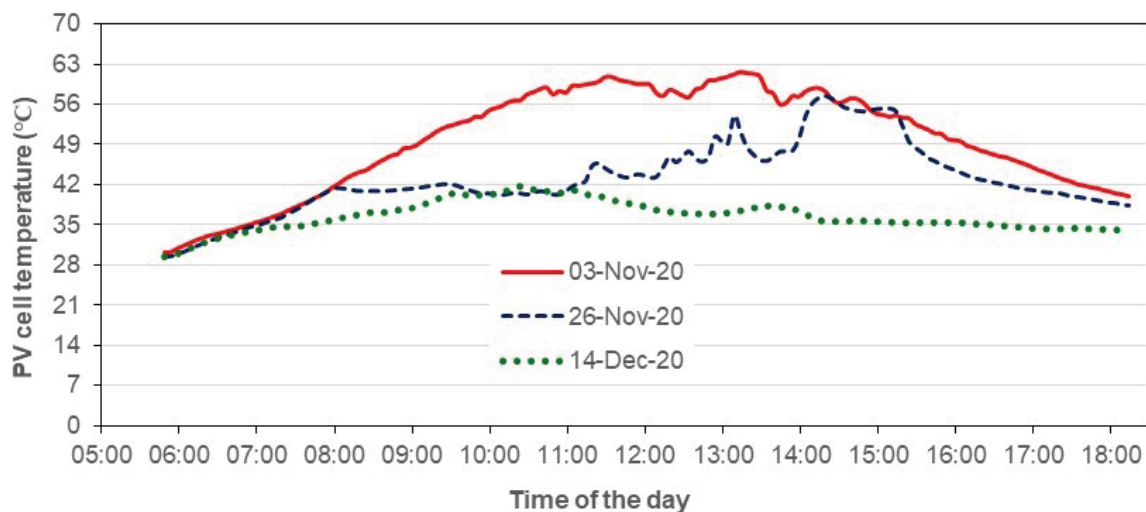
Gambar 2.2 Variasi pembangkitan daya dan energi komulatif sistem PLTS pada tanggal 26 November 2020

Khusus untuk tanggal 14 Desember terjadi hujan hampir sepanjang hari dan hanya berhenti sebentar tapi masih mendung dari jam 9 sampai jam 11.30. Sehingga pembangkitan daya listrik dan energi komulatif pada hari ini sangat rendah (Gambar 2.3).



Gambar 2.3 Variasi pembangkitan daya dan energi komulatif sistem PLTS pada tanggal 14 Desember 2020

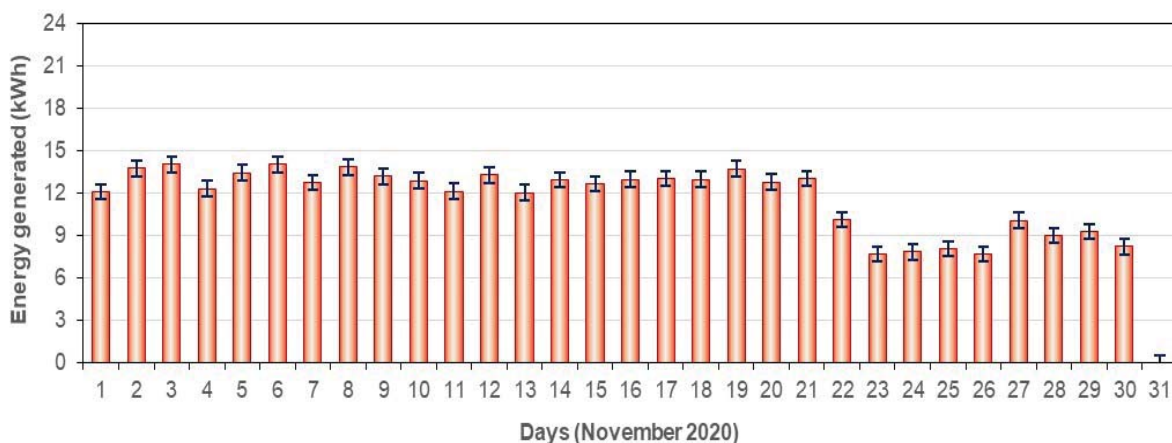
Variasi besarnya pembangkitan daya dan energi pada kedua hari yang diamati juga terkonfirmasi dengan kesesuaian variasi temperatur permukaan sel panel PV. Gambar 2.4 menunjukkan variasi temperatur permukaan sel panel PV yang sangat dipengaruhi oleh keadaan cuaca serta radiasi matahari.



Gambar 2.4 Variasi temperatur permukaan sel panel PV sepanjang hari pada tanggal 3 dan 26 November 2020

2.2 Hasil Pengujian Pembangkitan Energi Bulanan

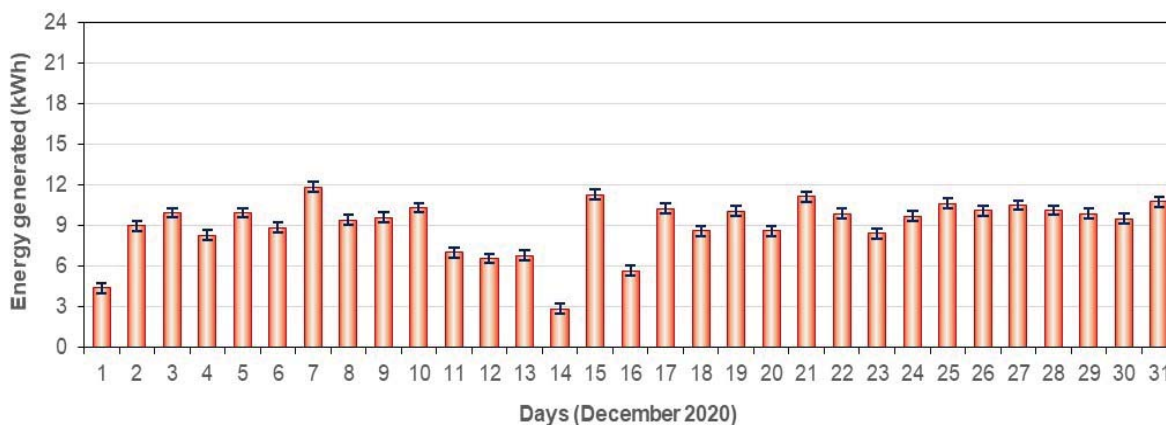
Sistem PLTS dalam penelitian ini baru beroperasi sekitar 2 bulan 7 hari. Oleh karena itu data pembangkitan energi yang dapat ditampilkan baru dua bulan saja, yaitu pada bulan November dan Desember tahun 2020. Pembangkitan energi pada bulan November 2020 disajikan pada Gambar 2.5. Sedangkan bulan Desember dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.5 Variasi pembangkitan energi listrik PLTS pada bulan November 2020

Berdasarkan Gambar 2.5 dan 2.6 dapat diidentifikasi bahwa pembangkitan energi listrik pada bulan Desember secara umum lebih rendah dibandingkan pada bulan November. Rata-rata pembangkitan listrik per hari sebesar 11,7 kWh dan 9,0 kWh berturut-turut untuk

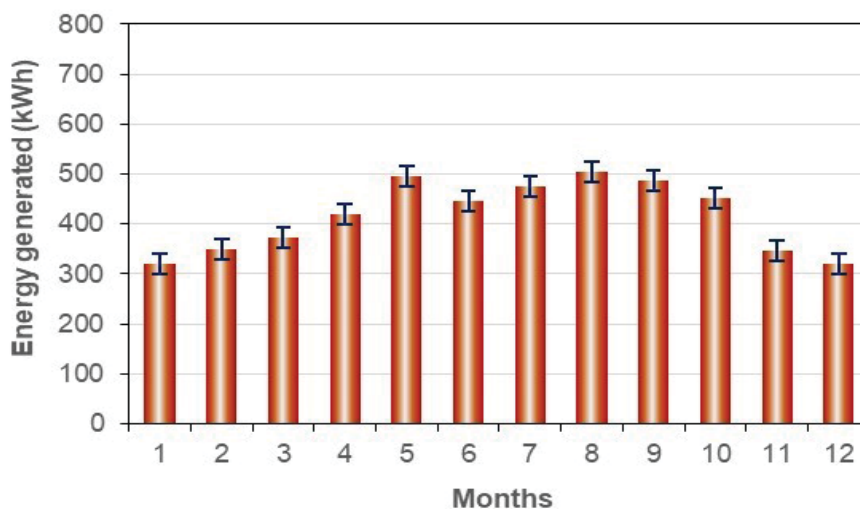
bulan November dan Desember. Pembangkitan listrik harian paling rendah terjadi pada tanggal 14 Desember 2020 dengan nilai 2,8 kWh. Secara umum pembangkitan energi listrik pada kedua bulan ini relatif lebih rendah dari bulan-bulan yang lainnya karena sudah musim penghujan. Hujan lebih sering dan lebih lebat terjadi pada bulan Desember 2020.



Gambar 2.6 Variasi pembangkitan energi listrik PLTS pada bulan Desember 2020

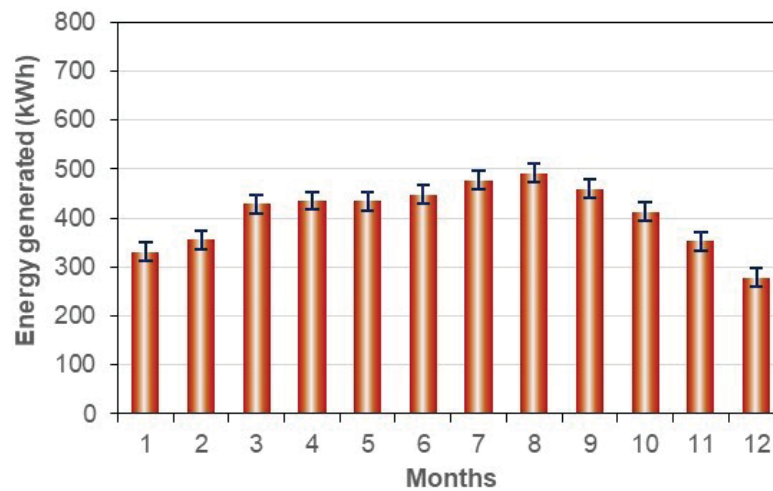
2.3 Hasil Estimasi Pembangkitan Energi Tahunan

Karena sistem PLTS baru beroperasi hanya dua bulan lebih, untuk mendapatkan kinerja tahunan dari sistem PLTS dilakukan estimasi dengan melakukan simulasi perbandingan dengan sistem PLTS yang sudah beroperasi di sekitar lokasi pengujian. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk dapat melakukan identifikasi kecukupan pembangkitan daya dan energi listrik dari PLTS dalam mensuplai daya pada mesin Cold Storage. Dari hasil simulasi tersebut diperoleh pembangkitan energi tahunan selama dua tahun seperti yang disajikan pada Gambar 2.7 untuk tahun 2019 dan Gambar 2.8 untuk tahun 2020.



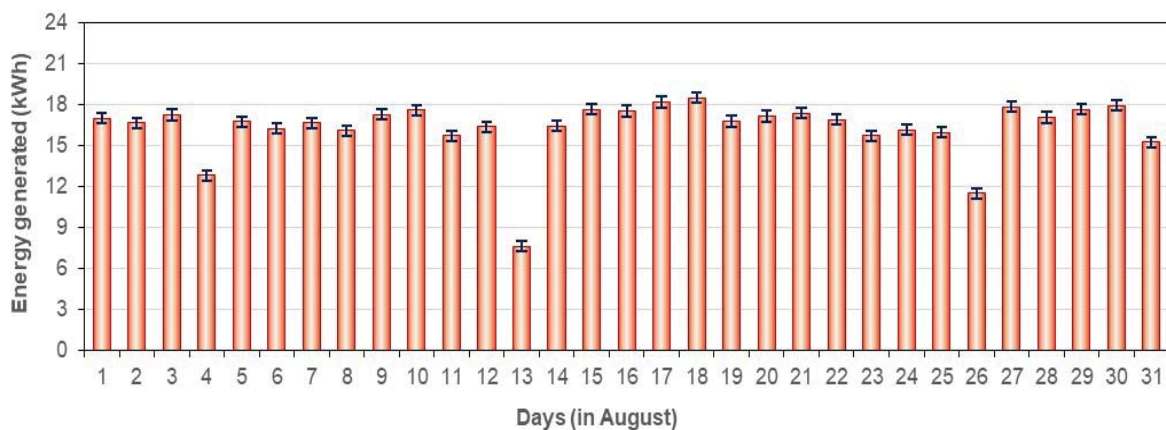
Gambar 2.7 Fluktuasi pembangkitan energi listrik PLTS diestimasi berdasarkan data berdasarkan data sistem sejenis di sekitar lokasi PLTS pada tahun 2019

Dari kedua grafik pada Gambar 2.7 dan 2.8, pembangkitan energi listrik dapat diprediksi dengan distribusi pembangkitan terbesar jatuh pada sekitar bulan Agustus. Pembangkitan relatif baik pada sekitar bulan Maret sampai dengan bulan Oktober dan relatif rendah pada bulan Januari, Februari, November dan Desember serta pembangkitan listrik PLTS terendah terjadi pada bulan Desember. Adapun pembangkitan listrik per tahunnya diestimasi berkisar antara 4906 kWh dan 4986 kWh dengan rata-rata pembangkitan tiap bulannya berada pada rentang antara 409 kWh dan 416 kWh.



Gambar 2.8 Fluktuasi pembangkitan energi listrik PLTS dalam satu tahun diestimasi berdasarkan data sistem sejenis di sekitar lokasi PLTS pada tahun 2020

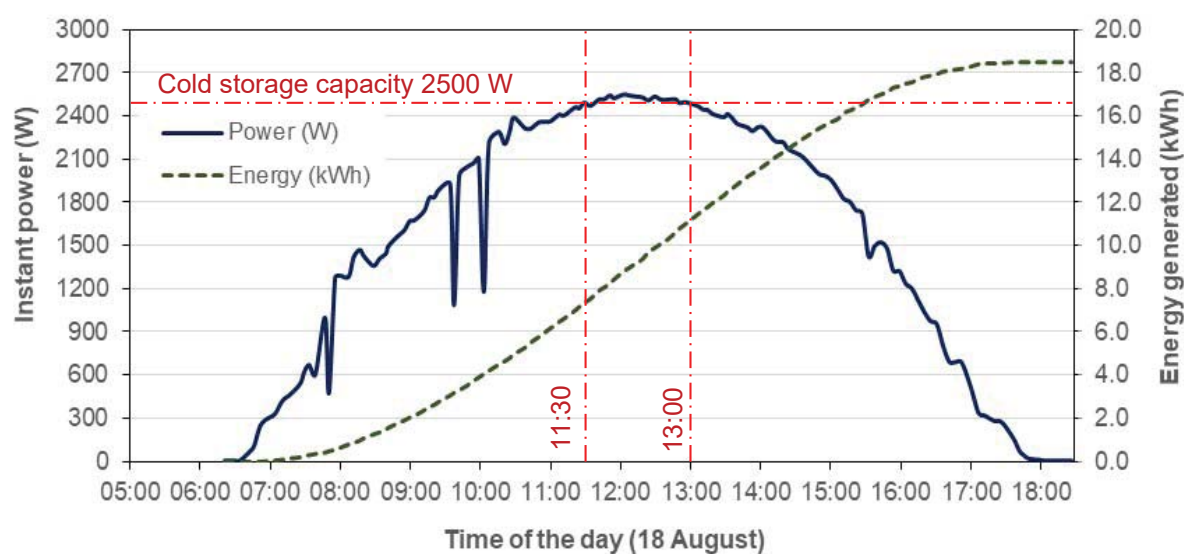
Untuk dapat memprediksi pembangkitan daya optimum sistem PLTS dengan kapasitas 3,1 kWp di kawasan Bali Selatan khususnya kampus Politeknik Negeri Bali (PNB), maka dilakukan simulasi pembangkitan energi komulatif harian pada bulan pembangkitan tertinggi yaitu bulan Agustus.



Gambar 2.9 Estimasi variasi pembangkitan energi listrik PLTS berdasarkan data sistem sejenis di sekitar lokasi PLTS pada bulan Agustus 2019 dan 2020

Berdasarkan hasil simulasi diperoleh distribusi pembangkitan energi listrik PLTS seperti yang disajikan pada Gambar 2.9. Dari grafik ini dapat diperoleh gambaran rata-rata produksi energi listrik relatif tinggi. Hampir setiap hari pembangkitan listrik melebihi 15 kWh. Hanya sekitar 3 hari di bawah 15 kWh. Hal ini menunjukkan kondisi cuaca di bulan Agustus sangat cerah. Adapun pembangkitan energi listrik pada bulan Agustus diestimasi dapat mencapai angka 492 kWh sampai dengan 505 kWh dengan rata-rata pembangkitan energi harian mencapai 16,3 kWh.

Daya pembangkitan optimum dari sistem PLTS dapat dianalisis dengan menggunakan grafik pembangkitan daya dan energi berdasarkan waktu harian (real time). Dari Gambar 2.9 dapat diidentifikasi pembangkitan energi terbesar terjadi pada tanggal 18 Agustus. Tanggal ini dipilih untuk dilakukan analisis lebih lanjut untuk dapat memprediksi pembangkitan daya dan energi berdasarkan waktu harian. Hasil estimasi tersebut diilustrasikan pada Gambar 2.10.

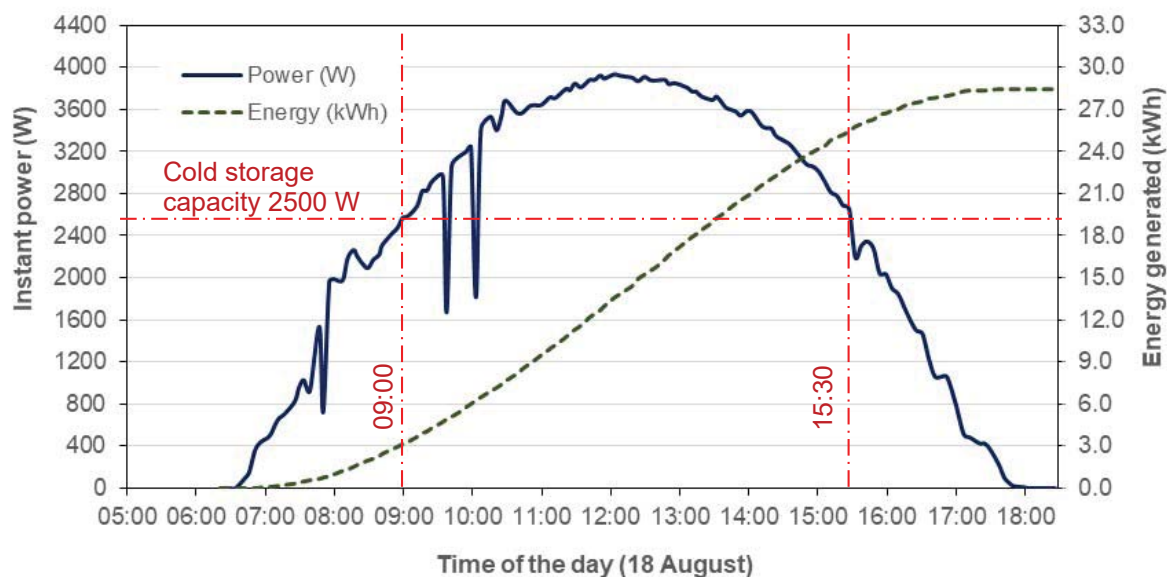


Gambar 2.10 Estimasi variasi pembangkitan daya dan energi kumulatif sistem PLTS berdasarkan data sistem sejenis di sekitar lokasi PLTS pada tanggal 18 Agustus 2019 dan 2020

Dari Gambar 2.10 dapat dilihat variasi pembangkitan daya yang teratur mulai dari jam 6.43 pagi terus meningkat secara signifikan dan mencapai puncaknya pada sekitar jam 12.00 sampai jam 13.00 dengan daya pembangkitan maksimum mencapai 2551 kW. Kemudian terus menurun sampai tidak produksi lagi pada jam 17.58. Terjadi hanya sedikit fluktuasi pada sekitar jam 10 pagi. Dari grafik ini juga dapat ditentukan pembangkitan daya maksimum yang dapat dihasilkan dari suatu sistem PLTS 3,1 kWp untuk kawasan Bali Selatan hanya sekitar 2,55 kW atau sekitar 82,3% dari spesifikasi daya puncak. Adapun daya

pembangkitan rata-rata harian maksimum dapat mencapai 1625 W. Sebagian besar daya pembangkitan harian berada di bawah kapasitas sistem cold storage 2500 W. Pembangkitan daya yang dapat memenuhi kebutuhan daya cold storage hanya 1,5 jam dari jam 11.30 sampai dengan jam 13.00. Total jam pembangkitan harian sekitar 10 jam lebih. Dengan kondisi pembangkitan ini, sebagian besar waktu operasional cold storage perlu suplai listrik dari PLN dan hanya 1,5 jam/hari mampu memenuhi daya secara mandiri.

Oleh karena itu dilakukan optimasi kapasitas sistem PLTS tipe “on grid” agar mampu beroperasi secara mandiri pada jam-jam efektif pembangkitan mulai dari jam 09.00 sampai dengan jam 15.30. Hasil optimasi melalui program EES disajikan pada Gambar 2.11. Dengan sistem PLTS seperti ini, diperoleh rata-rata pembangkitan daya optimum sebesar 2500 W dengan daya pembangkitan tertinggi sekitar 3900 W dan energi komulatif harian mencapai 28 kWh. Kemudian ditentukan kapasitas sistem PLTS yang optimum yaitu sebesar 4960 Wp dengan jumlah panel solar PV 310 W sebanyak 16 buah. Dengan sistem PLTS hasil optimasi, sistem cold storage dapat beroperasi mandiri tanpa suplai daya PLN selama 6,5 jam setiap harinya. Sekitar 3,5 jam beroperasi secara kombinasi dengan suplai daya dari sistem PLTS dan PLN. Sedangkan sisa waktu operasi disuplai sepenuhnya dari listrik PLN.



Gambar 2.11 Estimasi variasi pembangkitan daya dan energi komulatis dari sistem PLTS hasil optimasi

Hasil optimasi dari hasil penelitian ini menjadi rekomendasi untuk penyempurnaan hasil penelitian dan sebagai referensi untuk pengembangan sistem PLTS pada aplikasi cold storage di kawasan Bali Selatan.

2.4 Kontribusi sosial dari sistem PLTS

PLTS sebagai sumber energi terbarukan, memberikan kontribusi sosial yang mencakup penurunan emisi CO₂ dalam kg, pengurangan penebangan pohon ekuivalen dalam satuan batang pohon (tree), dan penghematan penggunaan batubara untuk memproduksi listrik dalam kg. Kontribusi sosial sistem PLTS dapat diamati melalui sistem monitoring dan juga dapat disimulasikan dengan program computer seperti EES. Kontribusi sosial dari sistem PLTS dan dari sistem PLTS optimasi diestimasi untuk jangka waktu satu tahun dan hasilnya disajikan pada Tabel 2.1.

Table 1.1 Kontribusi social dari sistem PLTS terpasang dan hasil optimasi

Kontribusi sosial	Sistem PLTS	
	PLTS terpasang kapasitas 3,10 kWp	PLTS hasil optimasi kapasitas 4,96 kWp
Pembangkitan energi per tahun (kWh)	4946	7914
Penurunan emisi CO ₂ (kg/tahun)	1979	3166
Pengurangan deforestisasi (pohon/tahun)	271	434
Pengurangan pembakaran batubara (kg/tahun)	1979	3166

Dari Tabel 2.1 dapat diketahui bahwa sistem PLTS terpasang dengan pembangkitan energi 4946 kWh per tahun dapat menurunkan efek pemanasan global melalui pengurangan emisi CO₂ sebesar 1979 kg/tahun, menurunkan laju deforestisasi atau penurunan penebangan pohon sebanyak 271 pohon per tahun serta pengurangan pembakaran sumber energi batubara sebanyak 1979 kg/tahun. Sedangkan sistem PLTS hasil optimasi mampu menurunkan parameter kontribusi energi sebanyak 60% lebih besar dari sistem terpasang. Dari hasil analisis ini ditemukan bahwa sistem PLTS hasil optimasi mampu membangkitkan daya listrik mandiri untuk dapat menjalankan sistem cold storage secara mandiri sekitar 6,5 jam per harinya atau sekitar 4 kali dari waktu sistem PLTS terpasang. Di samping itu sistem PLTS hasil optimasi juga memberikan kontribusi yang jauh lebih baik.

BAGIAN 3 - KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dan hasil optimasi sistem PLTS dalam penelitian ini dapat ditarik beberapa kesimpulan:

1. Sistem PLTS tipe On-grid dengan kapasitas 3,1 kWp yang terdiri atas 10 buah panel PV 310 Wp lengkap dengan sistem kontrol dan monitoring berbasis “online” sudah berhasil dibangun, diuji dan diintegrasikan dengan sistem cold storage kapasitas 2,5 kW di Laboratorium Refrigerasi PNB.
2. Kondisi cuaca sangat mempengaruhi jumlah pembangkitan energi oleh sistem PLTS yang dapat dikonfirmasi dari variasi temperatur permukaan panel PV.
3. Hasil simulasi menunjukkan, pembangkitan energi listrik oleh sistem PLTS terbesar jatuh pada sekitar bulan Agustus. Pembangkitan relatif baik pada sekitar bulan Maret sampai dengan bulan Oktober dan relatif rendah pada bulan Januari, Februari, November dan Desember serta pembangkitan listrik PLTS terendah terjadi pada bulan Desember.
4. Pembangkitan listrik per tahun dari sistem PLTS berkisar antara 4906 kWh dan 4986 kWh dengan rata-rata pembangkitan tiap bulannya berada pada rentang antara 409 kWh dan 416 kWh.
5. Pembangkitan daya maksimum yang dapat dihasilkan dari sistem PLTS (kapasitas 3,1 kWp) untuk kawasan Bali Selatan hanya mencapai 2,55 kW atau sekitar 82,3% dari spesifikasi daya puncak. Adapun daya pembangkitan rata-rata harian maksimum dapat mencapai 1625 W. Sebagian besar daya pembangkitan harian berada di bawah kapasitas sistem cold storage 2500 W. Pembangkitan daya yang dapat memenuhi kebutuhan daya cold storage hanya 1,5 jam dari jam 11.30 sampai dengan jam 13.00. Total jam pembangkitan harian sekitar 10 jam lebih (dari jam 6.40 sampai dengan 17.50). Dengan kondisi pembangkitan ini, sebagian besar waktu operasional cold storage perlu suplai listrik dari PLN dan hanya 1,5 jam mampu memenuhi daya secara mandiri.
6. Optimasi sistem PLTS dilakukan untuk dapat mengoptimalkan penggunaan energi terbarukan dalam pengoperasian sistem cold storage. Hasil optimasi

menunjukkan kapasitas sistem PLTS yang optimum adalah sebesar 4960 Wp dengan jumlah panel solar PV 310 W sebanyak 16 buah. Dari sistem PLTS hasil optimasi diperoleh rata-rata pembangkitan daya optimum sebesar 2500 W dengan daya pembangkitan tertinggi mencapai 3900 W dan energi kumulatif harian 28 kWh. Hasil analisis juga menunjukkan dengan sistem PLTS hasil optimasi, sistem cold storage dapat beroperasi mandiri tanpa suplai daya PLN selama 6,5 jam setiap harinya. Sekitar 3,5 jam beroperasi secara kombinasi dengan suplai daya dari sistem PLTS dan PLN. Sedangkan sisa waktu operasi disuplai sepenuhnya dari listrik PLN.

7. Sistem PLTS juga memberikan kontribusi sosial. Untuk sistem PLTS terpasang dengan pembangkitan energi 4946 kWh per tahun dapat menurunkan efek pemanasan global melalui pengurangan emisi CO₂ sebesar 1979 kg/tahun, menurunkan laju deforestisasi atau penurunan penebangan pohon sebanyak 271 pohon per tahun serta pengurangan pembakaran sumber energi batubara sebanyak 1979 kg/tahun. Sedangkan untuk sistem PLTS hasil optimasi mampu meningkatkan parameter kontribusi energi sebanyak 60% lebih besar dari sistem terpasang.

LAPORAN HASIL PENGUJIAN

**Sebagai Bagian Integral
Laporan Penelitian Multi Tahun**

**PENELITIAN TERAPAN
(PENELITIAN STRATEGIS NASIONAL-PSN)**

**PENGEMBANGAN COLD STORAGE TENAGA SURYA UNTUK
MENINGKATKAN KAPASITAS DAN KUALITAS PRODUKSI
PERIKANAN NASIONAL**

LAPORAN INI TERDIRI ATAS:

LAPORAN I

**Pengujian Penerapan Bio-PCM pada Mini Cold Storage Sebelum
Diterapkan Pada Cold Storage Tenaga Surya**

LAPORAN II

**Pengujian Fungsi Dan Kinerja Suplai Daya Tenaga Surya Untuk
Aplikasi Cold Storage Kapasitas 2,5 kW**

POLITEKNIK NEGERI BALI

November 2020

**HASIL PENGUJIAN PENERAPAN BIO-PCM
PADA MINI COLD STORAGE (CHEST FREEZER) SEBELUM
DITERAPKAN PADA COLD STORAGE TENAGA SURYA**

**Sebagai Bagian Integral
Laporan Penelitian Multi Tahun**

**PENELITIAN TERAPAN
(PENELITIAN STRATEGIS NASIONAL-PSN)**

**PENGEMBANGAN COLD STORAGE TENAGA SURYA UNTUK
MENINGKATKAN KAPASITAS DAN KUALITAS PRODUKSI
PERIKANAN NASIONAL**

Tahun ke 3 dari rencana 3 tahun program penelitian

Tim Peneliti

I Nyoman Suamir, ST, MSc, PhD (Ketua)
NIDN: 0025036514

Sudirman, ST, MT (Anggota 1)
NIDN: 0013036704

I Nengah Ardita, ST, MT (Anggota 2)
NIDN: 0030116406

Dr. Gede Santanu, SE, MM (Anggota 3)
NIDN: 0024076006

Dibiayai oleh:

Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat
Kementerian Riset dan Teknologi / Badan Riset dan Inovasi Nasional
Sesuai dengan Amandemen Kontrak Penelitian

Nomor: 133/SP2H/AMD/LT/DRPM/2020
SP DIPA - 042.06.1.401516/2020 tanggal 12 November 2019

**POLITEKNIK NEGERI BALI
November 2020**

KATA PENGANTAR

Pengujian penerapan bio-PCM pada aplikasi mini cold storage dalam hal ini digunakan Chest Freezer dengan volume 220 liter bertujuan untuk menguji pengaruh dari penggunaan Bio-PCM yang telah ditemukan pada penelitian sebelumnya dan diperdalam pada penelitian ini pada tahun pertama dan kedua. Pengujian pada mini cold storage dilakukan sebelum pada aplikasi sebenarnya pada Cold Storage Tenaga Surya dengan volume 7 m³ (7000 liter) memberikan fleksibilitas di dalam melakukan metode penerapan dan penempatan Bio-PCM serta pengaturan temperatur operasi kerja sesuai dengan level temperatur Bio-PCM yang digunakan. Penggunaan Bio-PCM juga bisa fleksibel dalam melakukan perubahan jumlah massa Bio-PCM yang diterapkan pada Cold Storage.

Dari pengujian awal ini, dapat ditemukan teknik penempatan bio-PCM yang efektif, temperatur phase change untuk mendapatkan temperatur produk yang diinginkan, jumlah Bio-PCM yang digunakan menurut kapasitas cold storage, temperatur kerja yang optimum serta penghematan energi yang dihasilkan.

Hasil temuan ini akan dapat dengan mudah diaplikasikan pada Cold Storage Tenaga Surya dengan kapasitas yang jauh lebih besar. Tahapan pengujian ini diambil untuk mengantisipasi terbatasnya waktu yang bisa dimanfaatkan untuk melakukan penelitian langsung di kampus pada musim **Pandemi Covid-19**. Disamping itu hasil temuan ini akan memberikan kemudahan dan efektifitas kegiatan penelitian dalam melakukan penerapan bio-PCM pada Cold Storage tenaga surya mengingat terbatasnya waktu penelitian akibat anjuran untuk membatasi kegiatan off-line di Laboratorium pada tahun 2020 dan adanya kebijakan lock-down Politeknik Negeri Bali pada awal 2021 sebagai akibat meluasnya civitas akademika yang **terpapar Covid-19**. Semoga pandemi Covid-19 cepat berlalu sehingga kegiatan penelitian dalam bentuk eksperimen dapat dilakukan dengan lebih leluasa di dalam laboratorium.

BAGIAN 1 - METODE DAN MATERIAL

1.1 Mini Cold Storage dan Modifikasi Penerapan Bio-PCM

Mini Cold Storage yang digunakan dalam pengujian penerapan Bio-PCM berupa *chest freezer* kapasitas 220 liter. Chest Freezer dilakukan pengujian kinerja temperatur dan energi tanpa Bio-PCM selanjutnya dilakukan modifikasi penambahan Bio-PCM dan diuji juga kinerja temperature dan energinya termasuk jumlah siklus on-off dari operasional chest freezer.

Chest Freezer tanpa Bio-PCM

Mini cold storage yang digunakan pada pengujian ini yaitu jenis *chest freezer* yang berkapasitas 220 liter. Adapun foto lengkap dengan spesifikasi dari *chest freezer* disajikan pada Gambar 1.1.



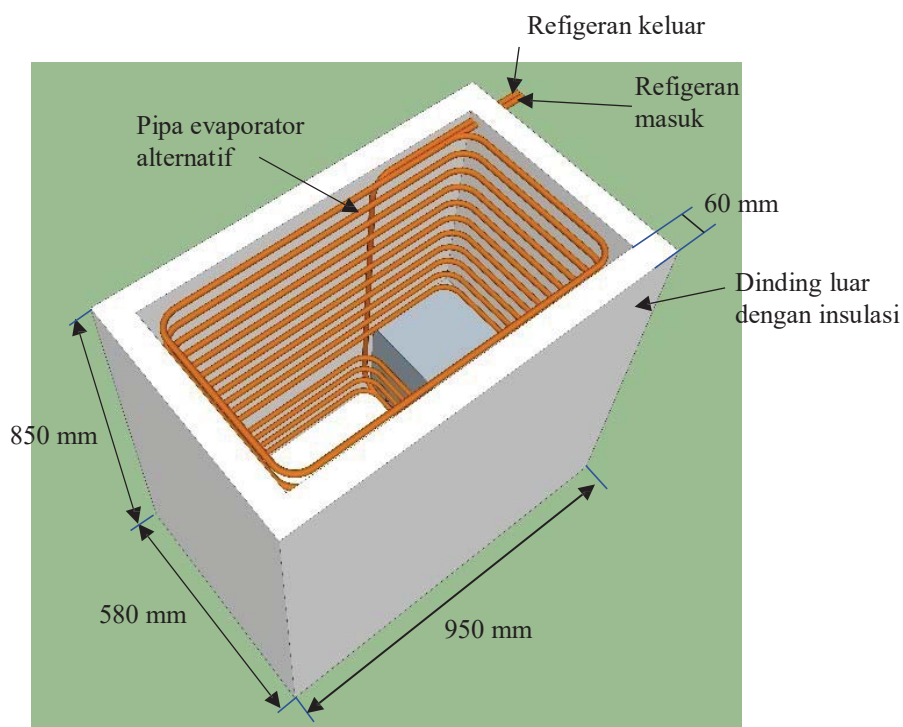
No	Parameter	Data
1	Merek Barang	RSA
2	Model	CF-220
3	Volume	220 L
4	Arus	0,74 A
5	Voltase/Frekuensi	220 V/1P/50Hz
6	Suhu	-15 ~ -20 °C
7	Kelas Iklim	T (Tropicalized)
8	Nama/Massa Refrigeran	R-600a/42 gram
9	Insulasi	Cyclopentane 34 kg
10	Berat bersih	34 kg
11	Negara pembuat	Cina

Gambar 1.1 Chest freezer kapasitas 220 liter lengkap dengan spesifikasinya

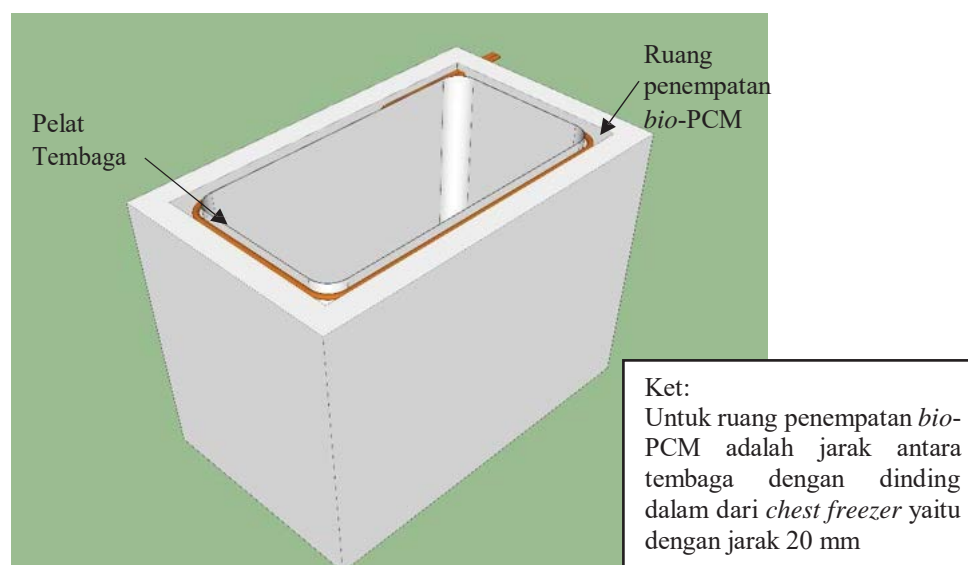
Modifikasi Chest Freezer dengan Bio-PCM

Modifikasi dilakukan untuk dapat mengintegrasikan Bio-PCM secara akurat dengan jumlah yang cukup untuk dapat menghasilkan kinerja temperatur yang berada pada rentang temperatur freezer tanpa bio-PCM dan kinerja energi dengan penghematan yang optimal. Dilakukan kajian komparasi kinerja dari *chest freezer* kapasitas 220 liter tanpa menggunakan *bio-PCM* dan dengan menggunakan *bio-PCM* dan pada akhirnya juga membandingkan konsumsi energi dari *chest freezer* kapasitas 220 liter tanpa menggunakan *bio-PCM* dan dengan menggunakan *bio-PCM*. Modifikasi dari chest freezer dan penempatan Bio-PCM

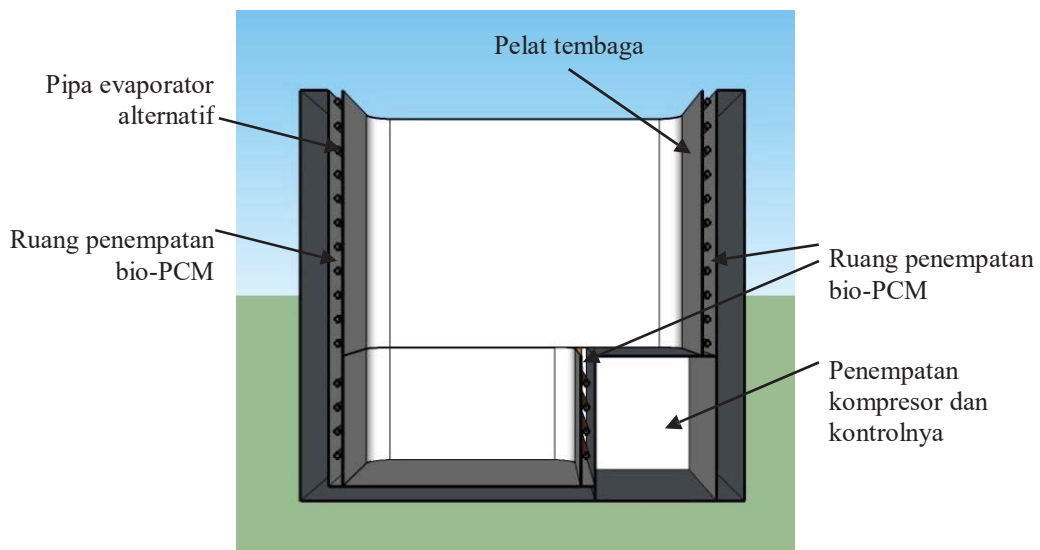
dapat dilihat pada Gambar 1.2 sampai dengan Gambar 1.4. Dari Gambar tersebut dapat diketahui bahwa Bio-PCM ditempatkan pada sebuah wadah dengan bahan dari tembaga yang menyelubungi ruang freezer. Pada pengujian ini evaporator baru yang ditempelkan pada wadah bi-PCM tidak digunakan. Jadi masih menggunakan evaporator yang asli. Dengan demikian BIO-PCM benar-benar menyentuh dinding evaporator.



Gambar 1.2 *Box chest freezer* yang sudah dimodifikasi evaporatornya



Gambar 1.3 *Box chest freezer* yang sudah dimodifikasi dengan tambahan wadah Bio-PCM



Gambar 1.4 Gambar potongan dari chest freezer yang sudah dimodifikasi

Bio-PCM

Jenis PCM yang digunakan pada pengujian ini adalah jenis PCM organic yaitu campuran air dengan ester minyak jagung (corn oil ester) dengan komposisi 20- 25% corn oil ester. Material dengan campuran air ini telah diinvestigasi untuk pengembangan PCM sebagai penyimpan energi thermal yang dapat diaplikasikan untuk sistem refrigerasi temperatur di bawah 0 °C. Hasil penelitian sebelumnya dan diperkuat dengan hasil penelitian tahun 1 dan 2 juga menemukan bahwa Bio-PCM yang dimaksud memiliki minimum atau bahkan tidak ada derajat supercooling. Selain itu campuran corn oil ester dengan air menawarkan suplai yang berkelanjutan dan lebih murah dibandingkan dengan fatty acid ester yang telah digunakan untuk aplikasi temperatur di bawah 0 °C. Corn oil ester memiliki sifat tidak korosif dan tidak beracun.

1.2 Instrumen Pengujian

Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan instrumen atau alat ukur yang sesuai dengan data yang diambil. Alat ukur yang digunakan di antaranya, sebagai berikut:

1. *Thermocouple*, dalam pengujian ini alat ukur yang dimaksud yaitu untuk mendapatkan temperatur refrigerant pada masing-masing titik yang ditentukan.
2. Power meter, pada pengujian ini alat ukur berfungsi untuk mendapatkan data kuat arus listrik, tegangan listrik dan daya yang dikonsumsi kompresor pada *chest freezer* yang digunakan.

3. Data logger, pada pengujian ini alat yang dimaksud digunakan untuk menampilkan dan merekam hasil pengukuran temperatur refrigeran, Bio-PCM dan produk yang diukur menggunakan sensor *thermocouple* tipe K.

1.3 Prosedur Pengujian

Adapun langkah-langkah atau prosedur yang dilakukan dalam melaksanakan pengujian ini, sebagai berikut:

1. Mempersiapkan alat dan bahan untuk pengujian: *Chest freezer* kapasitas 220 liter; Alat ukur yang berupa *thermocouple*, power meter dan data logger; Produk yang diuji berupa air dengan volume 20 liter.
2. Menempatkan alat ukur pada *chest freezer* tanpa menggunakan *bio-PCM* dan dengan menggunakan *bio-PCM* sesuai dengan data yang dicari.
3. Melakukan pengujian pada *chest freezer* tanpa menggunakan *bio-PCM* dan dengan menggunakan *bio-PCM* (*chest freezer* dihidupkan hingga mencapai temperatur kerja).
4. Mencatat data hasil pengujian pada tabel.
5. Melakukan perhitungan *coefficient of performance* (COP) untuk *chest freezer* tanpa menggunakan *bio-PCM* dan dengan menggunakan *bio-PCM* menggunakan persamaan 2.3 berdasarkan data yang telah diambil.
6. Melakukan perhitungan konsumsi energi *chest freezer* tanpa menggunakan *bio-PCM* dan dengan menggunakan *bio-PCM* menggunakan persamaan 2.5 berdasarkan data yang telah diambil.
7. Membandingkan performansi *chest freezer* tanpa menggunakan *bio-PCM* dan dengan menggunakan *bio-PCM*.
8. Membandingkan konsumsi energi *chest freezer* tanpa menggunakan *bio-PCM* dan dengan menggunakan *bio-PCM*.
9. Menganalisa dari hasil dan pembahasan.

BAGIAN 2 - HASIL PENGUJIAN

2.1 Hasil Pengujian

Dalam pengujian ini, pengujian pada *chest freezer* dilakukan secara bertahap. Mulai dari, pengujian pada *chest freezer* tanpa *bio-PCM*, lalu pengujian pada *chest freezer* dengan *bio-PCM*. Freezer tanpa *bio-PCM* disajikan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Kabin *chest freezer* yang standar

Pengujian *chest freezer* dengan *bio-PCM* dilakukan dengan dua *setting* termostat. *Setting* termostat ini dilakukan untuk mengontrol hidup mati (*on-off*) kompresor. Pada *setting* pertama termostat di-*setting* agar sama dengan *chest freezer* tanpa *bio-PCM* yaitu kompresor mati saat temperatur kabin mencapai $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan hidup kembali saat temperatur kabin mencapai $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$. Untuk *setting* yang ke dua termostat di-*setting* agar kompresor mati saat temperatur kabin mencapai $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan hidup kembali saat temperatur kabin mencapai $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2.1.1 Penambahan *bio-PCM*

Penempatan *Bio-PCM* di dalam freezer merupakan salah satu parameter yang penting untuk dipertimbangkan dalam mengintegrasikan *Bio-PCM* dengan chest Freezer. Pada pengujian ini *bio-PCM* ditempatkan di antara evaporator dan kabin dengan cara dituangkan pada ruang antara pelat tembaga tambahan dan evaporator. Dapat disimpulkan *Bio-*

PCM ditempatkan di antara evaporator dan produk yang didinginkan seperti yang disajikan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Kabin *chest freezer* dari plat tembaga

Bio-PCM yang digunakan dalam pengujian ini yaitu campuran air dengan ester minyak jagung (corn oil easter) dengan komposisi 75% air dan 25% ester minyak jagung (corn oil easter). Komposisi ini dipilih agar bio-PCM membeku pada tmperatur $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Proses pembuatan Bio-PCM sangat mudah tinggal mencampurkan kedua bahan baku dan kemudian diauk agar campuran homogen. Karen ester minyak jagung terlarut sempurna di dalam air proses pengadukan juga dilakukan dengan metode sederhana seperti yang disajikan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Proses pembuatan *bio-PCM*

Kabin chest freezer yang tanpa bio-PCM pada Gambar 2.1 dimasukan kotak yang terbuat dari plat tembaga sehingga terlihat seperti pada Gambar 2.2. Kotak ini akan menjadi kabin chest freezer atau tempat untuk produk. Dari kabin chest freezer yang standar tanpa

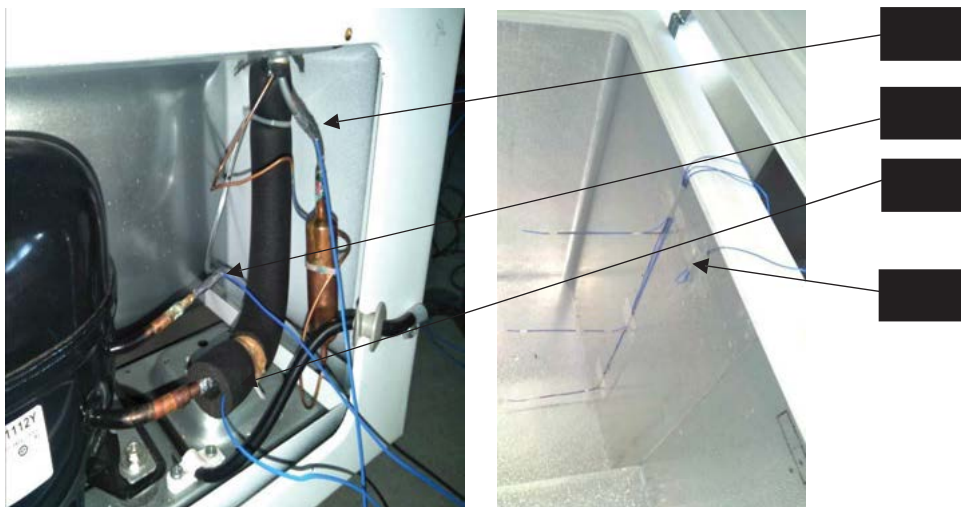
Bio-PCM dengan kotak tembaga memiliki jarak 20 mm. Dengan memberikan celah 20 mm tersebut tempat produk berkurang sebanyak 29,2 liter atau 14,9%. Pada ruang tersebut bio-PCM dituangkan sebanyak 20 liter seperti pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Proses penuangan *bio*-PCM

2.1.2 Hasil Pengujian Temperatur Refrigeran

Pada pengambilan data temperatur refrigeran pada system refrigerasi chest freezer pada masing-masing titik pengukura dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Penempatan *thermocouple* pada sistem refrigerasi

Pada Gambar 2.5 terlihat penempatan thermocouple pada sistem refrigerasi chest freezer. Untuk T_1 diukur pada pipa hisap (suction) kompresor, T_2 diukur pada pipa ke luar (discharge) kompresor, T_3 diukur pada pipa ke luar kondensor, dan T_4 diukur pada pipa masuk evaporator. Hasil dari pengukuran ini ditampilkan dan disimpan pada data *logger* seperti pada Gambar 2.6. Untuk mengukur temperatur kondensasi (T_{cond}) dapat diestimasi melalui pengukuran temperature refrigerant keluar kondensor yang diukur pada *body* dari *chest freezer* menggunakan *thermal image camera* seperti pada Gambar 2.7. Pendekatan ini dilakukan karena posisi kondensor yang berada di dalam *body* dari *chest freezer* dimana sangat tidak memungkinkan untuk mengukurnya menggunakan *thermocouple*.



Gambar 2.6 Penampilan hasil pengukuran temperatur refrigerant

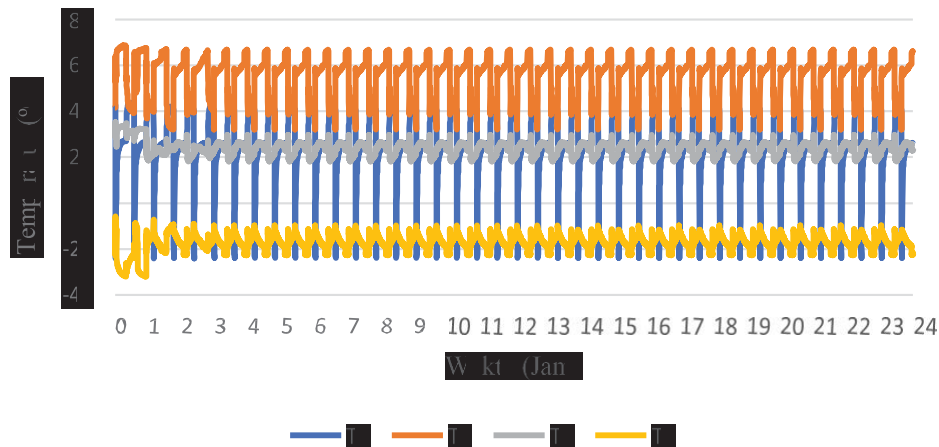


Gambar 2.7 Pengukuran tempertaer kondensasi thermal image camera

Temperatur refrigeran tanpa bio-PCM

Pengambilan data temperatur refrigerant pada *chest freezer* tanpa *bio-PCM* dilakukan selama 24 jam. Pengambilan data temperatur refrigeran digunakan untuk

mengetahui performansi dari *chest freezer* tanpa *bio-PCM*. Untuk mencari performansi dari *chest freezer* tanpa *bio-PCM* diperlukan rata-rata dari temperatur refrigeran dari masing-masing titik pengukuran. Pada Gambar 2.8 diperlihatkan grafik dari temperatur refrigeran.



Gambar 2.8 Grafik temperatur refrigeran dari *chest freezer* tanpa *bio-PCM*

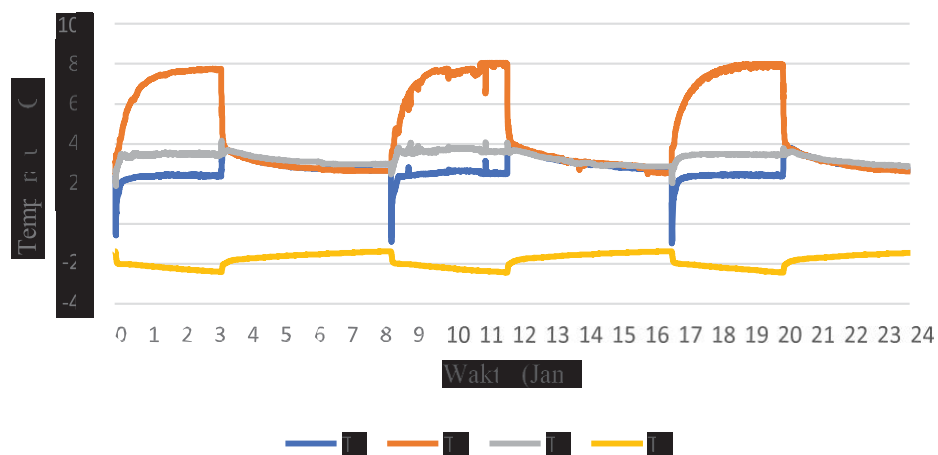
Rata-rata dari temperatur refrigeran dari masing-masing titik hanya diambil pada satu siklus saja pada saat sistem berjalan dan yang dirata-ratakan temperatur refrigeran yang stabil saja, jadi didapat temperatur refrigeran pada T_1 sebesar 25,8 °C, T_2 sebesar 66,97 °C, T_3 sebesar 32,5 °C dan T_4 sebesar -30,9 °C. Setelah dilakukan analisis dengan software EES diperoleh COP (Coefficient of Performance) atau kinerja energinya mencapai 1,99.

Dalam pengujian ini pengambilan data temperatur refrigeran, T_1 mendapat imbas temperatur kompresor saat sistem refrigerasi sedang berjalan maupun berhenti sehingga temperatur refrigeran pada T_1 sangat tinggi dan saat sistem berhenti temperatur refrigeran pada T_1 naik, hal ini terjadi karena penempatan *thermocouple* pada T_1 sangat dekat dengan kompresor.

Temperatur refrigeran dengan bio-PCM

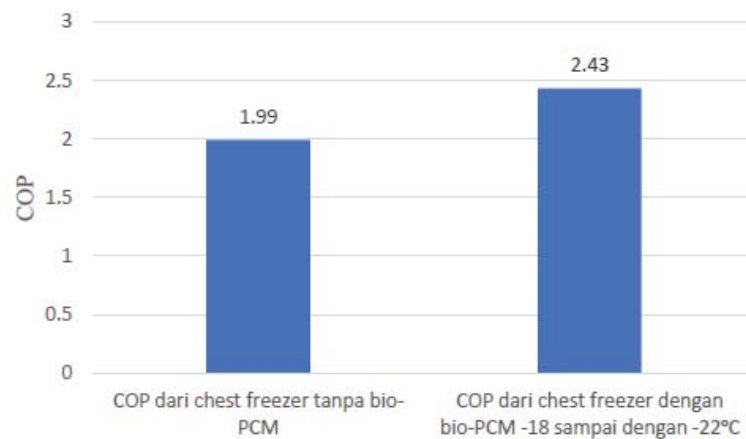
Pengambilan data temperatur refrigeran pada *chest freezer* dengan *bio-PCM* juga dilakukan selama 24 jam. Pengambilan data temperatur refrigeran digunakan untuk mengetahui performansi dari *chest freezer* dengan *bio-PCM*. Untuk mencari performansi dari *chest freezer* dengan *bio-PCM* diperlukan rata-rata dari temperatur refrigeran dari masing-masing titik pengukuran. Pada Gambar 2.9 diperlihatkan grafik dari temperatur refrigeran pada *chest freezer* dengan *bio-PCM*.

Rata-rata dicari pada satu siklus saat sistem sedang berjalan saja dengan temperatur yang stabil. Jadi didapat rata-rata T_1 sebesar $24,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, T_2 sebesar $77\text{ }^{\circ}\text{C}$, T_3 sebesar $34,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan T_4 sebesar $-23,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pada pengambilan data temperatur refrigeran pada chest freezer dengan bio-PCM temperatur refrigeran pada T_1 juga terkena imbas dari temperatur kompresor. Setelah dilakukan analisis numerik menggunakan EES berdasarkan data pengukuran dapat diperoleh kinerja energi (COP) sistem refrigerasi pada pengujian kedua yaitu chest freezer dengan Bio-PCM dan seting termostat dari $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai dengan $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ sebesar 2,43.



Gambar 2.9 Grafik temperatur refrigeran dari chest freezer dengan bio-PCM

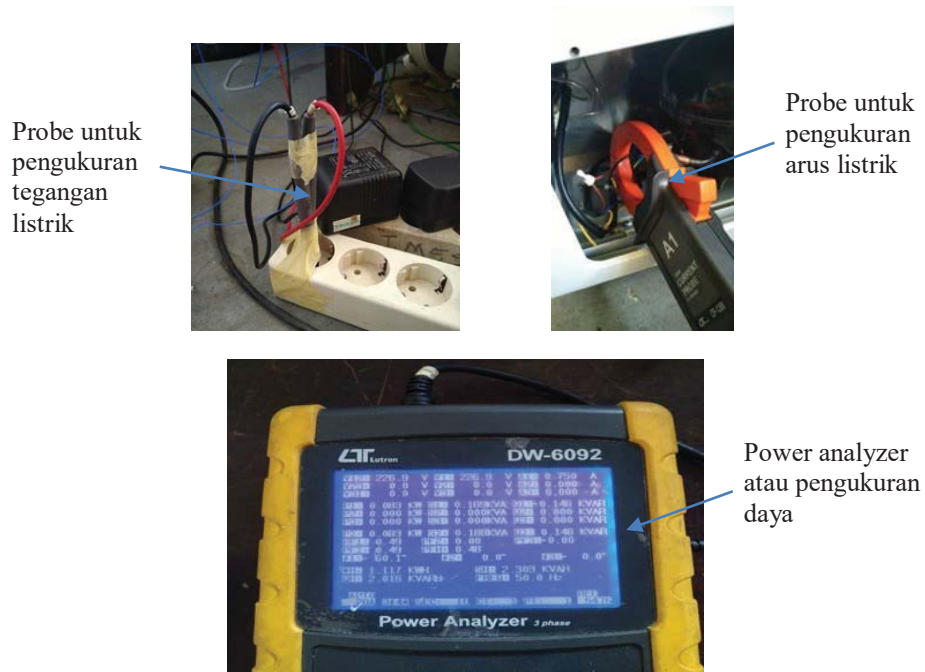
Dari hasil kajian berdasarkan data pengujian sistem refrigerasi chest freezer tanpa dan dengan Bio-PCM maka diperoleh bahwa COP atau kinerja energi Chest freezer dengan Bio-PCM jauh lebih baik dibandingkan dengan yang tanpa Bio-PCM. Dengan COP freezer Bio-PCM sekitar 21,5% lebih besar dibandingkan dengan freezer standar tanpa Bio-PCM. Pada Gambar 2.10 disajikan perbandingan COP chest freezer tanpa dan dengan Bio-PCM.



Gambar 2.10 Perbandingan COP antara chest freezer tanpa dan dengan Bio-PCM

2.1.3 Konsumsi Daya Kompresor

Pada pengambilan data daya kompresor menggunakan alat power meter dengan penempatan seperti Gambar 2.11.

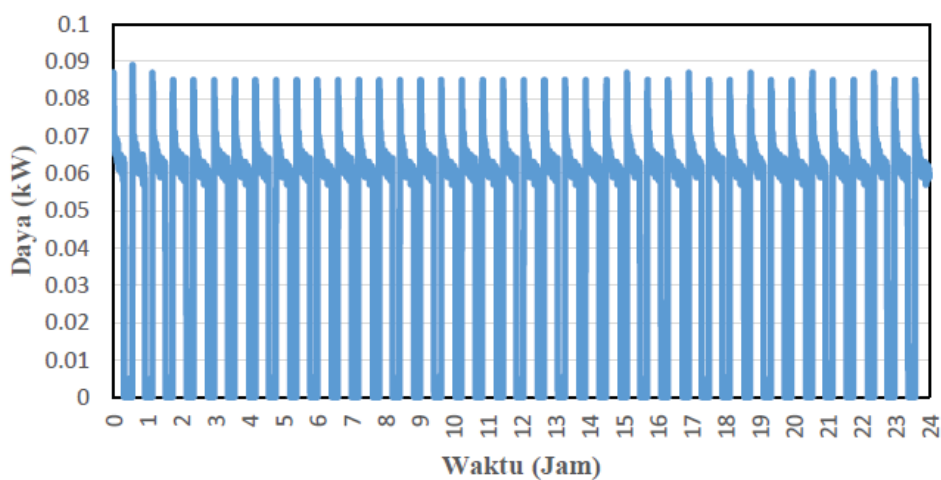


Gambar 2.11 Pengukuran daya kompresor

Pada Gambar 2.11 diilustrasikan pengukuran dan penyimpanan data hasil pengukuran daya kompresor dengan menggunakan power analyzer. Power analyzer dilengkapi dengan probe untuk pengukuran tegangan listrik dan arus listrik yang masuk kompresor. Pada display dari power analyser dapat dimonitor hasil pengukuran selain tegangan listrik dan arus listrik juga daya yang dikonsumsi kompresor dan frekuensi listrik. Pengukuran dilakukan selama 24 jam dengan interval waktu perekaman data dalam 10 detik.

Daya kompresor tanpa bio-PCM

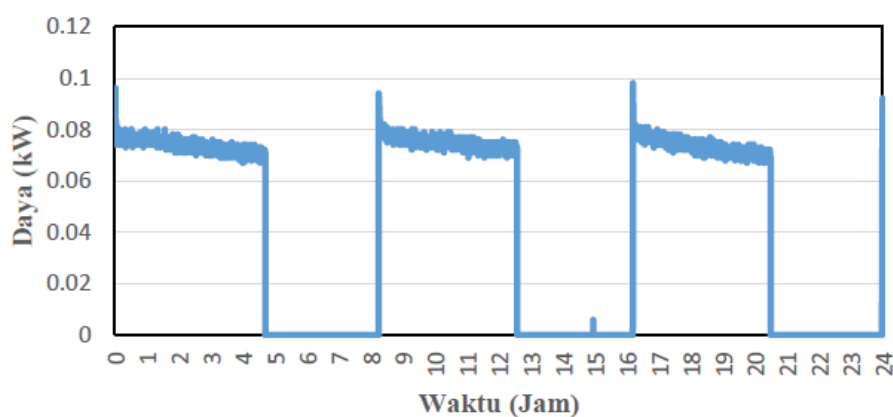
Dalam pengujian *chest freezer* tanpa *bio-PCM* yang dilakukan selama 24 jam didapat jumlah siklus *on-off* yang terjadi pada kompresor sebanyak 39,5 siklus. Selama 24 jam, *on-time* dari kompresor lebih panjang dibandingkan *off-time*, dimana total *on-time* dari kompresor yaitu selama 16,28 jam dan total *off-time* selama 7,72 jam dengan rata-rata daya yang dikonsumsi oleh kompresor yaitu sebesar 0,064 kW atau 64 W. Grafik dari daya kompresor tanpa Bio-PCM ditampilkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Grafik daya kompresor dari *chest freezer* tanpa *bio-PCM*

Daya kompresor dengan bio-PCM pada setting termostat -23 °C sampai dengan -27 °C

Dalam pengujian *chest freezer* dengan *bio-PCM* pada *setting* termostat -23 sampai dengan -27 °C yang dilakukan selama 24 jam didapat jumlah siklus *on-off* yang terjadi pada kompresor sebanyak 3 siklus. Selama 24 jam *on-time* dari kompresor masih lebih panjang dibandingkan dengan *off-timanya*, dimana total *on-time* dari kompresor yaitu selama 13,35 jam dan total *off-time* 10,65 jam dengan rata-rata daya yang dikonsumsi oleh kompresor yaitu sebesar 0,074 kW atau 74 W. Grafik dari daya kompresor ditampilkan pada Gambar 2.13.

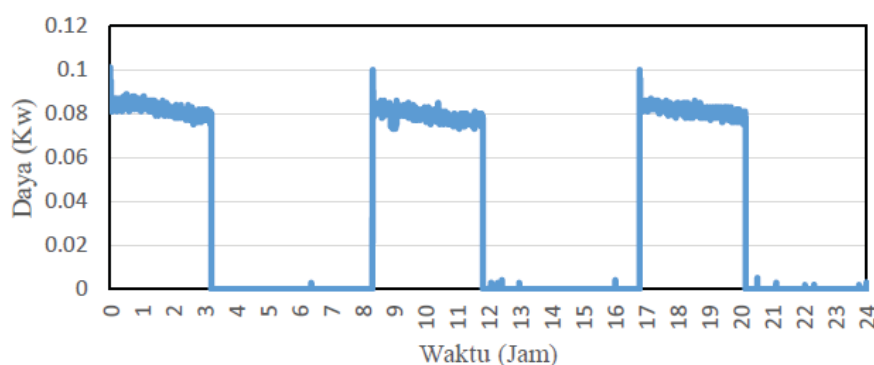


Gambar 2.13 Grafik daya kompresor dari *chest freezer* dengan *bio-PCM* pada *setting* termostat -23 °C sampai dengan -27 °C

Daya dengan bio-PCM pada setting termostat -18 °C sampai dengan -22 °C

Dalam pengujian *chest freezer* dengan *bio-PCM* pada *setting* termostat -18 °C sampai dengan -22 °C yang dilakukan selama 24 jam didapat jumlah siklus *on-off* yang terjadi pada

kompresor sebanyak 2,5 siklus. Dalam 24 jam, *on-time* dari kompresor menjadi lebih pendek dibandingkan dengan *off-time* dari kompresor, dimana total *on-time* dari kompresor yaitu selama 10,07 jam dan total *off-time* yaitu selama 13,93 jam dengan rata-rata daya yang dikonsumsi oleh kompresor yaitu sebesar 0,081 kW atau 81 W. Grafik dari daya kompresor ditampilkan pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Grafik daya kompresor dari *chest freezer* dengan *bio-PCM* pada *setting* termostat $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai dengan $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$

Dari hasil pengujian ini juga ditemukan bahwa Bio-PCM dapat menurunkan jumlah siklus on-off dari kompresor. Penurunan jumlah siklus on-off sangat signifikan dari 39,5 menjadi hanya siklus. Dengan pengaturan termostat penurunan siklus lebih dapat dioptimalkan sampai menjadi 2,5 siklus per hari. Penurunan jumlah siklus on-off secara signifikan akan meringankan beban kerja kompresor yang akan lebih diperdalam analisisnya pada pembahasan konsumsi energi dari chest freezer. Di samping itu Bio-PCM juga dapat mengubah lama waktu “on” dan “off” dari chest freezer. Pada setting termostat yang optimum dengan integrasi Bio-PCM pada chest freezer ditemukan ada perubahan waktu “on” dan “off” yang sangat signifikan seperti yang disajikan pada Tabel 2.1. Dapat dilihat dengan jelas bahwa dengan menggunakan Bio-PCM, waktu mati “off” dari chest freezer dapat lebih lama dibandingkan dengan lam waktu hidupnya “on”. Hal ini berpengaruh sangat signifikan terhadap konsumsi energi.

Tabel 2.1 Perbandingan lama waktu hidup “On” dan mati “Off” dari kompresor chest freezer

	Lama waktu hidup “On” (jam)	Lama waktu mati “Off” (jam)	Temperatur produk ($^{\circ}\text{C}$)
Freezer tanpa Bio-PCM	16,3	7,7	-19 s.d. -22
Freezer dengan Bio-PCM	10,1	13,9	-18 s.d. -21

Catatan: Seting termostat $-18\text{ s.d. }-22\text{ }^{\circ}\text{C}$; waktu pengukuran dalam 24 jam

2.1.4 Konsumsi Energi

Setelah mendapat data dari daya yang dikonsumsi kompresor dan total *on-time* dari kompresor dapat dihitung konsumsi energi dari *chest freezer* tanpa *bio-PCM* dan dengan

bio-PCM. Pada Tabel 2.2 disajikan perbandingan konsumsi energi chest freezer tanpa dan dengan *bio*-PCM. Ditemukan bahwa dengan integrasi *Bio*-PCM pada freezer dapat memberikan penghematan energi mencapai 21,7% walaupun konsumsi daya sesaatnya lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh karena lama waktu hidupnya freezer jauh lebih rendah.

Tabel 2.2 Perbandingan konsumsi energi freezer tanpa dan dengan *Bio*-PCM

	Daya rata-rata (Watt)	Lama waktu hidup "On" (jam)	Konsumsi energy dalam 24 jam (kWh)	Penghematan energy (%)
Freezer tanpa <i>Bio</i> -PCM	64	16,3	1,041	-
Freezer dengan <i>Bio</i> -PCM	81	10,1	0,815	21,7

BAGIAN 3 - KESIMPULAN

Dari hasil pengujian awal ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Bio-PCM dari bahan campuran ester minyak jagung dan air, sebagai salah satu luaran dari penelitian ini, dapat berfungsi dengan baik sebagai bahan penyimpan energi termal pada aplikasi temperatur di bawah 0 °C.
2. Freezer dengan menggunakan Bio-PCM dapat mengurangi jumlah siklus hidup mati kompresor dari 39,5 siklus per hari menjadi 2,5 siklus per hari.
3. Penerapan Bio-PCM dapat meningkatkan lama waktu matinya kompresor dari 7,7 jam menjadi 13,9 jam dalam jangka waktu 24 jam.
4. Integrasi Bio-PCM pada freezer atau cold storage dapat memberikan penghematan energi yang signifikan mencapai 21,7%.
5. Bio-PCM sebagai bahan penyimpanan energi termal menjadi sangat potensial untuk diterapkan pada cold storage tenaga surya dengan kapasitas yang lebih besar.

**PENGUJIAN FUNGSI DAN KINERJA
SUPLAI DAYA TENAGA SURYA UNTUK APLIKASI
COLD STORAGE KAPASITAS 2,5 KW**

**Sebagai Bagian Integral
Laporan Penelitian Multi Tahun**

**PENELITIAN TERAPAN
(PENELITIAN STRATEGIS NASIONAL-PSN)**

**PENGEMBANGAN COLD STORAGE TENAGA SURYA UNTUK
MENINGKATKAN KAPASITAS DAN KUALITAS PRODUKSI
PERIKANAN NASIONAL**

Tahun ke 3 dari rencana 3 tahun program penelitian

Tim Peneliti

I Nyoman Suamir, ST, MSc, PhD (Ketua)

NIDN: 0025036514

Sudirman, ST, MT (Anggota 1)

NIDN: 0013036704

I Nengah Ardita, ST, MT (Anggota 2)

NIDN: 0030116406

Dr. Gede Santanu, SE, MM (Anggota 3)

NIDN: 0024076006

Dibiayai oleh:

Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat
Kementerian Riset dan Teknologi / Badan Riset dan Inovasi Nasional

Sesuai dengan Amandemen Kontrak Penelitian

Nomor: 133/SP2H/AMD/LT/DRPM/2020

SP DIPA - 042.06.1.401516/2020 tanggal 12 November 2019

POLITEKNIK NEGERI BALI

November 2020

BAGIAN 1 - DESKRIPSI SUPLAI DAYA LISTRIK TENAGA SURYA

1.1 Suplai Daya Listrik Tenaga Surya (PLTS) Berbasis “On-Grid”

Konsep suplai daya listrik tenaga surya (PLTS) berbasis “on-grid” yang diinstall di lab refrigerasi dan tata udara Politeknik Negeri Bali diilustrasikan pada Gambar 1.1. Sistem suplai daya listrik terdiri atas solar PV array yang tersusun dari 10 panel PV dengan kapasitas masing-masing 310 Wp. Sehingga total kapasitasnya menjadi 3,1 kWp. Sistem juga dilengkapi dengan pengaman tegangan DC (DC breaker), on-grid inverter dengan kapasitas 5 kW, pengaman tegangan AC, pengaman beban dan dua power meter analog (mengukur produksi energi total) dan digital (mengukur daya dan produksi energi yang diekspor ke PLN. Online Monitoring System (OMS) juga dilengkapi, sehingga suplai daya listrik tenaga surya ini dapat dimonitor secara online.



Gambar 1.1 Konsep suplai daya listrik tenaga surya yang dikembangkan melalui penelitian ini

Foto instalasi dari suplai daya tenaga surya (PLTS) disajikan pada Gambar 1.2. Sistem PLTS dengan spesifikasi:

1. Kapasitas pembangkitan atau produksi 3,1 kWp dengan jumlah panel PV 10 buah dan kapasitas masing-masing panel PV 310 Wp;
2. Tipe instalasi “on-grid”;
3. Sistem kontrol dan monitoring online, karena PLTS ini dilengkapi dengan OMS atau Online Monitoring System;
4. Memberikan suplai daya untuk menjalankan cold storage pada siang hari juga dari listrik PLN kalau suplai atau produksi tidak mencukupi dan mengekspor

daya listrik ke PLN apabila sistem cold storage dalam kondisi tidak beroperasi.

5. Apabila cold storage tidak dioperasikan, maka sistem PLTS mampu untuk mensuplai listrik untuk mendukung program Green Office ruang kantor Kaprodi TPTU dan TRU Jurusan Teknik Mesin PNB. Program green office dikembangkan untuk penguatan PNB yang berpayung pada pusat unggulan “Green Tourism”;
6. PLTS ini juga sudah dirancang untuk dapat dimanfaatkan sebagai media pembelajaran “Renewable Energy Technology”.



Gambar 1.2 PLTS yang dibangun dalam penelitian ini lengkap dengan spesifikasinya

Adapun model panel PV yang digunakan memiliki kapasitas daya puncak 310 Wp dengan rincian spesifikasi seperti yang diilustrasikan pada Tabel 1.1.

Table 1.1 Spesifikasi panel surya (Solar PV) yang digunakan pada sistem PLTS

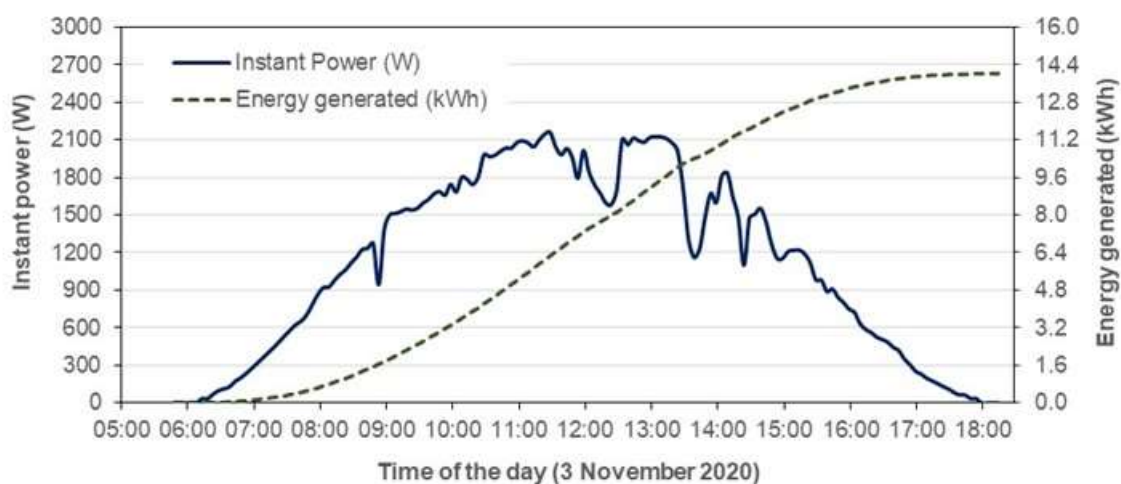
Parameters	Value	Parameters	Value
Maximum power P_{max} (WP)	310	Panel size (mm)	1640 x 990 x 35
Voltage at P_{max} (V)	33	Weight (kg)	19
Current at P_{max} (A)	9.4	Cell size (mm)	156 x 156
Open circuit voltage (V)	40.30	Number of cells	36
Short circuit current (A)	9.96	Cells type	Mono-crystalline silicon

BAGIAN 2 - HASIL PENGUJIAN

2.1 Hasil Pengujian Pembangkitan Daya dan Energi Harian

Pengujian dilakukan secara online dan juga divalidasi dengan hasil pengamatan secara langsung pada ruang kontrol sistem PLTS. Pengamatan data baru diperoleh selama dua bulan semenjak sistem PLTS selesai dibangun dan dikomisioning yaitu bulan November dan Desember 2020. Pengamatan dilakukan secara harian untuk dapat mengetahui variasi produksi listrik dalam setiap 5 menit, waktu awal produksi dan waktu akhir produksi hariannya. Pengamatan juga dilakukan terhadap produksi kumulatif energi listrik setiap harinya di dalam rentang 1 bulan (bulan November dan Desember).

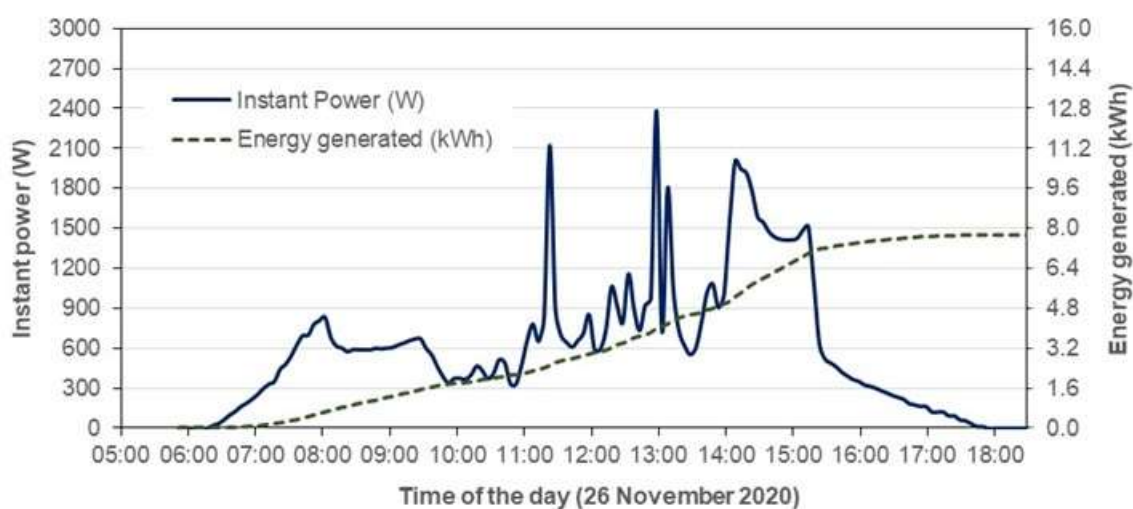
Gambar 2.1, 2.2 dan 2.3 menampilkan perkembangan variasi pembangkitan daya dan kumulatif pembangkitan energi listrik dari sistem PLTS dalam setiap 5 menit untuk tanggal 3 November, 26 November dan 14 Desember tahun 2020 yang merupakan hari dengan produksi energi listrik terbesar pada bulan November dan terkecil pada bulan November dan Desember. Pada laporan ini **hanya** ditampilkan tiga grafik saja. Untuk hari lainnya akan dapat tergambar dari perbandingan pembangkitan energi listrik harian.



Gambar 2.1 Variasi pembangkitan daya dan energi kumulatif sistem PLTS pada tanggal 3 November 2020

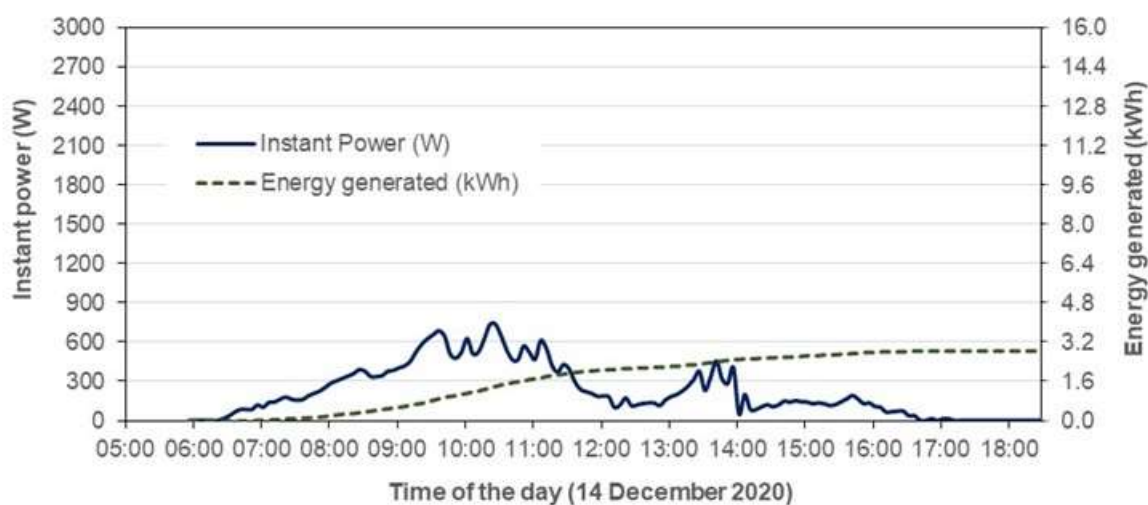
Dari grafik pembangkitan daya pada Gambar 2.1, 2.2 dan 2.3 dapat diketahui bahwa pada tanggal 3 November 2020 pembangkitan daya listrik relatif lebih stabil dengan rata-rata 1118 W dibandingkan dengan pada tanggal 26 November dan 14 Desember 2020 dengan rata-rata pembangkitan hanya 590 W dan 219 W. Hal ini menunjukkan kondisi cuaca pada

tanggal 3 November relatif lebih cerah dibandingkan dengan tanggal 26 November dan 14 Desember 2020. Adapun komulatif pembangkitan energi listriknya adalah 14,0 kWh, 7,7 kWh dan 2,8 kWh berturut-turut untuk tanggal 3, 26 November dan 14 Desember 2020. Kondisi cuaca sangat mempengaruhi jumlah pembangkitan energi oleh sistem PLTS. Kondisi cuaca pada hari pengamatan juga sudah dikonfirmasi dengan hasil pengamatan cuaca secara langsung dimana pada tanggal 26 November dan 14 Desember 2020 kondisi cuaca mendung tebal dan hujan relatif lebat. Sedangkan pada tanggal 3 November hari relatif lebih baik mendung tipis dan sekali-sekali disertai hujan gerimis.



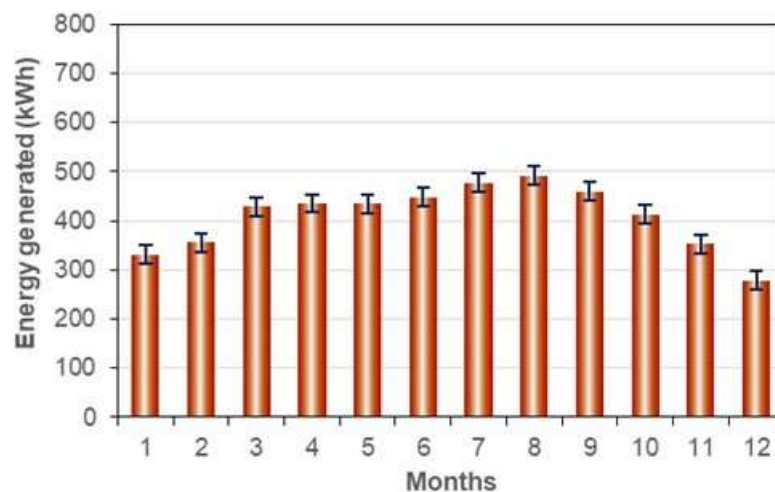
Gambar 2.2 Variasi pembangkitan daya dan energi komulatif sistem PLTS pada tanggal 26 November 2020

Khusus untuk tanggal 14 Desember terjadi hujan hampir sepanjang hari dan hanya berhenti sebentar tapi masih mendung dari jam 9 sampai jam 11.30. Sehingga pembangkitan daya listrik dan energi komulatif pada hari ini sangat rendah (Gambar 2.3).



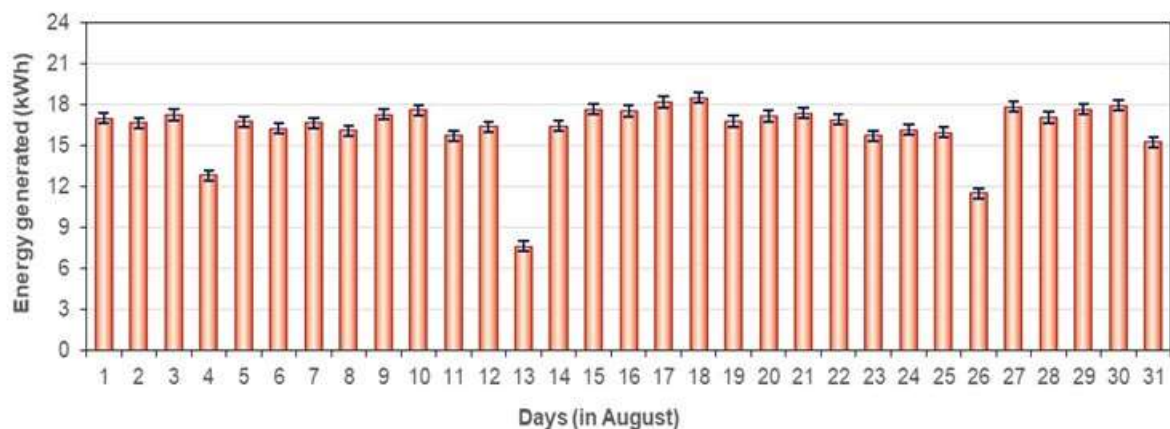
Gambar 2.3 Variasi pembangkitan daya dan energi komulatif sistem PLTS pada tanggal 14 Desember 2020

Dari kedua grafik pada Gambar 2.7 dan 2.8, pembangkitan energi listrik dapat diprediksi dengan distribusi pembangkitan terbesar jatuh pada sekitar bulan Agustus. Pembangkitan relatif baik pada sekitar bulan Maret sampai dengan bulan Oktober dan relatif rendah pada bulan Januari, Februari, November dan Desember serta pembangkitan listrik PLTS terendah terjadi pada bulan Desember. Adapun pembangkitan listrik per tahunnya diestimasi berkisar antara 4906 kWh dan 4986 kWh dengan rata-rata pembangkitan tiap bulannya berada pada rentang antara 409 kWh dan 416 kWh.



Gambar 2.8 Fluktuasi pembangkitan energi listrik PLTS dalam satu tahun diestimasi berdasarkan data sistem sejenis di sekitar lokasi PLTS pada tahun 2020

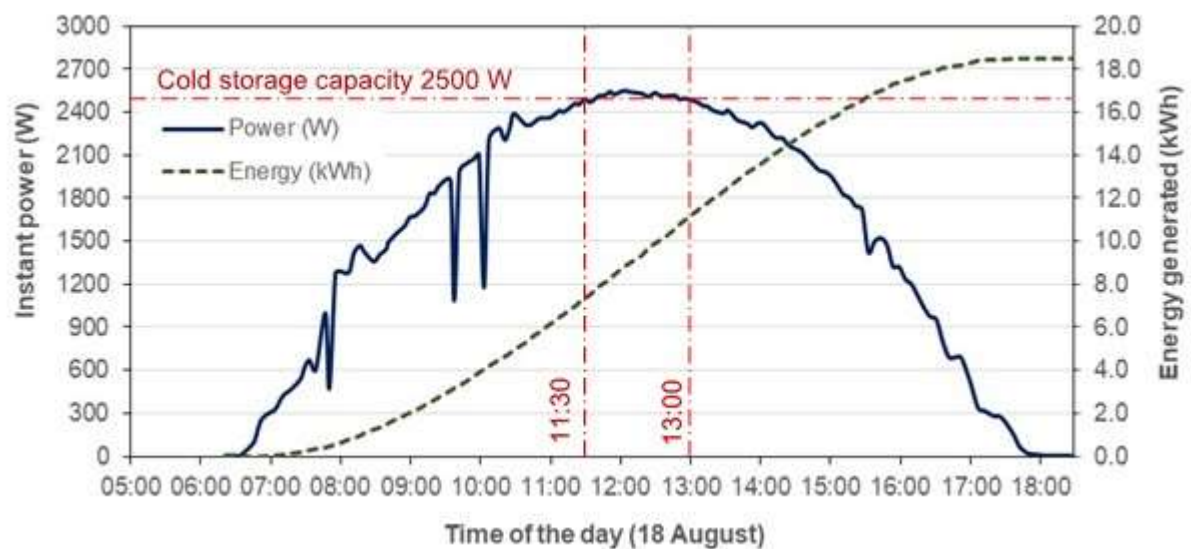
Untuk dapat memprediksi pembangkitan daya optimum sistem PLTS dengan kapasitas 3,1 kWp di kawasan Bali Selatan khususnya kampus Politeknik Negeri Bali (PNB), maka dilakukan simulasi pembangkitan energi komulatif harian pada bulan pembangkitan tertinggi yaitu bulan Agustus.



Gambar 2.9 Estimasi variasi pembangkitan energi listrik PLTS berdasarkan data sistem sejenis di sekitar lokasi PLTS pada bulan Agustus 2019 dan 2020

Berdasarkan hasil simulasi diperoleh distribusi pembangkitan energi listrik PLTS seperti yang disajikan pada Gambar 2.9. Dari grafik ini dapat diperoleh gambaran rata-rata produksi energi listrik relatif tinggi. Hampir setiap hari pembangkitan listrik melebihi 15 kWh. Hanya sekitar 3 hari di bawah 15 kWh. Hal ini menunjukkan kondisi cuaca di bulan Agustus sangat cerah. Adapun pembangkitan energi listrik pada bulan Agustus diestimasi dapat mencapai angka 492 kWh sampai dengan 505 kWh dengan rata-rata pembangkitan energi harian mencapai 16,3 kWh.

Daya pembangkitan optimum dari sistem PLTS dapat dianalisis dengan menggunakan grafik pembangkitan daya dan energi berdasarkan waktu harian (real time). Dari Gambar 2.9 dapat diidentifikasi pembangkitan energi terbesar terjadi pada tanggal 18 Agustus. Tanggal ini dipilih untuk dilakukan analisis lebih lanjut untuk dapat memprediksi pembangkitan daya dan energi berdasarkan waktu harian. Hasil estimasi tersebut diilustrasikan pada Gambar 2.10.

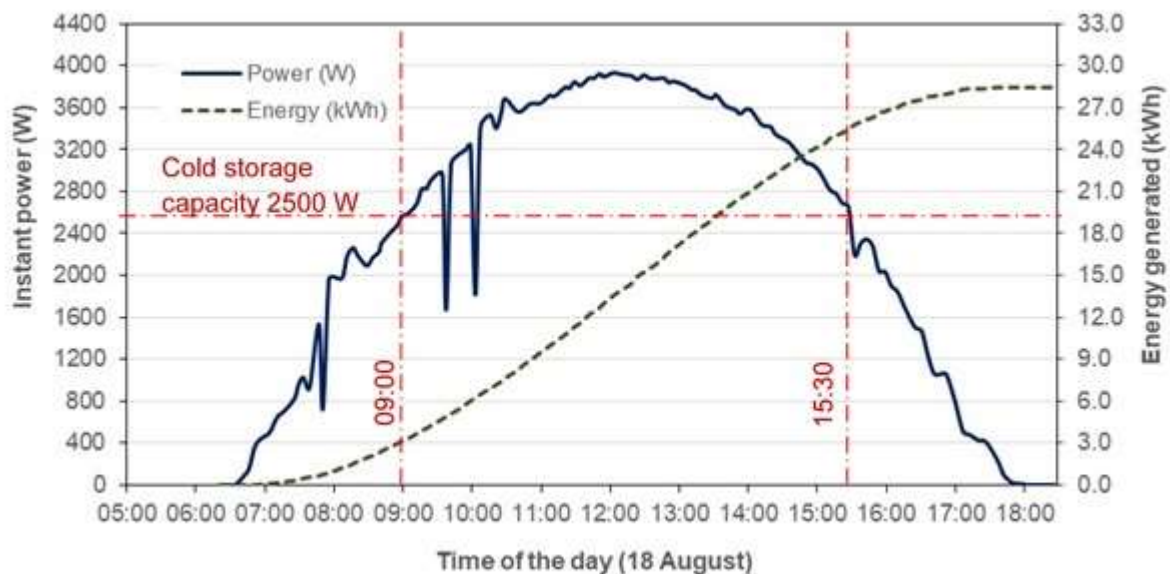


Gambar 2.10 Estimasi variasi pembangkitan daya dan energi kumulatif sistem PLTS berdasarkan data sistem sejenis di sekitar lokasi PLTS pada tanggal 18 Agustus 2019 dan 2020

Dari Gambar 2.10 dapat dilihat variasi pembangkitan daya yang teratur mulai dari jam 6.43 pagi terus meningkat secara signifikan dan mencapai puncaknya pada sekitar jam 12.00 sampai jam 13.00 dengan daya pembangkitan maksimum mencapai 2551 kW. Kemudian terus menurun sampai tidak produksi lagi pada jam 17.58. Terjadi hanya sedikit fluktuasi pada sekitar jam 10 pagi. Dari grafik ini juga dapat ditentukan pembangkitan daya maksimum yang dapat dihasilkan dari suatu sistem PLTS 3,1 kWp untuk kawasan Bali Selatan hanya sekitar 2,55 kW atau sekitar 82,3% dari spesifikasi daya puncak. Adapun daya

pembangkitan rata-rata harian maksimum dapat mencapai 1625 W. Sebagian besar daya pembangkitan harian berada di bawah kapasitas sistem cold storage 2500 W. Pembangkitan daya yang dapat memenuhi kebutuhan daya cold storage hanya 1,5 jam dari jam 11.30 sampai dengan jam 13.00. Total jam pembangkitan harian sekitar 10 jam lebih. Dengan kondisi pembangkitan ini, sebagian besar waktu operasional cold storage perlu suplai listrik dari PLN dan hanya 1,5 jam/hari mampu memenuhi daya secara mandiri.

Oleh karena itu dilakukan optimasi kapasitas sistem PLTS tipe “on grid” agar mampu beroperasi secara mandiri pada jam-jam efektif pembangkitan mulai dari jam 09.00 sampai dengan jam 15.30. Hasil optimasi melalui program EES disajikan pada Gambar 2.11. Dengan sistem PLTS seperti ini, diperoleh rata-rata pembangkitan daya optimum sebesar 2500 W dengan daya pembangkitan tertinggi sekitar 3900 W dan energi komulatif harian mencapai 28 kWh. Kemudian ditentukan kapasitas sistem PLTS yang optimum yaitu sebesar 4960 Wp dengan jumlah panel solar PV 310 W sebanyak 16 buah. Dengan sistem PLTS hasil optimasi, sistem cold storage dapat beroperasi mandiri tanpa suplai daya PLN selama 6,5 jam setiap harinya. Sekitar 3,5 jam beroperasi secara kombinasi dengan suplai daya dari sistem PLTS dan PLN. Sedangkan sisa waktu operasi disuplai sepenuhnya dari listrik PLN.



Gambar 2.11 Estimasi variasi pembangkitan daya dan energi komulatis dari sistem PLTS hasil optimasi

Hasil optimasi dari hasil penelitian ini menjadi rekomendasi untuk penyempurnaan hasil penelitian dan sebagai referensi untuk pengembangan sistem PLTS pada aplikasi cold storage di kawasan Bali Selatan.

2.4 Kontribusi sosial dari sistem PLTS

PLTS sebagai sumber energi terbarukan, memberikan kontribusi sosial yang mencakup penurunan emisi CO₂ dalam kg, pengurangan penebangan pohon ekuivalen dalam satuan batang pohon (tree), dan penghematan penggunaan batubara untuk memproduksi listrik dalam kg. Kontribusi sosial sistem PLTS dapat diamati melalui sistem monitoring dan juga dapat disimulasikan dengan program computer seperti EES. Kontribusi sosial dari sistem PLTS dan dari sistem PLTS optimasi diestimasi untuk jangka waktu satu tahun dan hasilnya disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 1.1 Kontribusi social dari sistem PLTS terpasang dan hasil optimasi

Kontribusi sosial	Sistem PLTS	
	PLTS terpasang kapasitas 3,10 kWp	PLTS hasil optimasi kapasitas 4,96 kWp
Pembangkitan energi per tahun (kWh)	4946	7914
Penurunan emisi CO ₂ (kg/tahun)	1979	3166
Pengurangan deforestisasi (pohon/tahun)	271	434
Pengurangan pembakaran batubara (kg/tahun)	1979	3166

Dari Tabel 2.1 dapat diketahui bahwa sistem PLTS terpasang dengan pembangkitan energi 4946 kWh per tahun dapat menurunkan efek pemanasan global melalui pengurangan emisi CO₂ sebesar 1979 kg/tahun, menurunkan laju deforestisasi atau penurunan penebangan pohon sebanyak 271 pohon per tahun serta pengurangan pembakaran sumber energi batubara sebanyak 1979 kg/tahun. Sedangkan sistem PLTS hasil optimasi mampu menurunkan parameter kontribusi energi sebanyak 60% lebih besar dari sistem terpasang. Dari hasil analisis ini ditemukan bahwa sistem PLTS hasil optimasi mampu membangkitkan daya listrik mandiri untuk dapat menjalankan sistem cold storage secara mandiri sekitar 6,5 jam per harinya atau sekitar 4 kali dari waktu sistem PLTS terpasang. Di samping itu sistem PLTS hasil optimasi juga memberikan kontribusi yang jauh lebih baik.

BAGIAN 3 - KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dan hasil optimasi sistem PLTS dalam penelitian ini dapat ditarik beberapa kesimpulan:

1. Sistem PLTS tipe On-grid dengan kapasitas 3,1 kWp yang terdiri atas 10 buah panel PV 310 Wp lengkap dengan sistem kontrol dan monitoring berbasis “online” sudah berhasil dibangun, diuji dan diintegrasikan dengan sistem cold storage kapasitas 2,5 kW di Laboratorium Refrigerasi PNB.
2. Kondisi cuaca sangat mempengaruhi jumlah pembangkitan energi oleh sistem PLTS yang dapat dikonfirmasi dari variasi temperatur permukaan panel PV.
3. Hasil simulasi menunjukkan, pembangkitan energi listrik oleh sistem PLTS terbesar jatuh pada sekitar bulan Agustus. Pembangkitan relatif baik pada sekitar bulan Maret sampai dengan bulan Oktober dan relatif rendah pada bulan Januari, Februari, November dan Desember serta pembangkitan listrik PLTS terendah terjadi pada bulan Desember.
4. Pembangkitan listrik per tahun dari sistem PLTS berkisar antara 4906 kWh dan 4986 kWh dengan rata-rata pembangkitan tiap bulannya berada pada rentang antara 409 kWh dan 416 kWh.
5. Pembangkitan daya maksimum yang dapat dihasilkan dari sistem PLTS (kapasitas 3,1 kWp) untuk kawasan Bali Selatan hanya mencapai 2,55 kW atau sekitar 82,3% dari spesifikasi daya puncak. Adapun daya pembangkitan rata-rata harian maksimum dapat mencapai 1625 W. Sebagian besar daya pembangkitan harian berada di bawah kapasitas sistem cold storage 2500 W. Pembangkitan daya yang dapat memenuhi kebutuhan daya cold storage hanya 1,5 jam dari jam 11.30 sampai dengan jam 13.00. Total jam pembangkitan harian sekitar 10 jam lebih (dari jam 6.40 sampai dengan 17.50). Dengan kondisi pembangkitan ini, sebagian besar waktu operasional cold storage perlu suplai listrik dari PLN dan hanya 1,5 jam mampu memenuhi daya secara mandiri.
6. Optimasi sistem PLTS dilakukan untuk dapat mengoptimalkan penggunaan energi terbarukan dalam pengoperasian sistem cold storage. Hasil optimasi

menunjukkan kapasitas sistem PLTS yang optimum adalah sebesar 4960 Wp dengan jumlah panel solar PV 310 W sebanyak 16 buah. Dari sistem PLTS hasil optimasi diperoleh rata-rata pembangkitan daya optimum sebesar 2500 W dengan daya pembangkitan tertinggi mencapai 3900 W dan energi kumulatif harian 28 kWh. Hasil analisis juga menunjukkan dengan sistem PLTS hasil optimasi, sistem cold storage dapat beroperasi mandiri tanpa suplai daya PLN selama 6,5 jam setiap harinya. Sekitar 3,5 jam beroperasi secara kombinasi dengan suplai daya dari sistem PLTS dan PLN. Sedangkan sisa waktu operasi disuplai sepenuhnya dari listrik PLN.

7. Sistem PLTS juga memberikan kontribusi sosial. Untuk sistem PLTS terpasang dengan pembangkitan energi 4946 kWh per tahun dapat menurunkan efek pemanasan global melalui pengurangan emisi CO₂ sebesar 1979 kg/tahun, menurunkan laju deforestisasi atau penurunan penebangan pohon sebanyak 271 pohon per tahun serta pengurangan pembakaran sumber energi batubara sebanyak 1979 kg/tahun. Sedangkan untuk sistem PLTS hasil optimasi mampu meningkatkan parameter kontribusi energi sebanyak 60% lebih besar dari sistem terpasang.

**FOTO-FOTO PENGUJIAN PENERAPAN BIO-PCM PADA MINI
COLD STORAGE (CHEST FREEZER KAPASITAS 220 LITER)
SEBELUM DITERAPKAN PADA COLD STORAGE TENAGA SURYA
(Draft)**

**Sebagai Bagian Integral
Laporan Penelitian Multi Tahun**

**PENELITIAN TERAPAN
(PENELITIAN STRATEGIS NASIONAL-PSN)**

**PENGEMBANGAN COLD STORAGE TENAGA SURYA UNTUK
MENINGKATKAN KAPASITAS DAN KUALITAS PRODUKSI
PERIKANAN NASIONAL**

Tahun ke 3 dari rencana 3 tahun program penelitian

Tim Peneliti

I Nyoman Suamir, ST, MSc, PhD (Ketua)
NIDN: 0025036514

Sudirman, ST, MT (Anggota 1)
NIDN: 0013036704

I Nengah Ardita, ST, MT (Anggota 2)
NIDN: 0030116406

Dr. Gede Santanu, SE, MM (Anggota 3)
NIDN: 0024076006

Dibiayai oleh:

Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat
Kementerian Riset dan Teknologi / Badan Riset dan Inovasi Nasional

Sesuai dengan Amandemen Kontrak Penelitian

Nomor: 133/SP2H/AMD/LT/DRPM/2020

SP DIPA - 042.06.1.401516/2020 tanggal 12 November 2019

**POLITEKNIK NEGERI BALI
November 2020**

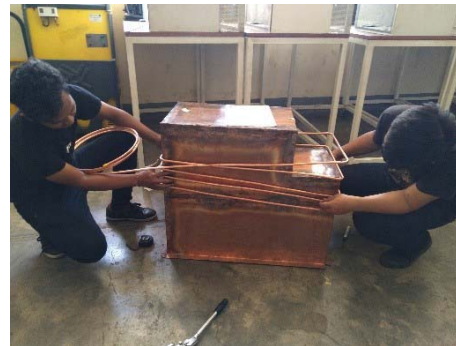
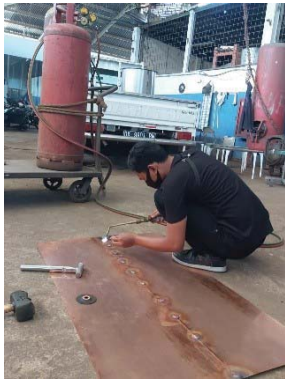
KATA PENGANTAR

Pengujian penerapan bio-PCM pada aplikasi mini cold storage dalam hal ini digunakan Chest Freezer dengan volume 220 liter bertujuan untuk menguji pengaruh dari penggunaan Bio-PCM yang telah ditemukan pada penelitian sebelumnya dan diperdalam pada penelitian ini pada tahun pertama dan kedua. Pengujian pada mini cold storage dilakukan sebelum pada aplikasi sebenarnya pada Cold Storage Tenaga Surya dengan volume 7 m³ (7000 liter) memberikan fleksibilitas di dalam melakukan metode penerapan dan penempatan Bio-PCM serta pengaturan temperatur operasi kerja sesuai dengan level temperatur Bio-PCM yang digunakan. Penggunaan Bio-PCM juga bisa fleksibel dalam melakukan perubahan jumlah massa Bio-PCM yang diterapkan pada Cold Storage.

Dari pengujian awal ini, dapat ditemukan teknik penempatan bio-PCM yang efektif, temperatur phase change untuk mendapatkan temperatur produk yang diinginkan, jumlah Bio-PCM yang digunakan menurut kapasitas cold storage, temperatur kerja yang optimum serta penghematan energi yang dihasilkan.

Hasil temuan ini akan dapat dengan mudah diaplikasikan pada Cold Storage Tenaga Surya dengan kapasitas yang jauh lebih besar. Tahapan pengujian ini diambil untuk mengantisipasi terbatasnya waktu yang bisa dimanfaatkan untuk melakukan penelitian langsung di kampus pada musim **Pandemi Covid-19**. Disamping itu hasil temuan ini akan memberikan kemudahan dan efektifitas kegiatan penelitian dalam melakukan penerapan bio-PCM pada Cold Storage tenaga surya mengingat terbatasnya waktu penelitian akibat anjuran untuk membatasi kegiatan off-line di Laboratorium pada tahun 2020 dan adanya kebijakan lock-down Politeknik Negeri Bali pada awal 2021 sebagai akibat meluasnya civitas akademika yang **terpapar Covid-19**. Semoga pandemi Covid-19 cepat berlalu sehingga kegiatan penelitian dalam bentuk eksperimen dapat dilakukan dengan lebih leluasa di dalam laboratorium.

FOTO-FOTO PENYIAPAN







Dokumen pendukung luaran Tambahan #1

Luaran dijanjikan: Prosiding dalam pertemuan ilmiah Internasional

Target: sudah terbit/sudah dilaksanakan

Dicapai: Published

Dokumen wajib diunggah:

1.

Dokumen sudah diunggah:

1. Artikel yang terbit

Dokumen belum diunggah:

-

Peran penulis: first author

Nama Konferensi/Seminar: International Conference on Applied Science and Technology (iCAST on Engineering Science)

Lembaga penyelenggara: Politeknik Negeri Bali

Tempat penyelenggara: Nusa Dua Bali

Tgl penyelenggaraan mulai: 24 Oktober 2019 | Tgl selesai: 25 Oktober 2019

ISBN/ISSN: 1742-6596

Lembaga pengindeks: Scopus

URL website: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1450/1/012106>

Judul artikel: Experimental and numerical optimization on chilled water configuration for improving temperature performance and economic viability of a centralized chiller plant

PAPER • OPEN ACCESS

Experimental and numerical optimization on chilled water configuration for improving temperature performance and economic viability of a centralized chiller plant

To cite this article: I N Suamir *et al* 2020 *J. Phys.: Conf. Ser.* **1450** 012106

View the [article online](#) for updates and enhancements.



IOP | ebooks™

Bringing you innovative digital publishing with leading voices to create your essential collection of books in STEM research.

Start exploring the collection - download the first chapter of every title for free.

Experimental and numerical optimization on chilled water configuration for improving temperature performance and economic viability of a centralized chiller plant

I N Suamir¹, Sudirman¹, I N Ardita¹, G Santanu²

¹ Department of Mechanical Engineering, Politeknik Negeri Bali, Kampus Bukit Jimbaran, Bali, Indonesia

² Department of Business Administration, Politeknik Negeri Bali, Kampus Bukit Jimbaran, Bali, Indonesia

Email: nyomansuamir@pnb.ac.id

Abstract. This research aimed to simulate and optimize chilled water circuit system of a central air conditioning plant applied for a five-star hotel in Bali Island, Indonesia. This optimization was performed because temperature of chilled water distributed to the loading system could not satisfy room temperature requirement. Detailed measurements have been taken on the AC system included refrigeration system of the chillers, chilled water and cooling water distribution, cooling load, heat rejection and pumping systems. Thermodynamic analyses on the system energy performance were carried out. Numerical simulations were also established to evaluate chilled water flow rate in the primary and secondary circuits. The measurement and simulation results showed there was unbalanced chilled water flow rate between primary and secondary circuits and the chilled water flow rate did not comply with rule of flow 'primary flow must always be equal to or greater than secondary flow' resulted in the cooling load coils lost their cooling capability. Optimization on the chilled water flow rate between primary and secondary circuits by implementing variable speed pumping system incorporated balancing valve was estimated to be potentially improve temperature performance and economic viability of the chiller plant operation.

1. Introduction

Recently energy consumption in building sector has become an important issue because of its intensive energy use and because of the rapid growth of this sector. In developed countries, domestic and commercial sectors could consume as high as 20% up to 40% of energy usage [1]. In Indonesia, the commercial building sector consumed about 5.3% of the country total energy use with energy utilization growth of 5.68% per year [2]. In this building sector, energy consumption of air conditioning (AC) systems is remarkably substantial. It could reach 50% of the building energy use [1,3]. Further studies on other commercial buildings have shown that AC system was the single largest electricity consuming service reaching a value of 47-54% of the total consumption followed by lighting with energy use of 33-38% [4]. For most modern commercial buildings, AC system and electric lighting are very important because modern buildings tend to have much larger lighting load,



higher businesses density and, accordingly, larger space cooling demand. The increase of energy use is one of the main issues that raised by worldwide use of AC systems, which could be a downside due to its growth in developing countries [5].

Studies on the energy use of AC systems for commercial buildings especially hotel and office buildings have been reported in [6,7]. AC systems consumed the highest electrical energy among the buildings' services. Therefore, implementation of energy saving strategy for AC system would meaningfully contribute to energy conservation in the buildings. Strategies in improving energy efficiency of the AC systems in commercial buildings have been reported in [8-11]. The strategies include monitoring heat exchanger approach temperatures, waste heat recovery systems, implementation of thermal energy storage, application of heat recovery system and integration of heat pump and water-cooled AC system. Another way to reduce energy use of water-cooled AC systems is by improving heat rejection in condenser and cooling tower. Optimization of heat rejection in the cooling towers would be one of key roles in improving energy use efficiency of chiller systems. Ghazani *et al.* [12] studied energy systems incorporated cooling towers. Energy-saving strategies could be enhanced by improving overall performance of energy systems including cooling towers. Optimization heat transfer on the cooling tower systems could significantly contribute to energy saving strategy [13].

Energy savings strategies on AC systems almost consider everything related to whole system including chilled-water distribution system. There are three basic arrangements of chilled-water distribution system currently in use comprising: constant primary flow (CPF), constant primary flow with variable secondary flow (CPF-VSF) and variable primary flow (VPF). It has been reported that the VPF arrangement provides the highest potential for energy savings due to the essential efficiencies of the use of variable-speed pumping. The arrangement also makes the best efficient practice of over pumping to mitigate low Delta-T syndrome [14,15]. Moreover, balance variable flow chilled water system could also affect energy use and energy cost. This has comprehensively been discussed in [16]. Many balancing options were compared in detail including the first costs and energy costs of the various balancing options.

This paper presents results of simulation and optimization on chilled water distribution systems of a central air conditioning (CAC) applied for a five-star hotel in Bali Island, Indonesia. This optimization was performed to evaluate potential implementation of energy conservation and to improve temperature performance of chilled water distribution system satisfying room temperature requirement. The analyses on the chilled water circuit and its optimization are performed. Results of thermodynamic analyses on the energy performance of CAC system are also discussed.

2. Methodology

Study and optimization on chilled water distribution system of a central air conditioning (CAC) system has been conducted at a five-star hotel in Bali Island-Indonesia. The simulation and optimization were performed because temperature of chilled water distributed to the loading system could not satisfy room temperature requirement. The CAC system comprises three water cooled chillers, distribution pumps and cooling tower (CT) systems. Distribution pump systems consist of 3 primary-chilled water (ChW) pumps, 8 secondary-chilled water pumps and 3 pumps for cooling water (CW) distribution system. The chillers and pump systems are located in the plant room. The cooling towers are situated on the rooftop of the hotel building. Schematic diagram of the CAC system is illustrated in Figure 1.

The water-cooled chillers absorb heat from the chilled water and reject the heat to the ambient air through the cooling tower (CT) systems. The water-cooled chillers incorporate hermetic centrifugal compressors with R-134a refrigerant. Each chiller has a cooling capacity of 400 tons of refrigeration (TR). It is common on many hotels that only two chillers can handle the total calculated load. One chiller is prepared as spare refrigeration chiller to make sure continuous services of 24 hours per day and 365 days in a year. The spare chiller is also planned to provide enough time for maintenance and reparation due to service from the manufacturer or other service agencies as well as spare parts are not

readily available. The CAC system provides cooling to the service facilities of the hotel through two loops comprise primary and secondary loops. Primary loop consists of the water-cooled chillers, primary pumps, and interconnecting pipe and utilizing constant-flow pumping system. While secondary loop comprises AHU and FCU coils, secondary pumps, interconnecting pipe and utilizing variable-flow pumping. A common pipe (also known as de-coupler pipe) hydraulically separates the two loops, allowing temperature exchange but individual pressures and flows. From Figure 1, it can also be seen that the chilled water distribution system applies a CPF-VSF (constant primary flow with variable secondary flow) configuration but using three-way valves for the AHUs (Air Handling Units) and two-way valves for the FCUs (Fan Coils Units) as its flow controller. The common CPF-VSF arrangement employs only two-way valves [14].

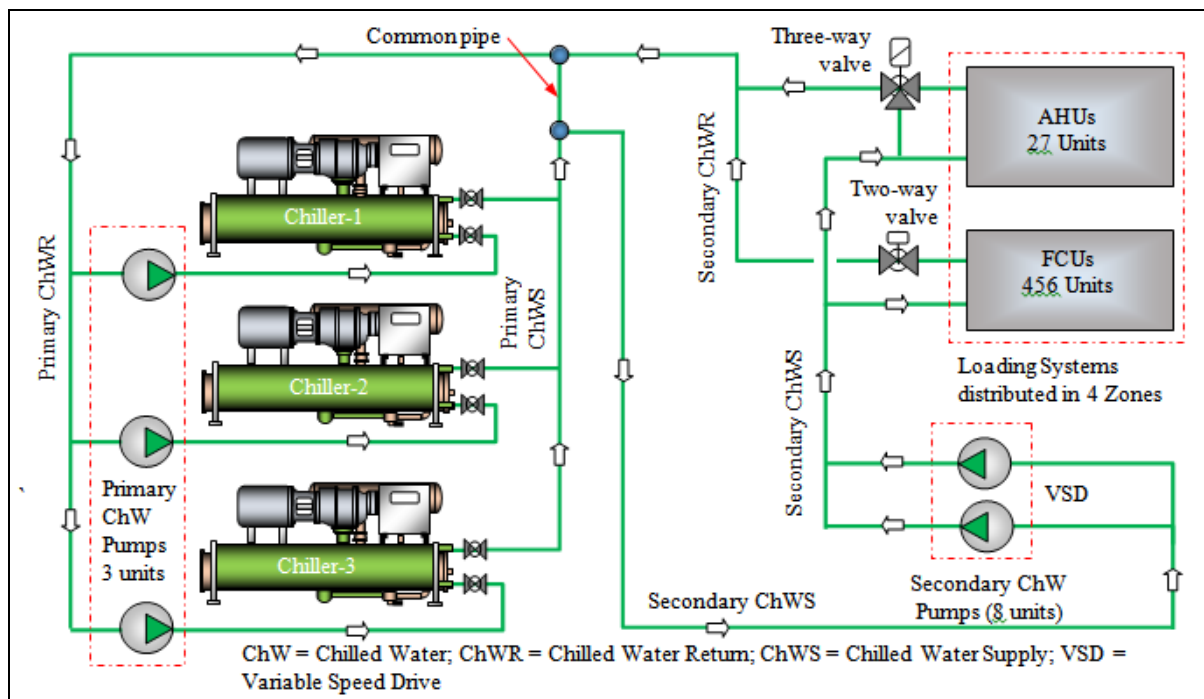


Figure 1. Schematic diagram of the investigated central air conditioning system.

Detailed measurements have been taken from the CAC system included refrigeration system of the chillers, chilled water and cooling water distribution systems, cooling load systems, heat rejection system and pumping systems. Some data were also retrieved from operational data logged-sheet. The data were processed and analyzed by using spreadsheet and EES (Engineering Equations Solver) programs. For investigation of the chillers performance include cooling capacity, COP (Coefficient of Performance) and kW/TR (Overall Efficiency), a simple refrigeration cycle models were developed. Input parameters include high and low pressures, temperatures of refrigerant at suction and discharge line of the compressor and at refrigerant liquid line, chilled and cooling water temperatures as well as cooling water flow rate. A numerical analysis has been established to simulate chilled water flow rate and temperature at primary and secondary loops.

COP of the chiller system is determined from Equation (1), where Q_{evap} = cooling capacity (kW) and W_{comp} = compressor power consumption (kW).

$$COP = \frac{Q_{\text{evap}}}{W_{\text{comp}}} \quad (1)$$

Cooling capacity (Q_{evap}) is calculated from Equation (2), where V_{ChW} = chilled water flow rate in m^3/s , EChWT = entering chilled water temperature ($^{\circ}\text{C}$), LChWT = leaving chilled water temperature ($^{\circ}\text{C}$), C_p = specific heat of chilled water (kJ/kgK), and ρ = density of chilled (kg/m^3).

$$Q_e = \rho \cdot V_{\text{ChW}} \cdot C_p \cdot (EChWT - LChWT) \quad (2)$$

Overall efficiency (kW/TR) is calculated from Eq. (3). Where Q_{evap} is cooling capacity in TR (tons of refrigeration) and W_{comp} is power consumed by compressor in kW.

$$\text{kW} / \text{TR} = \frac{W_{\text{comp}}}{Q_{\text{evap}}} \quad (3)$$

Temperature of the secondary chilled water supply (T_{SCHWS}) with flowrate of V_{SCHWS} is determined by using mixing flow concept between the flow from primary chilled water supply (V_{PChWS}) of temperature T_{PChWS} and the flow in the common pipe ($V_{\text{SCHWS}} - V_{\text{PChWS}}$) with temperature equals to the secondary chilled water return (T_{SCHWR}). Therefore, T_{SCHWS} can be determined from Equation (4).

$$T_{\text{SCHWS}} = \frac{V_{\text{PChWS}} T_{\text{PChWS}} + (V_{\text{SCHWS}} - V_{\text{PChWS}}) T_{\text{SCHWR}}}{V_{\text{SCHWS}}} \quad (4)$$

3. Results and discussion

3.1. Operational conditions of the investigated chillers

The operation of the water-cooled chillers is supported by cooling towers, AHUs and FCUs, cooling water pumps and chilled water pumps, and is centrally controlled from a control room. This type of control is certainly more responsive compared with the manual control system and could provide efficient operation. Operational temperature of heat absorption side of the chillers system is illustrated in Figure 2. Evaporation temperature of refrigerant (T_{evap}) can reach as low as 6°C and chilled water temperature leaving the evaporator (LChWT) of about 7°C which occurs at around 4 to 6 a.m. and gradually increases during the day. This indicated that the lowest cooling demand of the hotel occurs at around 4 a.m. to 6 a.m. While the lowest chilled water temperature entering the evaporator (EChWT) or returning from the loading system is about 12.5°C .

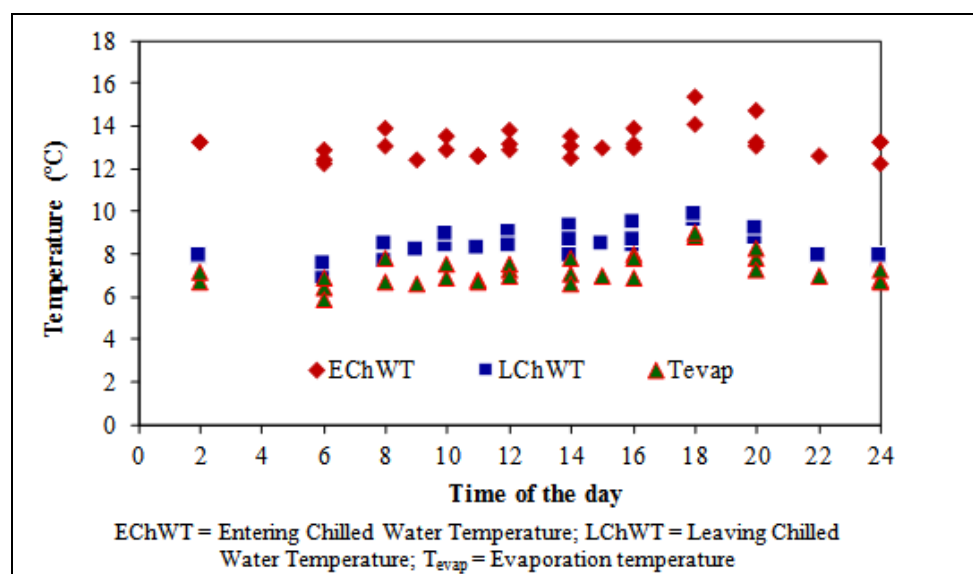


Figure 2. Operational temperatures of heat absorption in the evaporator.

Evaporation temperature increases during the day when the cooling demand increases until about 6 p.m. and go down through the night when the demand decreases reaching the lowest temperature at about 6 a.m. This indicates that the chiller cannot satisfy the cooling demand when the load demand increases especially occurs from 2 p.m. to 8 p.m. with evaporation temperature ranging from 7 to 9 °C and LChWT in the range between 8 and 10 °C. The evaporation temperature is far too high from design temperature of 6 °C.

The variation of condensing temperature (T_{cond}) and temperatures of cooling water entering and leaving condenser (ECWT and LCWT) are shown in Figure 3. Condensing temperature of the chiller is quite stable ranging from 36 to 39 °C with average temperature of about 38 °C. This shows that the capacity of cooling towers could be large enough to satisfy heat rejection required by the chiller. Ambient air temperature during the tests varies from 28 to 30.5 °C.

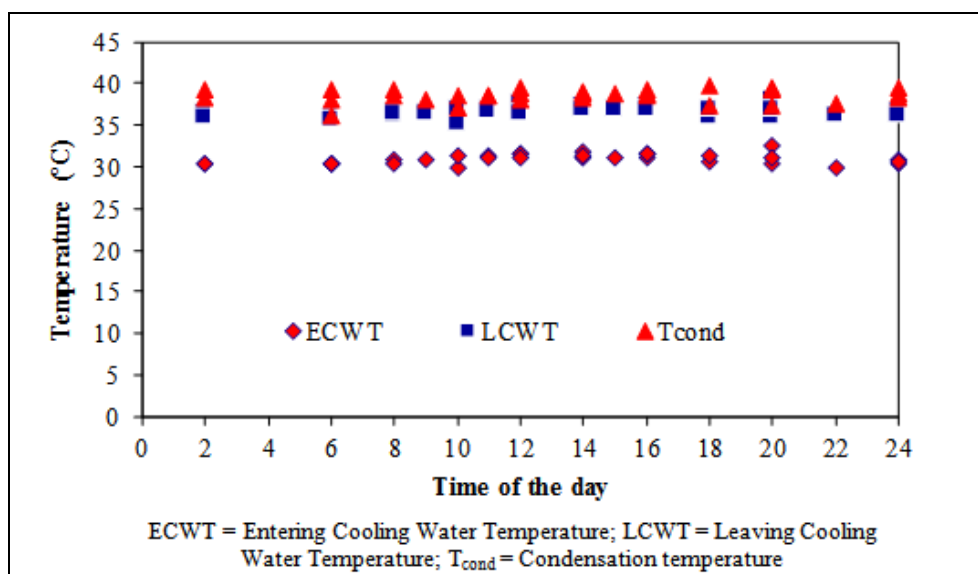


Figure 3. Operational temperatures of heat rejection process in condenser.

From Figures 2 and 3, it can also be identified temperature differences between refrigerant evaporation and leaving chilled water temperatures (LChWT) and between refrigerant condensation and leaving cooling water temperatures (LCWT). First temperature difference is commonly called evaporator approach temperature and the latter is known as condenser approach temperature. The evaporator approach temperature ranges from 0.6 to 1.6 K and condenser approach temperature varies from 0.5 to 3.6 K. The data were collected during the test to be combined with some data obtained from log sheet. In order to maintain a good chiller performance, evaporator and condenser pipes should be cleaned when approach temperatures reaching 2 K as recommended in [11].

3.2. Thermodynamic analysis on the chiller's energy performance

Thermodynamic analysis was established to evaluate energy performance of the chiller system incorporating cooling tower systems as heat rejection circuit. Performance parameters of the chiller system during investigation is shown in Figures 4 and 5.

Figure 4 illustrates cooling capacity of the chiller during one-day investigation. The cooling capacity ranges from 295 TR to 346 TR. The lowest cooling capacity of the chiller which also meant the lowest cooling demand of the hotel is consistently found at about 6 a.m. Where the COP and overall efficiency of the chiller system were 4.5 and 0.78 kW/TR respectively as shown in Figure 5. These results were achieved at evaporation temperature 6.4 °C and condensing temperature 36.3 °C. While chilled water temperatures: EChWT = 12.4 °C and LChWT = 7.3 °C and cooling water temperatures: ECWT = 30.6 °C and LCWT = 35.8 °C. The highest cooling capacity occurred in the

middle of the day and at around 10 p.m. of cooling capacity 346 TR. The COP and overall efficiency were 5.1 and 0.68 kW/TR respectively. These results were achieved at evaporation temperature 7 °C and condensing temperature 37.8 °C. Chilled water temperatures EChWT and LChWT were 12.6 °C and 7.9 °C while cooling water temperatures ECWT and LCWT were 30.0 °C 36.9 °C respectively.

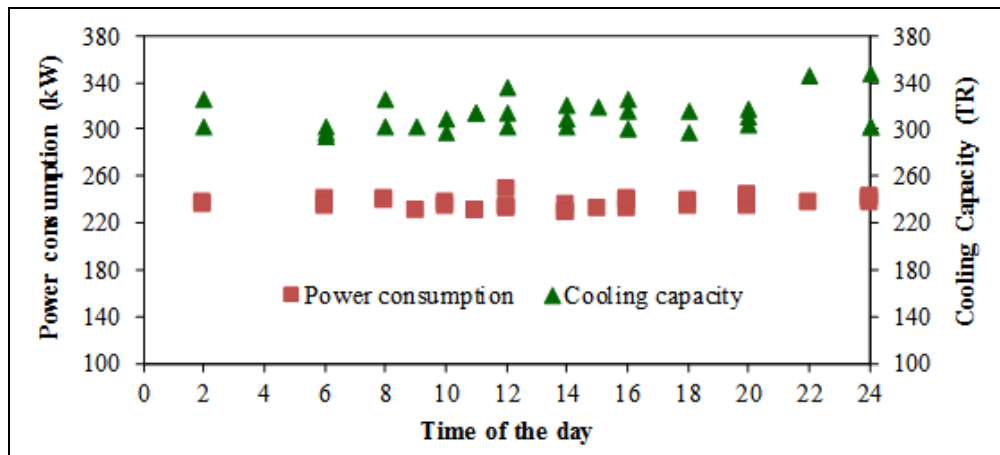


Figure 4. Chillers' cooling capacity and power consumption.

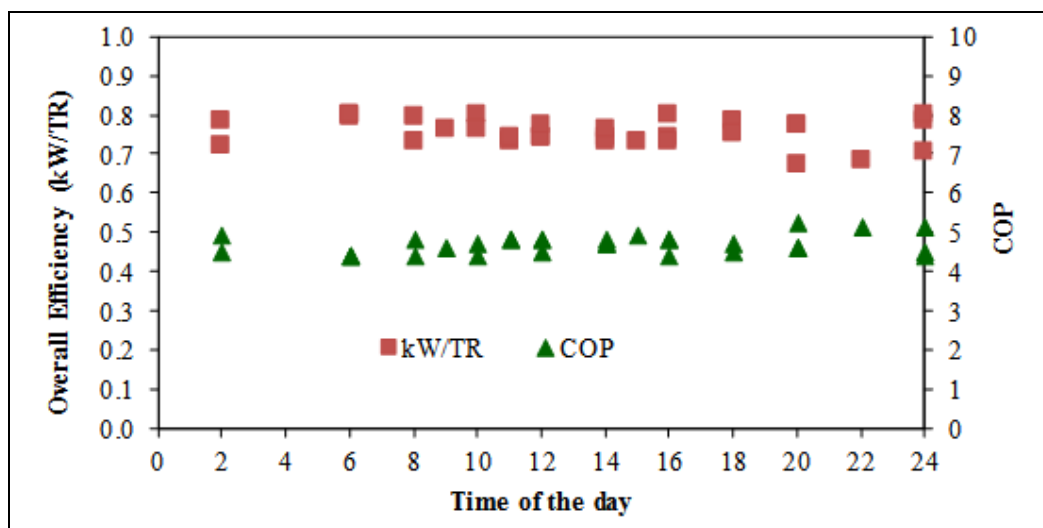


Figure 5. Energy performance COP and kW/TR of the chiller system in 24 hours' test.

3.3. Numerical simulation to optimize chillers' temperature performance

The investigation has found that supply temperature of chilled water at secondary loop to the loading system (AHUs and FCUs) is about 2 K higher than chilled water temperature supplied from the chiller in the primary loop. Although, heat losses along distribution pipes of chilled water supply and return could be negligible with a temperature drop measured from supply points of the secondary loop and inlet pipes of FCUs and AHUs was generally in an acceptable range from 0.1 to 0.2 °C. The temperature difference has made chilled water temperature entering the loading systems (AHUs and FCUs) was about 2 K higher than chilled water temperature delivered from the chiller. This could cause AHUs and FCUs would be very difficult to achieve the designed room temperature.

In order to investigate temperature difference in the chilled water circuits, a numerical simulation has been established to optimize chilled water flow rate and temperature at primary and secondary

loops. Results of the simulation are presented in Figure 6. The temperature difference between temperatures of primary and secondary chilled water supply is mainly caused by unbalanced chilled water flow rate at secondary and primary chilled water loops. When the flow rates of chilled water at both loops are the same, temperature difference is disappeared. It means when the flow rate in the secondary chilled water loop exceeds the flow rate in the primary loop, some of the chilled water discharged from the coils (AHUs and FCUs) is bypassing the chillers and flowing back to the secondary pumps through the common pipe, mixing with primary chilled water supply and increasing the temperature of water supplied to the secondary chilled water loop. If that continues to happen, the AHUs and FCUs can lose their cooling capability, and the control of the system can be lost [14]. The higher the bypassing flow rate through the common pipe is the bigger the temperature difference as shown in Figure 6.

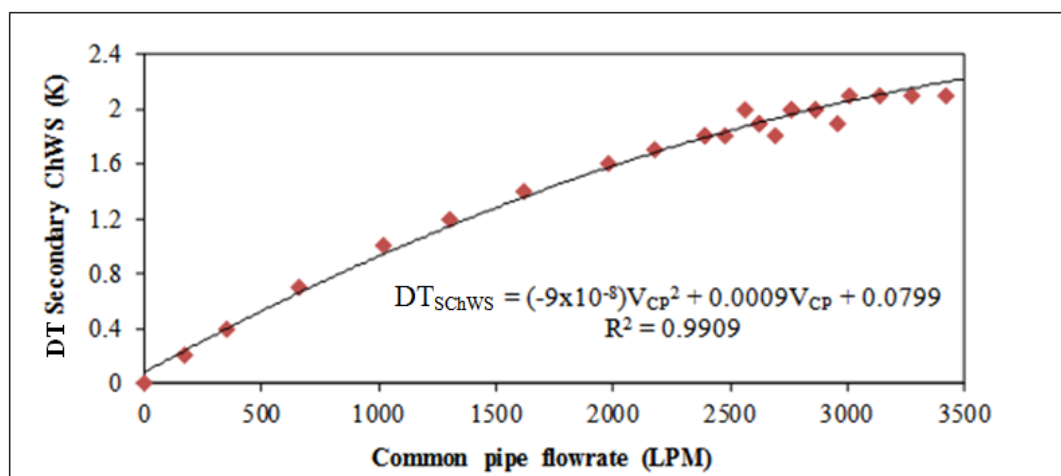


Figure 6. The increase of secondary chilled water supply temperature (DT_{SchWS}) over primary chilled water supply temperature (T_{PChWS}) at different common pipe flow rate (V_{CP}).

Polynomial regression of order 2 shows the relationship of the temperature increase of the secondary chilled water supply (DT_{SchWS}) and the flow rate in the common pipe (V_{CP}) and have a very strong correlation with coefficient of determination $R^2 = 0.99$ (Figure 6). The analysis also shows that higher flow rate at secondary loop results in temperature difference across the loading system (AHUs and FCUs) decreases to 3 K which is much lower than designed temperature difference of 5.7 K. This is known as low Delta-T syndrome [14,15]. This can also cause energy pumping for chilled water at secondary loop increases. Based on the analyses results, this study proposes the flow rate of chilled water at secondary loop should be maintained the same or slightly lower than the flow rate in the primary loop. The installation of balancing valves (two-way valves) on the AHU systems as replacement of the existing three-way valves can provide advantages to the chiller system which include: chilled water flow rate between primary and secondary loops can be easily balanced; the occurrence of low Delta-T syndrome can be minimized; energy use for pumping systems can be reduced; and the installation of two-way valves is found to be fairly economic of payback period less than 1.5 years. This is in agreement with solution alternatives reported in [15,16].

4. Conclusions

Experimental and numerical optimization on constant flow primary and variable flow secondary (P/S) chilled water distribution of a centralized chiller system have been established. The experimental and simulation results showed there was unbalanced chilled water flow rate between primary and secondary circuits. The flow rate in the secondary chilled water loop exceeds the flow rate in the primary circuit and some of the chilled water discharged from the AHUs and FCUs bypasses the

chillers through the common pipe which causes the temperature of water supplied to AHUs and FCUs increases and it can further cause low Delta-T syndrome. To optimize the chilled water distribution system, the study proposes installation of two-way valves on the AHU systems as replacement of the existing three-way valves. The proposed configuration can provide advantages to the chiller system include ease in regulating flow balance between the circuits, minimum occurrence of low Delta-T syndrome, reduction of energy consumption for pumping and more economical chiller operation.

References

- [1] Perez-Lombard L, Ortiz J and Pout C 2008 *Energy and Building* **40** 394-398
- [2] Yudiantono, Anindhita, Sugiyono A, Wahid L M A and Adiarso 2018 *Indonesia Energy Outlook 2018* (Jakarta: Center for Energy Resources Development Technology, Agency for the Assessment and Application of Technology) pp 12–13
- [3] Chung W, Hui Y V and Lam Y M 2006 *Applied Energy* **83** 1-14
- [4] Lam J C and Li D H W 2003 *Energy Conversion and Management* **44** 1391-1398
- [5] Zhou N, and Lin J 2008 *Energy and Building* **40** 2121–2127
- [6] Barry L, Mak B L, Chan W W, Li D, Liu L and Wong K F 2013 *International Journal Hospitality Management* **33** 1-5.
- [7] Yu F W, Chan K T and Sit R K Y 2012 *Energy and Building* **55** 500-507
- [8] Suamir I N, Ardita I N and Wirajati I G A B 2017 *Advanced Science Letters* **23** 12206-12210
- [9] Suamir, I N, Ardita I N and Dewi N I K 2015 *Refrigeration Science and Technology* 3581-3588
- [10] Suamir I N, Sukadana I B P and Arsana M E 2018 *IOP Journal of Physics: Conference Series* **953** 012113
- [11] Suamir I N, Baliarta I N G, Arsana M E and Temaja I W 2017 *Advanced Science Letters* **23** 12202-12205
- [12] Ghazani M A, Hashem-ol-Hosseini A and Emami M D 2017 *Applied Thermal Engineering* **125** 1389-1401
- [13] Suamir, I N, Ardita I N and Rasta I M 2018 *International Conference on Applied Science and Technology (iCAST)* 712-717
- [14] Hubbard R S 2011 *HPAC Engineering* **83** 20-26
- [15] Taylor S T 2002 *ASHRAE Transactions* **AC-02-6-1**
- [16] Taylor S T and Jeff Stein J 2002 *ASHRAE Journal* 17-24

Acknowledgments

Authors would like to thank for the financial support from Ministry of Research, Technology and Higher Education of the Republic of Indonesia and Bali State Polytechnic.

Dokumen pendukung luaran Tambahan #2

Luaran dijanjikan: Publikasi Ilmiah Jurnal Internasional

Target: accepted/published

Dicapai: Accepted

Dokumen wajib diunggah:

1.

Dokumen sudah diunggah:

1. Naskah artikel

Dokumen belum diunggah:

-

Nama jurnal: Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences

Peran penulis: first author | EISSN: 2289-7879

Nama Lembaga Pengindek: Scopus, SJR 2,4

URL jurnal: www.akademiabaru.com/arfmts.html

Judul artikel: Study on the Performance of Scroll Compressor Applied for Medium Temperature Refrigeration System

Study on the Performance of Scroll Compressor Applied for Medium Temperature Refrigeration System

Open
Access

I Nyoman Suamir^{1,*}, I Made Rasta¹, Adi Winarta¹, I Wayan Adi Subagia¹, Made Ery Arsana¹

¹ Department of Mechanical Engineering, Politeknik Negeri Bali, Bukit Jimbaran, Kuta Selatan, Badung, Bali, Indonesia, 80364

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article history:

Received 06 November 2020

Received in revised form 4 January 2021

Accepted 9 March 2021

Available online 10 June 2021

Recent research shows great interest in increasing energy efficiency of a refrigeration system and finding appropriate configurations to optimize its performance. One of the main component in the refrigeration system is compressor. Therefore, the compressor plays an important role in a refrigeration system for energy performance optimization. The study is aimed to experimentally investigate temperature and energy performance of a scroll compressor applied for medium temperature refrigeration systems. Tests were conducted in a water cooled medium temperature refrigeration system. Temperature performance evaluation of the compressor referred to the IEEE Standard 112, while energy efficiency of the compressor was calculated from the energy performance of the refrigeration system. The results clearly show that evaporating temperature together with degree of superheat at suction line of the compressor can significantly affect temperature performance of the scroll compressor. Results of the study have also shown significant improvement on the compressor energy efficiency accounted for 10.4% when the evaporating temperature increases from -8.3 °C to -2.4 °C.

Keywords:

Scroll compressor, medium temperature refrigeration, temperature performance and energy efficiency

Copyright © 2021 PENERBIT AKADEMIA BARU - All rights reserved

1. Introduction

Various steps have been taken to improve energy efficiency and save energy consumption, one of which is the development of compressor technology. One of the most popular types of compressors is scroll compressors [1,2]. Scroll compressors have been applied in various RHVAC applications due to their high efficiency, low noise, low vibration, and low weight compared to other compressor types [3-4]. Scroll compressors are known to be best suited for the refrigerant injection technique, and as a result, extensive research has been carried out on injection scroll compressors [5-7]. Wang et al. [8] performed a numerical simulation to analyze the effect of injection factor on scroll compressor performance. Cho et al. [9] investigated the optimal position and diameter of the injection port for symmetrical and asymmetric scroll compressors. The initial injection shows better performance by increasing the injection mass flowrate. In addition, more injection ports are

* Corresponding author.

E-mail address: nyomansuamir@pnb.ac.id (I Nyoman Suamir)

recommended for asymmetric scroll compressors to compensate for the short injection period. Park et al. [2] conducted a numerical study on a variable speed vapor injection scroll compressor. Vapor injection could lower compressor discharge temperatures for all compressor speeds. Qiao et al. [10,11] developed a transient model of a flash tank vapor injection heat pump considering ambient losses, motor losses, compressor on and off losses.

Scroll compressors are widely used in commercial and residential air conditioning, refrigeration and heat pump applications. For refrigeration, the scroll compressors can be used at high temperature (HT), medium temperature (MT) and even at low temperature (LT). High temperature refrigeration commonly works at evaporating temperature of -3°C up to 1°C and maintaining product temperature in the range between 1°C and 10°C , while MT refrigeration usually operates at evaporating temperature from -10°C to -3°C for keeping product temperature between -1°C and 7°C . Evaporating temperature for LT refrigeration is commonly set below -25°C in order to maintain product temperature lower than -12°C [12]. Application for HT refrigeration for drying has been reported by Ruhyat et al. [13]. MT refrigeration applied for display cabinet can be found in [14] and solar refrigeration system has been reported in [15].

The scroll compressor technology is an orbital motion, positive displacement compressor that compresses refrigerant gas using two spiral-shaped scroll between snaps. They have no dead space, contact between the sides of the rolls and at the base and top edges is almost perfect and constant; therefore, it has excellent axial and radial suitability. As a result, scroll compressors provide several advantages such as high volumetric efficiency, low vibration and noise, torque variation and low leakage [16-18]. The disadvantage of volumetric compressors is that lubricating oil tends to flow out and mix with the working fluid [19], thereby reducing lubrication capacity, potentially causing engine failure and impacting cycle performance [20]. Hence, there is a clear trend towards oil-free compressors [21,22]. Reducing the power consumption for oil-free compressors is very important as electricity consumption usually accounts for up to 80% of the total compressor life cycle cost [23]. Furthermore, transmission losses can be reduced by replacing large compressors with smaller compressors closer to the end user. The capacity and cooling efficiency of the system decreases with higher condensing temperature and lower evaporation temperature [24-26]. Lower system performance is associated with increased irreversibility during compression, and higher compressor discharge temperatures. This is very important as higher discharge temperatures can result in additional wear on the compressor, reducing reliability and compressor life.

Compressor performance issues arise, often due to heating issues. In fact, an overheated compressor is one of the most common causes of failure. Compressor overheating is the result of internal factors, external conditions or sometimes both. When the compressor gets too hot, the problem is usually related to factors involving irregular suction or discharge pressure. This paper analyses the factors that affect the scroll compressor temperature and energy performance associated with the use of the compressor in MT refrigeration systems. Variation of compressor temperatures including its motor winding temperatures at different condensing and evaporating conditions are comprehensively presented and discussed. Furthermore, effect of the evaporating and condensing temperature as well as degree of superheat to energy efficiency of the compressor is also thoroughly demonstrated and discussed.

2. Methodology

2.1 Test Equipment and Measurement System

The scroll compressor to be tested was a hermetic compressor of a vertical display cabinet which incorporated a built-in condensing unit. The condensing unit was operated as MT refrigeration

system and placed at the top part of the display cabinet. Refrigerant R-1270 was used for the cabinet. R-1270 is hydrocarbon refrigerant and classified as an A3 safety group [27,28]. This constrains the concentration of the refrigerant in a room to be lower than its flammability limit. The refrigeration system of the cabinet was charged within the safety limit as specified in [27].

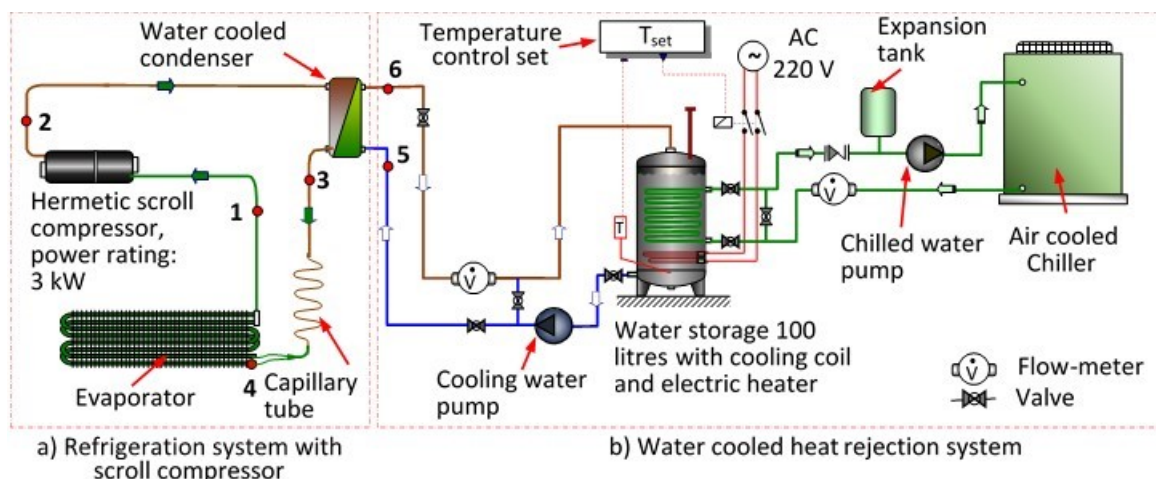


Fig. 1. Schematic diagram of the test system equipped with water circuit heat rejection system and measurement points.

The refrigeration system rejected heat to the ambient through water cooled heat exchangers with a water heat rejection system which was developed to enable control the condensing temperature of the refrigeration unit. The schematic of the refrigeration system using scroll compressor combined with heat rejection system is shown in Figure 1. The test system is equipped with a measurement system which measures parameters of the compressor and refrigeration systems. The parameters involve refrigerant pressure and temperature, cooling water temperature, power consumption, and mass flowrate. Particularly for the compressor parameters, additional temperature measurement points were added which included suction line, case (body) of the compressor, and discharge line.

A set up of measurement was also arranged for testing the resistance of compressor motor windings (main winding and auxiliary winding) according to IEEE Standard 112 [29]. The accuracy of the measurement system can be detailed as follows: temperature sensors (T-type thermocouple) $\pm 0.5^\circ\text{C}$, pressure transmitters $\pm 1\%$, flow meter $\pm 1\%$, and resistance measurement of a 0.05% resolution and $\pm 1\%$ accuracy. For data acquisition and recording, DataScan logger set combined with a computer was also set up to complete the measurement system.

2.2 Test Conditions

The scroll compressor was tested in MT refrigeration test conditions. Two test conditions were performed. First test condition was conducted at evaporating pressure (P_{evap}) and temperature (T_{evap}) to be maintained constant at 4.8 bar and -0.6°C respectively. While the condensing pressure (P_{cond}) and temperature (T_{cond}) were gradually increased from 12.8 bar to 14.9 bar and 32.5°C to 38.5°C respectively as shown in Table 1.

Investigation on the compressor temperature and performance was carried out at different condensing temperature. The investigation was based on resistance measurement of the compressor motor windings. Data from the compressor windings was recorded at every increment of the condensing temperature. The winding resistance measurement was conducted within 30 second

after the refrigeration system was shut off. Before shutting down, the refrigeration system was steadily operated for about 4 hours as indicated in IEEE Standard 112.

Table 1
Pressure and saturated temperature for the first test conditions

Pressure		Temperature	
P _{cond} (bar)	P _{evap} (bar)	T _{cond} (°C)	T _{evap} (°C)
12.8	4.8	32.5	-0.6
13.2	4.8	33.5	-0.6
13.5	4.8	34.5	-0.6
13.8	4.8	35.0	-0.6
14.0	4.8	35.5	-0.6
14.4	4.8	36.5	-0.6
14.9	4.8	38.5	-0.6

The second test was carried out at different evaporating temperatures. The evaporating temperatures were gradually increased from -8.3 °C to -5.1 °C by increasing cooling load of the display cabinet. While the cooling load can be altered through regulation of the test chamber temperature. The evaporating temperature range corresponded to the saturation pressure from 3.5 bar to 4.0 bar as can be seen in Table 2. In this test the condensing temperature and pressure of the refrigeration system respectively increased from 28.9 °C to 30.3 °C and 11.7 bar to 12.2 bar. The increase was mainly due to the increase of evaporator load.

Table 2
Pressure and saturated temperature for the second test conditions

Pressure		Temperature	
P _{cond} (bar)	P _{evap} (bar)	T _{cond} (°C)	T _{evap} (°C)
11.69	3.53	28.9	-8.3
11.76	3.59	29.1	-7.9
11.82	3.66	29.3	-7.5
11.88	3.68	29.5	-7.1
11.94	3.76	29.7	-6.6
11.94	3.80	29.7	-6.3
11.97	3.91	29.8	-5.6
12.04	4.13	30.0	-4.2
12.10	4.31	30.2	-3.1
12.13	4.42	30.3	-2.4

Investigation on the compressor temperature and performance was performed at different evaporating temperatures. Winding temperature of the compressor motor was estimated by using the resistance of the windings. Data from the compressor windings was measured according to IEEE Standard 112 at every increment of the evaporating temperature as shown in Table 2. The winding

resistance measurement was also conducted within 30 second after the refrigeration system was turned off. Before measurement, the refrigeration system was run for about 4 hours.

2.3 Methods

Refrigeration system of the display cabinet, where the scroll compressor to be installed, was tested according to [13]. Operational data of the refrigeration system was recorded every 10 seconds in order to comply with the standard which included pressure and temperature of the refrigerant at four points of measurement, cooling water temperature, power consumption and cooling water mass flowrate. The measurement points are shown in Figure 1. While the average temperature of the compressor motor windings was determined according to IEEE Standard 112.

$$T_{main} = \frac{R_{main}}{R_{cold}} (234.5 + T_{cold}) - 234.5 \quad (^\circ\text{C}) \quad (1)$$

$$T_{aux} = \frac{R_{aux}}{R_{cold}} (234.5 + T_{cold}) - 234.5 \quad (^\circ\text{C}) \quad (2)$$

where: T_{main} is the temperature of main winding during the test when R_{main} is measured ($^\circ\text{C}$); T_{aux} is the temperature of auxiliary winding during the test when R_{aux} is measured ($^\circ\text{C}$); R_{main} is the main winding resistance measured (ohms); R_{aux} is the auxiliary winding resistance measured (ohms); R_{cold} is the known value of winding resistance at temperature T_{cold} (ohms); T_{cold} is the temperature of winding when known value of resistance R_{cold} is measured ($^\circ\text{C}$); 234.5 is a constant for 100% IACS (International Annealed Copper Standard) conductivity copper, or 225 for aluminum, based on a volume conductivity of 62%.

The winding resistances were measured after the refrigeration system was shutdown. The winding resistances were obtained within the time indicated in IEEE Standard 112. For an electric motor rating 3 kW which is lower than 38 kW, time interval after switching off the power is within 30 seconds. In this study, for known-value winding resistance (R_{cold}) was investigated at temperature $T_{cold} = 27.4 \text{ }^\circ\text{C}$. Measurement results are presented in Table 3.

Table 3
 Measurement results on the reference resistance of the compressor motor windings

Parameters	Main winding	Auxiliary winding
Cold temperature (T_{cold}) in $^\circ\text{C}$	27.4	27.4
Cold resistance (R_{cold}) in ohms	1.725	2.275

The data obtained from the measurement system were processed in a spreadsheet software and simulated in EES (Engineering Equation Solver) program. EES program was used to retrieve thermodynamic properties of the refrigerant R-1270 and cooling water as well as to evaluate compressor efficiencies at different test conditions. Energy of the refrigeration system was analyzed according to the first law of thermodynamics. Some assumptions were also applied such as: insignificant pressure loss in the system, isenthalpic-expansion process in the capillary tube of the refrigeration system and negligible heat loss in the water cooled condenser.

Mass flowrate of the refrigerant (\dot{m}_r) through the compressor is determined by using energy balance in the water-cooled condenser as shown in Eq. 3 (parameter numbers refer to Figure 1).

$$\dot{m}_r = \frac{\dot{m}_w C_p (T_6 - T_5)}{h_2 - h_3} \quad (\text{kg s}^{-1}) \quad (3)$$

where: \dot{m}_w = water mass flowrate (kg s^{-1}); C_p = specific heat capacity of cooling water ($\text{kJ kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$); T_5 and T_6 = entering and leaving temperature of cooling water at the condenser ($^\circ\text{C}$); h_2 and h_3 = entering and leaving specific enthalpy of refrigerant at the condenser (kJ kg^{-1}).

Isentropic efficiency (η_s) of the scroll compressor can be calculated from specific isentropic compression work divided by specific hydraulic compression work as can be seen in Eq. 4. The efficiency of the compressor (η_{comp}) is determined from the ratio of hydraulic compression work ($\dot{m}_r (h_2 - h_1)$) and compressor power (W_{comp}) as shown in Eq. 5.

$$\eta_s = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} \times 100\% \quad (\%) \quad (4)$$

$$\eta_{comp} = \frac{\dot{m}_r (h_2 - h_1)}{W_{comp}} \times 100\% \quad (\%) \quad (5)$$

where: \dot{m}_r = refrigerant mass flowrate (kg s^{-1}); h_1 = specific enthalpy of refrigerant at suction line of the compressor (kJ kg^{-1}); h_2 = specific enthalpy of refrigerant at discharge line of the compressor (kJ kg^{-1}); h_{2s} = specific enthalpy of refrigerant at discharge line which has the same entropy as the suction line (kJ kg^{-1}); W_{comp} = electrical power consumption of the scroll compressor (kW).

3. Results and Discussion

3.1 Temperature Performance at Different Condensing Temperatures

Testing on the scroll compressor at varied condensing temperatures has been performed. The compressor temperatures involving suction, case (body) and discharge temperatures have been measured and recorded. Test conditions were as described in Table 1. Degree of superheat refrigerant exiting evaporator was recorded ranging from 10 to 12 $^\circ\text{C}$. Variation of the compressor temperatures at different condensing temperatures can be seen in Figure 2. Temperature of the suction line of the compressor somewhat increases as high as 1.9 $^\circ\text{C}$ when the condensing temperature increases from 32.5 to 38.5 $^\circ\text{C}$. Condensing temperature has a low impact on the temperature of the compressor suction line. This is commonly caused by cooling effect of refrigerant flowing from the evaporator which has relatively lower temperature. Temperature rise at suction line predominantly caused by evaporator loading system. When evaporator cooling load goes up at the same evaporating temperature, it can rise degree of superheat of the refrigerant leaving the evaporator. This superheat then increases the suction line temperature of the compressor. The result indicates degree of superheat at suction line can also boost temperatures of body and discharge line of the compressor.

The temperatures of body and discharge area, however, show a considerable increase of about 7.6 $^\circ\text{C}$ which accounts for 26.7 % higher than the increase of condensing temperature. This occurs as the result of compression process. Energy used to compress the superheated refrigerant vapor turns into heat and rises the refrigerant temperature, pressure and enthalpy. The refrigerant state exits the compressor is superheated vapor. Some heat also dissipates to the body of the compressor and some lose to the surrounding air. The compression temperature in the compressor is practically always higher than the condensing temperature. Therefore, some heat is rejected out from the

refrigeration system at temperatures above the condensing temperature which is known as de-superheated process. This result signifies a deviation from the ideal refrigeration cycle.

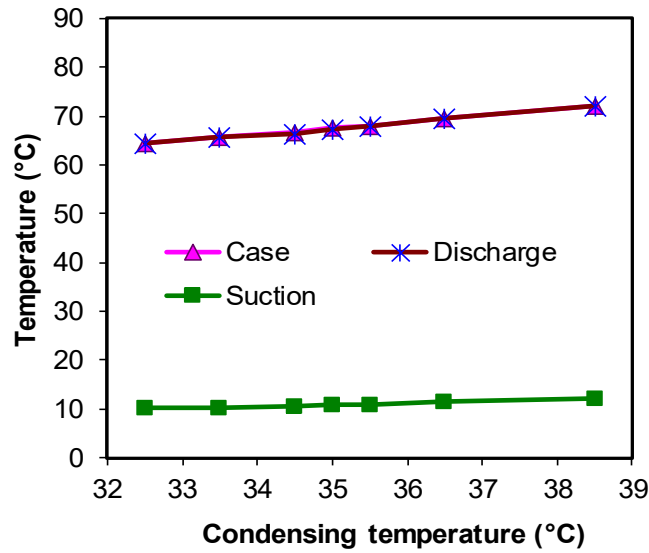


Fig. 2. Temperature variation of case (body), suction and discharge line.

Figure 3 shows variation of compressor motor winding temperatures at different temperatures of condensation. From the graph, it can be seen that the motor winding temperatures proportionally increase with the condensing temperature. When the condensing temperatures change from 32.5 to 38.5 °C, temperatures of main and auxiliary windings increase for about 6.0 °C and 5.7 °C respectively. Temperatures of motor windings illustrated in Figure 3 were calculated from Eq. 1 and Eq. 2 based on measured resistances as presented in Table 4. The winding resistances and temperatures rise when the condensing temperature increases.

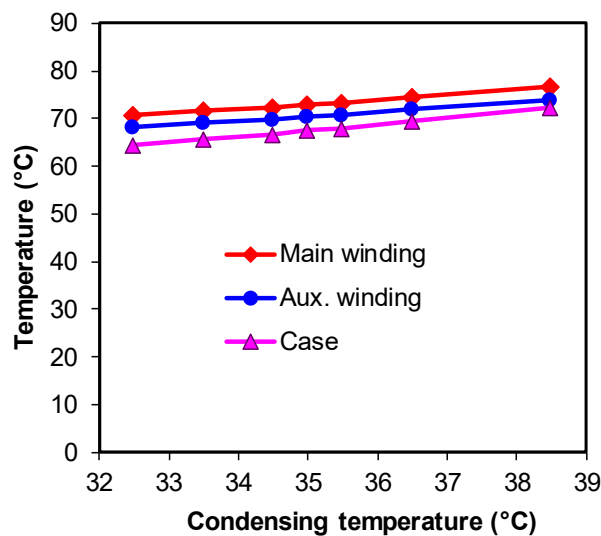


Fig. 3. Winding temperatures of the scroll compressor motor at different condensing temperatures.

For the first test conditions, it has been found that temperature of main winding (T_{main}) and auxiliary winding (T_{aux}) to be higher than the compressor body (case) temperature. This is essentially

reasonable because the motor windings generate heat due to inefficient energy conversion from electrical to mechanical energy. Inefficiency of standard electric motor with power rating 3 kW can reach 15% [30]. To reach this level of temperatures, the motor windings have actually been assisted by refrigerant cooling from the suction line of the compressor. Within a hermetic scroll compressor, refrigerant from suction line is circulated through the motor windings by which can reduce their temperature and prevent them from overheating.

Table 4

The resistance and temperature of compressor motor windings at various condensing temperatures.

T_{cond} (°C)	Motor windings			
	R_{main} (Ohms)	T_{main} (°C)	R_{aux} (Ohms)	T_{aux} (°C)
32.5	2.01	70.7	2.63	68.3
33.5	2.02	71.6	2.64	69.2
34.5	2.02	72.3	2.64	69.8
35.0	2.03	73.0	2.65	70.5
35.5	2.03	73.4	2.65	70.9
36.5	2.04	74.6	2.66	72.0
38.5	2.05	76.7	2.68	74.0

R_{main} = main winding resistance; R_{aux} = auxiliary winding resistance; T_{main} = main winding temperature; T_{aux} = auxiliary winding temperature.

3.2 Temperature Performance at Varied Evaporating Temperatures

Temperature performance of the scroll compressor at various evaporating temperatures has also been tested and analyzed. Variation of suction, case (body) and discharge temperatures at different evaporation temperatures are illustrated in Figure 4.

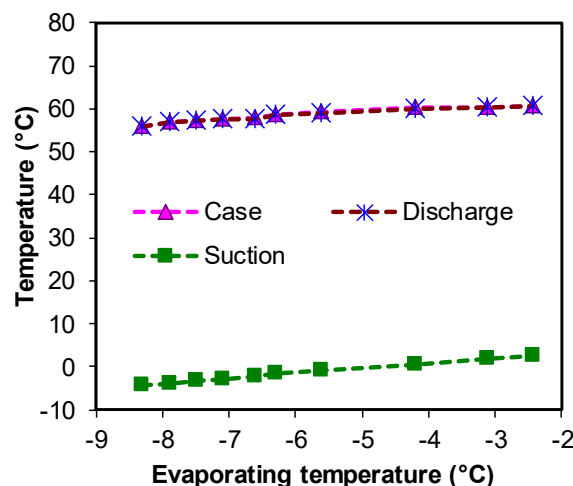


Fig. 4. Temperature variation of the case, suction and discharge line at different evaporating temperatures.

Condensing temperature was maintained relatively constant with small variation from about 29 to 30 °C. From the graph, it can be seen temperature of the suction line of the compressor increases

from $-4.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $2.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ with degree of superheat in the range between 4 and $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. The results also show that temperatures of body compressor and discharge line are nearly the same which both increase from 56 to $60.5\text{ }^{\circ}\text{C}$. This indicates that evaporating temperature can positively affect temperature of the compressor body and discharge line. With the same degree of superheat of about $5\text{ }^{\circ}\text{C}$, body and discharge line temperatures of the scroll compressor increase when the evaporating temperature increases. It is also found that suction line temperature rises when degree of superheat refrigerant leaving the evaporator increases. The higher degree of superheat refrigerant exiting the evaporator, the higher the suction line temperature. This can significantly increase temperature of the compressor and discharge line.

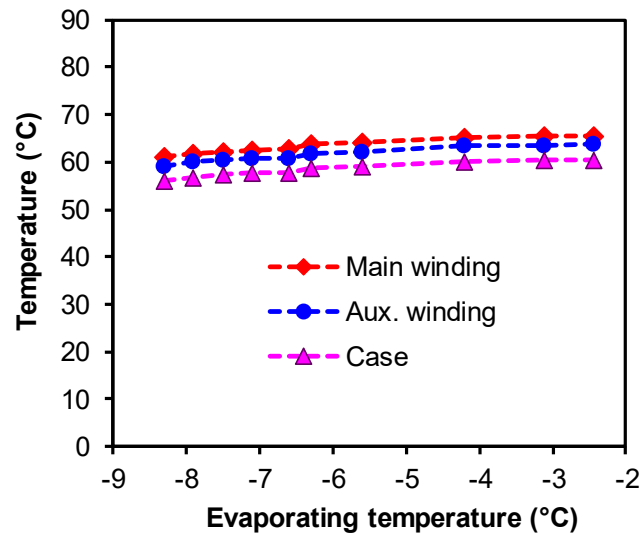


Fig. 5. Winding temperatures of the compressor motor at varied evaporating temperatures.

Disparity of compressor winding temperatures at different evaporating temperatures is shown in Figure 5. The graph also shows motor winding temperatures proportionally increase with evaporating temperature. Temperatures of main and auxiliary windings increase for about $4.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ when the evaporating temperature rises from -8.3 to $-2.4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Temperatures of motor windings shown in Figure 5 were also determined using Eq. 1 and 2. The calculation was based on resistances of the windings at correlated evaporating temperatures as presented in Table 5. The winding resistance rises when the compressor operated at higher evaporation temperature. This also indicates the increase of the motor windings temperature.

On the second test with evaporating temperature variation, it has also been found that temperature of main winding (T_{main}) is about $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ higher than the auxiliary winding (T_{aux}). Both winding temperatures are higher than the compressor body (case) temperature. Main winding and auxiliary winding of the compressor motor are found $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ to be respectively hotter than compressor body temperature. This is logical because the motor windings generate heat due to inefficiency energy conversion as discussed previously. With lower evaporating temperature the motor windings can operate as low as $61\text{ }^{\circ}\text{C}$ for evaporating temperature of $-8.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Table 5) and significantly increase to $76.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ when the evaporating temperature rises to $-0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Table 1 and Table 4). This is also simultaneously caused by the increase of superheat at suction line of the compressor which changes from $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $12\text{ }^{\circ}\text{C}$. The study results clearly indicate that evaporating temperature together with degree of superheat at suction line of the compressor can significantly affect temperature performance of the scroll compressor.

Table 5

The resistance and temperature of motor windings at different evaporating temperatures.

T_{evap} (°C)	Motor windings			
	R_{main} (Ohms)	T_{main} (°C)	R_{aux} (Ohms)	T_{aux} (°C)
-8.3	1.95	61.0	2.55	59.1
-7.9	1.95	61.9	2.56	60.0
-7.5	1.95	62.3	2.56	60.4
-7.1	1.96	62.6	2.56	60.7
-6.6	1.96	62.8	2.57	60.9
-6.3	1.96	63.7	2.57	61.8
-5.6	1.97	64.1	2.58	62.2
-4.2	1.97	65.3	2.59	63.4
-3.1	1.98	65.5	2.59	63.6
-2.4	1.98	65.6	2.59	63.7

3.3 Energy Performance Analysis

In this study energy performance of the compressor is analyzed through its energy efficiencies which include isentropic (η_s) and compressor efficiencies (η_{comp}). Compressor efficiencies have been determined for varied condensing and evaporating temperatures by using Eq. 4 and Eq. 5. Compressor efficiencies are analyzed at constant evaporating temperature of -0.6 °C and various condensing temperatures. The results are illustrated in Figure 6. Both isentropic and compressor efficiencies seem to be slightly reduced if not constant of about 66% and 78% respectively. The figure also shows a fairly constant refrigerant mass flowrate of 0.03 kg/s.

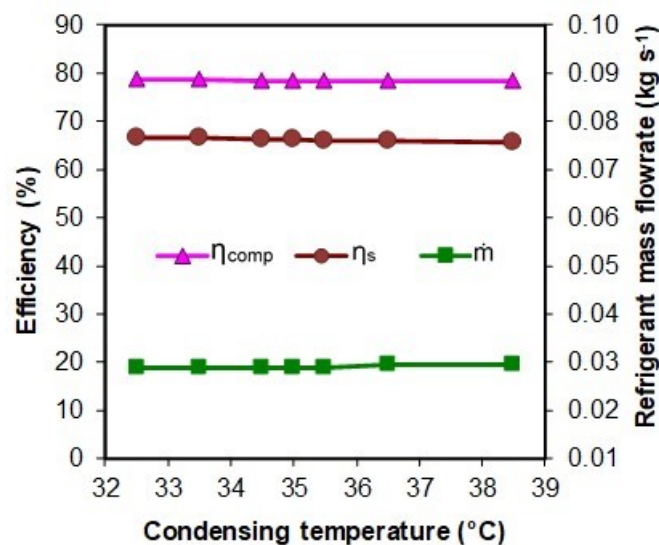


Fig. 6. Scroll compressor efficiencies and refrigerant mass flowrate at different condensing temperatures.

Interesting results are found on the test with varied evaporating temperatures as it can be seen in Figure 7. Isentropic efficiency is slightly increase for about 2% when the evaporating temperature

changes from $-8.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $-2.4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Efficiency of the compressor, however, is found to significantly increase from 71.6% to 79.1% accounted for an increase of about 10.4%. This also means that efficiency of the compressor significantly increases when the compression ratio decreases. Figure 7 also shows significant increase of the refrigerant mass flowrate. When evaporating temperature varies from $-8.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $-2.4\text{ }^{\circ}\text{C}$, the mass flowrate increase from 0.025 kg s^{-1} to 0.03 kg s^{-1} which is accounted for about 22.5%.

The results show energy efficiency of the scroll compressor for medium temperature refrigeration application is very much influenced by evaporating temperature. Energy efficiency of the compressor can significantly improve when the system refrigeration to be operated at higher evaporating temperature. Evaporating temperature together with degree of superheat of refrigerant at suction line of the compressor are found to significantly affect temperature of the compressor which include temperatures of body compressor, discharge line and motor windings. Lower evaporating temperature and higher degree of superheat at suction line can considerably boost the temperatures of the compressor.

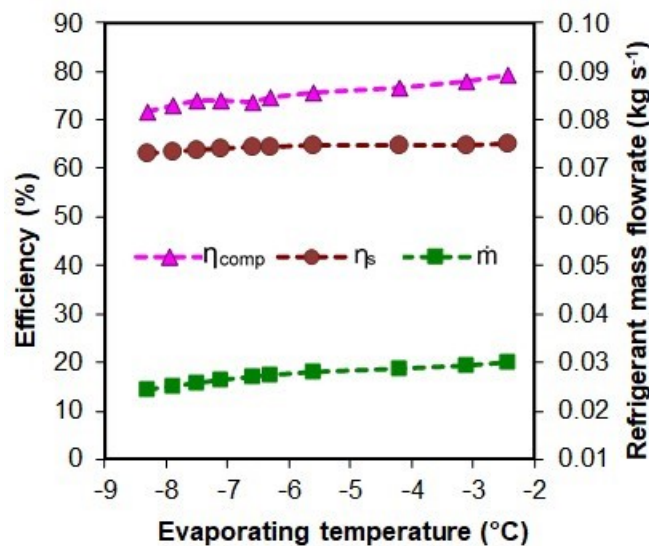


Fig. 7. Scroll compressor efficiencies and refrigerant mass flowrate at varied evaporating temperatures.

This study strengthens results of mostly published researches in refrigeration field which have stated significant improvement of system COP (coefficient of performance) when a refrigeration system is operated at higher evaporating temperature. Higher evaporating temperature can increase refrigeration capacity; lower power consumption and improve compressor efficiency as it has been found and proven in this study. Additionally, the results are also in agreement with [24-26] who have reported that capacity and cooling efficiency of a refrigeration system decreases with higher condensing temperature and lower evaporating temperature.

4. Conclusions

Testing of the scroll compressor at varied condensing and evaporating temperatures for medium temperature refrigeration application has been performed. Condensing temperature has found to have a low impact on the temperature of the suction area of the compressor. This is mostly caused by cooling effect from refrigerant flowing from the evaporator which has relatively lower temperature. Temperature performance of the scroll compressor at various evaporating

temperatures shows that evaporating temperature can considerably affect temperature of the compressor body and discharge line. Body and discharge line temperatures of the scroll compressor increase when the evaporating temperature increases. It is also found that the higher degree of superheat refrigerant at the suction line can significantly increase temperature of the compressor and discharge line. This study has clearly indicated that evaporating temperature together with degree of superheat at suction line of the compressor can substantially affect temperature performance of the scroll compressor. Higher evaporating temperature and lower degree of superheat can make the scroll compressor work with better temperature performance. Additionally, evaporating temperature has also been proved that it can considerably influence energy efficiency of the scroll compressor applied for medium temperature refrigeration system.

Acknowledgement

The research related to this paper was financially supported by the Higher Education Directorate General of the Ministry of Research, Technology and Higher Education (RTHE) of the Republic of Indonesia and Bali State Polytechnic. The authors would like to thank Ministry of RTHE for the financial support and Bali State Polytechnic (Politeknik Negeri Bali).

References

- [1] Zendejboudi, A. and A. Tatar. "Oil flooded scroll compressors: Predicting the energy performance and evaluating the experimental data, measurement." *Measurement* 112 (2017): 38-46.
<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.08.011>
- [2] Park, Y., Y. Kim, H. Cho. "Thermodynamic analysis on the performance of a variable speed scroll compressor with refrigerant injection." *Int. J. Refrig.* 25 (2002): 1072-82.
[https://doi.org/10.1016/S0140-7007\(02\)00007-5](https://doi.org/10.1016/S0140-7007(02)00007-5)
- [3] Laughman, C.R., P.R. Armstrong, L.K. Norford, S.B. Leeb. "The Detection of Liquid Slugging Phenomena in Reciprocating Compressors via Power Measurements." *International Compressor Engineering Conference*, C084. (2006): 1-8.
- [4] Qin, F., G. Zhang, Q. Xue, H. Zou, C. Tian. "Experimental investigation and theoretical analysis of heat pump systems with two different injection portholes compressors for electric vehicles." *Appl. Energy* 185 (2017): 2085-93.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.12.032>
- [5] Zehnder, M., D. Favrat, H. Hohl, M. Perevozchikov. "High performance air-water heat pump with extended application range for residential heating." *Seventh int. energy agency conf. heat. pump. technol.* (2017): 19-22.
- [6] Winandy, E.L. and J. Lebrun. "Scroll compressors using gas and liquid injection: experimental analysis and modelling." *Int. J. Refrig.* 25 (2002): 1143-56.
[https://doi.org/10.1016/S0140-7007\(02\)00003-8](https://doi.org/10.1016/S0140-7007(02)00003-8)
- [7] Guoyuan, M., C. Qinhu, J. Yi. "Experimental investigation of air-source heat pump for cold regions." *Int. J. Refrig.* 26 (2003): 12-18.
[https://doi.org/10.1016/S0140-7007\(02\)00083-X](https://doi.org/10.1016/S0140-7007(02)00083-X)
- [8] Wang, B., W. Shi, X. Li. "Numerical analysis on the effects of refrigerant injection on the scroll compressor." *Appl. Therm. Eng.* 29 (2009): 37-46.
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2008.01.025>
- [9] Cho, I.Y., S.B. Ko, Y. Kim. "Optimization of injection holes in symmetric and asymmetric scroll compressors with vapor injection." *Int. J. Refrig.* 35 (2012): 850-60.
<https://doi.org/10.1016/j.jirefrig.2012.01.007>
- [10] Qiao, H., V. Aute, R. Radermacher. "Transient modeling of a flash tank vapor injection heat pump system - Part I: model development." *Int. J. Refrig.* 49 (2015): 169-82.
<https://doi.org/10.1016/j.jirefrig.2014.06.019>
- [11] Qiao, H., X. Xu, V. Aute, R. Radermacher. "Transient modeling of a flash tank vapor injection heat pump system - Part II: simulation results and experimental validation." *Int. J. Refrig.* 49 (2015): 183-94.
<https://doi.org/10.1016/j.jirefrig.2014.06.018>
- [12] BS EN ISO 23953-2 +A1. (2012). *Refrigerated display cabinets*; Part 2: Classification, requirements, and test conditions. The British Standards Limited, UK.

- [13] Ruhyat, N., E.A. Kosasih, Warjito, I.H. Imansyah. "Combination system of spray dryer and low evaporator temperature refrigeration for drying vitamine B1." *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences* 55 (2019): 102-110.
- [14] Suamir, I.N., M.E. Arsana, K.M. Tsamos. "Experimental Study on the Influences of Air Flow in an Integral Hydrocarbon Display Cabinet to its Temperature and Energy Performances." *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 494 (2019): 012017.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/494/1/012017>
- [15] Jamaluddin, M.S., M.M. Rahman, M.F. Hasan, A. Saat, M.A. Wahid. "Performance evaluation of a small-scale solar driven refrigeration system." *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences* 55 (2019): 102-110.
- [16] Sun, S., X. Wang, P. Guo, Z. Song. "Investigation on the modifications of the suction flow passage in a scroll refrigeration compressor." *Appl. Ther. Eng.* (2020): 115031.
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.115031>
- [17] ASHRAE Handbook. (2019). *HVAC Systems and Equipment*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, USA.
- [18] Fernando, M., T. Oquendo, E.N. Peris, F.B. Ruescas, J.G. Macía. "Semi-empirical model of scroll compressors and its extension to describe vapor-injection compressors: Model description and experimental validation." *Int. J. Refrig.* 106 (2019): 308-326.
<https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2019.06.031>
- [19] Nordtvedt, S.R. (2005). *Experimental and theoretical study of a compression/absorption heat pump with ammonia/water as working fluid*.
- [20] Demierre, J., D. Favrat, J. Schiffmann, J. Wegele. "Experimental investigation of a thermally driven heat pump based on a double organic Rankine cycle and an oil-free compressor-turbine unit." *Int. J. Refrig.* 44 (2014): 91-100.
<https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2014.04.024>
- [21] Iglesias, A. and D. Favrat. "Innovative isothermal oil-free co-rotating scroll compressor-expander for energy storage with first expander tests." *Energy Conserve. Manage.* 85 (2014): 565-572.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.05.106>
- [22] Mendoza, L.C., S. Lemoufouet, J. Schiffmann. "Two-phase and oil-free co-rotating scroll compressor/expander." *Appl. Therm. Eng.* 148 (2019): 173-187.
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.11.037>
- [23] Dmitriev, O. and L.M. Arbon. "Comparison of energy-efficiency and size of portable oil-free screw and scroll compressors." *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 232 (2017): 012057.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/232/1/012057>
- [24] Suamir, I.N., I.N.G. Baliarta, M.E. Arsana, I.P.S. Negara. "Condenser-evaporator approach temperatures and their influences on energy performance of water cooled chillers." *Proceeding of the 14th International Conference on QIR (Quality in Research)* (2015): 428-433.
- [25] Suamir, I.N., I.N.G. Baliarta, M.E. Arsana, I.W. Temaja. "The Role of condenser approach temperature on energy conservation of water cooled chiller." *Adv. Sci. Lett.* 23 (2017): 12202-12205.
<https://doi.org/10.1166/asl.2017.10602>
- [26] Suamir, I.N., I.N.G. Baliarta, M.E. Arsana, Sudirman, I.M. Sugina. "Field-based analyses on approach temperatures for performance evaluation of centralized air conditioning system in a shopping mall building." *IOP Conf. Ser.: J. Physics* 1569 (2020): 032041.
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1569/3/032041>
- [27] BS EN 378-1. (2012). *Refrigerating systems and heat pumps - Safety and environmental requirements, Part 1: Basic requirements, definitions, classification and selection criteria*. BSI.
- [28] ASHRAE Standard 34. (2007). *Designation and safety classification of refrigerants*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, USA.
- [29] IEEE Standard 112. (2004). *IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators*. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 3 Park Avenue, New York, USA.
- [30] Yu, J., T. Zhang, J. Qian, (2011). *Energy-efficiency standards of electrical motor products*. International Energy-Efficiency Standards and Testing Methods: 51-79.



I Nyoman Suamir <nyomansuamir@pnb.ac.id>

[J. Adv. Res. Fluid Mech. Therm. Sc.] Editor Decision

1 message

Nor Azwadi Che Sidik <azwadi@akademiabaru.com>

Wed, Jan 27, 2021 at 7:41 PM

To: I Nyoman Suamir <nyomansuamir@pnb.ac.id>, I Made Rasta <maderasta@pnb.ac.id>, Adi Winarta <adi.winarta@pnb.ac.id>, Made Ery Arsana <eryarsana@pnb.ac.id>, I Wayan Adi Subagia <adisubagia@pnb.ac.id>

I Nyoman Suamir, I Made Rasta, Adi Winarta, Made Ery Arsana, I Wayan Adi Subagia:

ACCEPTANCE FOR PUBLICATION IN THE JOURNAL OF ADVANCED RESEARCH IN FLUID MECHANICS AND THERMAL SCIENCES (2289-7879) – SCOPUS INDEXED

The reviewers have completed the review for your submission to Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences, "Study on the Performance of Scroll Compressor Applied for Medium Temperature Refrigeration System".

Our decision is to: **Accept for publication**

Please make payment of Article Processing Charge of USD350 (International Corresponding Author) or RM1000 (Malaysian Corresponding Author).

The payment can be accomplished through Bank in, Bank transfer or Telegraphic transfer to the following details:

Beneficiary: AKADEMIA BARU PUBLISHING (M) SDN. BHD

Bank's Name: Maybank

Account number: 562263543306

Swift code: MBBEMYKL

Full Address: [No. 7 & 9, Jalan 9/9c, Seksyen 9 Bandar Baru Bangi, 43650 Bangi, Selangor, Malaysia](#)

Please email the proof of payment to azwadi@akademiabaru.com before we can begin copyediting of the accepted article.

Thank you

Truly

Editor-in-chief, Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences

—

Dokumen pendukung luaran Tambahan #3

Luaran dijanjikan: Paten Sederhana

Target: terdaftar

Dicapai: Terdaftar

Dokumen wajib diunggah:

1.

Dokumen sudah diunggah:

1. Dokumen pendaftaran (lengkap dengan nomor pendaftaran paten sederhana) dari Kemenkumham atau institusi perlindungan paten sederhana lainnya

Dokumen belum diunggah:

-

Nama Paten Bahan perubahan fasa (Bio-PCM) campuran air dan ester minyak jagung sebagai penyimpan energi termal untuk aplikasi sistem refrigerasi temperatur penyimpanan di bawah 0°C

Pemegang Paten: I Nyoman Suamir; I Made Rasta; I Dewa Made Cipta Santosa; Sudirman

No Pendaftaran: P00202010143

No Granted: -

Deskripsi

BAHAN PERUBAHAN FASA (Bio-PCM) CAMPURAN AIR DAN ESTER MINYAK JAGUNG SEBAGAI PENYIMPAN ENERGI TERMAL UNTUK APLIKASI SISTEM REFRIGERASI TEMPERATUR PENYIMPANAN DI BAWAH 0°C

5

Bidang Teknik Invensi

Invensi ini berkaitan dengan bahan perubahan fasa sebagai penyimpan energi termal untuk aplikasi system refrigerasi pangan beku atau temperatur penyimpanan di bawah 0 °C. Lebih khusus invensi ini menggunakan campuran air dan ester minyak jagung. Penerapan bahan perubahan fasa pada sistem penyimpanan dingin di bawah 0 °C, dapat mengurangi siklus hidup mati mesin refrigerasinya dan juga mengurangi waktu hidupnya sehingga dapat menurunkan konsumsi energi. Komposisi bahan perubahan fasa (PCM = phase change material) memiliki prosentase volume sesuai dengan temperatur penyimpanan dan temperatur perubahan fasa yang digunakan.

Latar Belakang Invensi

PCM, adalah produk yang ideal untuk solusi manajemen termal karena memiliki kemampuan untuk menyimpan dan melepaskan energi panas selama proses pencairan dan pembekuan (perubahan dari satu tahap ke tahap yang lain). Pada saat material membeku, ia melepaskan sejumlah besar energi dalam bentuk panas laten peleburan, atau energi kristalisasi. Sebaliknya, pada saat mencair atau meleleh jumlah energi yang sama diserap dari lingkungan terdekat seperti perubahan dari padat ke cair. Hal ini memungkinkan penyimpanan energi panas atau dingin yang disimpan dari satu proses atau periode waktu tertentu dan dapat digunakan pada titik dalam waktu berikutnya atau dipindahkan ke lokasi yang berbeda. PCM juga dapat digunakan untuk memberikan hambatan termal atau insulasi, sangat berguna untuk sektor industri yang membutuhkan suhu yang dikontrol.

Pemilihan material yang akan digunakan untuk PCM adalah material dipilih yang mempunyai panas laten yang besar dan konduktifitas termal yang tinggi, dan seharusnya mempunyai titik lebur pada kisaran temperatur operasi yang ingin dicapai, tidak beracun, tidak korosif, punya susunan kimia yang stabil, dan meleleh merata dengan minimum sub cooling. (L.F. Cabeza et al., 2011).

Metode penyimpanan panas laten ini telah menjadi topik yang menarik untuk sejumlah besar aplikasi pemanfaatannya. Metode penyimpanan energi panas laten menyediakan energi yang jauh lebih tinggi karena kepadatan penyimpanan dengan perubahan suhu lebih kecil jika dibandingkan dengan penyimpanan panas sensibel. (M.M Farid et al., 2004) Namun, kesulitan praktis biasanya muncul dalam menerapkan metode panas laten karena konduktivitas termal rendah, perubahan kepadatan, stabilitasnya dan untuk bahan PCM yang diterapkan pada pendinginan. Seperti diketahui penggunaan energi listrik untuk mesin pendingin makanan beku biaya operasionalnya adalah cukup tinggi dengan asumsi mesin tersebut terus beroperasi untuk menjaga temperatur produk biar tahan lama dengan kondisi layak dikonsumsi oleh karenanya dibutuhkan energi listrik yang cukup besar.

Konservasi energi dengan penyimpanan energi memainkan peran penting dalam menghemat energi yang tersedia dan meningkatkan pemanfaatannya. Penghematan penggunaan energi dapat dilakukan dengan memanfaatkan PCM. Beberapa penelitian langsung dan tidak langsung tentang penyimpanan energi panas laten pada sistem pendingin PCM yaitu;

Organik PCM mempunyai sifat mencair dan membeku berulang kali tanpa fase segregasi (juga disebut melting kongruen). Organik PCM sangat sedikit mengkristal atau no supercooling (juga disebut self-nukleasi), PCM juga tidak korosif. Pengujian kestabilan penggunaannya dinyatakan dalam penelitian dilakukan dengan cara pengujian properti thermo-fisiknya setelah dilakukan sejumlah pengujian berulang dari siklus termalnya. (Manish K.R. 2013).

Beberapa peneliti yang telah mencoba menerapkan PCM yang sesuai pada sistem pendingin diantaranya :

70 Penggunaan PCM yang diterapkan pada kendaraan pengangkut makanan beku atau Refrigerated Van mampu menekan penggunaan bahan bakar diesel, serta listrik yang digunakan energi penghematannya bisa mencapai 80,9 % dibandingkan dengan sistem konvensional. (Munes K. S et al., 2013).

75 Aplikasi PCM untuk cold storage dari hasil review (E. Oró et al., 2012) dapat dikategorikan sebagai berikut ; Pendinginan: digunakan untuk off-peak rates dan mengurangi instalasi penggunaan power bank. Proteksi thermal untuk makanan seperti transport, ice-cream, dll. Aplikasi medis seperti transport dari darah, meja operasi, cold therapies. Serta Industri sistem pendingin. Pemanfaatan PCM organik pada mesin pendingin lebih banyak digunakan untuk mempertahankan kualitas produk yang disimpan akibat pengaruh On-Off power compressor yang dikontrol termostat. Penggunaan PCM panels (kantong pouches) yang ditempatkan pada
85 dinding panels yang mampu mempertahankan temperatur produk lebih stabil dengan fluktuasi temperatur yang cukup rendah $\pm 0.001^{\circ}\text{C}$ dibandingkan metode konvensional yang fluktuasi temperaturnya bisa $\pm 1-5^{\circ}\text{C}$ akan membuat kualitas produk lebih baik. (Bejamin G et al., 2010).

90 Pemanfaatan ester minyak jagung yang merupakan Bio-based PCM yang dapat bercampuran dengan air sangat baik dengan komposisi air sampai dengan 80% dapat digunakan untuk menurunkan temperatur freezing point air sehingga dengan demikian dapat meniadakan supercooling dan ini menjadikan campuran air dengan ester minyak
95 jagung ini sangat potensial digunakan sebagai PCM pada aplikasi pendinginan pada medium temperatur -20°C sampai -80°C . (Rasta et al., 2016).

Beberapa invasi yang ada diantaranya : Nomor permohonan P00201503445 09 Jun 2015, tanggal aplikasi pengumuman 10 Mar 2017.
100 berkaitan dengan modul penyimpanan dingin, kontainer berpendingin yang dilengkapi dengan sejumlah modul penyimpanan dingin dan kendaraan kontainer berpendingin. Modul penyimpanannya pendingin

ditempatkan dengan sejumlah modul penyimpanan dingin dan kendaraan pendingin. Modul penyimpan dingin terdiri dari kemasan yang
105 terdiri dari bahan perubahan fasa (PCM) di dalamnya.

Invensi lainnya berupa modul penyimpan pada kendaraan pendingin dilengkapi dengan kontainer pendingin bahan perubahan fasa berbasis perubahan fasa kuasi tidak dapat dikempa yang memiliki konduktivitas yang rendah IDP000022530 19 Dec 2008.
110 Proses menurut invensi ini mencakup kombinasi, dengan suatu bahan perubahan fasa cair (PCM). Bahan yang terbentuk memiliki konsistensi gel jika diam, dan terfluidisasi pengikisan. PCM-nya terdiri dari campuran kimia dari keluarga alkana: parafin, lilin, alkohol berlemak, asam berlemak, dan sebagainya;
115 dan zat penstabil-nya adalah suatu polimer massa tinggi (polimer hidrokarbonat, polimer ester atau eter, polimer ester-hidrokarbon campuran), suatu polimer ionomer, atau suatu kopolimer stirena dua, tiga, atau multi-blok (SBS: stirena-butadiena-stirena), SEBS: stirena-etilena-butadiena-stirena. Penggunaan bahan tersebut
120 untuk isolasi panas kapal-kapal atau pipa-pipa, dan khususnya lagi untuk lintasan pengangkutan hidrokarbon.

Invensi lainnya yaitu sistem penahanan untuk mengangkut dan menyimpan material yang peka terhadap suhu, US5950450A Amerika Serikat, Byron Keith Meyer, Chris E. Meyer, Nicholas Wynne, Robert
125 E. Bailey, Ival O. Salyer, 1999-09-14, Permohonan disetujui, 2019-07-18, Status aplikasi Kedaluwarsa - Seumur Hidup. Bahan pengubah fasa/komposisi partikel silika secara khusus berguna dalam penemuan ini dalam bentuk gel yang dapat dibalik yang berarti bahwa komposisi dapat dibekukan dan dicairkan berulang kali. Gel-gel
130 yang dapat dibalik dibungkus dalam suatu penutup, polimerik tahan-cairan yang tertutup rapat, polimerik logam, atau selungkup lembaran logam untuk membentuk suatu kemasan gel. Komposisi tersebut dijelaskan secara rinci dalam surat permohonan kopending. Surat Pengacara No. UVD 236 PA yang diajukan bersamaan dengan ini,
135 yang isinya digabungkan di sini sebagai referensi. Bahan pengubah fasa / komposisi partikel silika yang berguna dalam penemuan ini biasanya terdiri dari sekitar 70 sampai 90% berat bahan pengubah

fasa dan sekitar 10 sampai 30% berat partikel silika. Lebih disukai, bahan pengubah fasa / komposisi partikel silika terdiri dari sekitar 77% berat bahan pengubah fasa dan sekitar 23% berat partikel silika. Bahan pengubah fasa / gel silika (sekitar 77:23. memiliki keuntungan lain tertentu yang menyebabkannya lebih disukai untuk digunakan sebagai bahan pengubah fasa dalam penemuan ini. Penggunaan silika hidrofobik penting dalam aplikasi di mana komposisinya terpapar air atau kelembapan relatif tinggi karena mencegah pemisahan fasa bahan pengubah fasa dan silika. Silika hidrofobik yang disukai memiliki kerapatan sekitar 2,2. Silika hidrofobik yang berguna tersedia dari PPG Industries of Pittsburgh, Pa. Di bawah penunjukan BXS-303.

Invensi lainnya, Paten A.S. 5.106.520 untuk Salyer mengungkapkan bahan penyimpanan energi panas dalam bentuk bubuk kering yang dibentuk dari alkil hidrokarbon atau bahan pengubah fasa air dan partikel silika. Karena bahan pengubah fasa / serbuk kering silika tidak membentuk padatan yang kaku, sulit untuk menentukan kapan komposisi telah mencapai keadaan beku.

Invensi lainnya berupa material perubahan fase untuk kontrol suhu dan penyimpanan material, US7926296B2, Amerika Serikat, Francis C. Wessling, Jr. James M. Blackwood, 2011-04-19, Aplikasi diberikan, 2029-05-12. Bahan pengubah fasa yang terdiri dari campuran air dan deuterium oksida dijelaskan, di mana fraksi mol deuterium oksida dipilih sehingga campuran memiliki suhu perubahan fasa yang dipilih dalam kisaran antara 0 ° C dan 4 ° C. Campuran tersebut adalah ditempatkan dalam wadah dan digunakan untuk penyimpanan pasif dan pengangkutan biomaterial dan bahan sensitif suhu lainnya. Gel, agen nukleasi, depresi titik beku bahan dan pewarna dapat ditambahkan untuk meningkatkan karakteristik campuran. Wadah untuk penyimpanan atau pengangkutan material yang sensitif terhadap suhu, seperti biomaterial, dapat menggunakan material pengubah fase ("PCM") untuk mempertahankan suhu yang diinginkan untuk mengawetkan material sensitif.

Air adalah salah satu PCM yang paling banyak digunakan untuk banyak aplikasi kontrol suhu dan biasanya digunakan untuk menjaga

suhu lingkungan mendekati nol derajat Celcius (0°C), suhu beku atau perubahan fasa untuk air. Namun, biomaterial tertentu dan bahan sensitif suhu lainnya sering rusak bila disimpan mendekati 0°C dan oleh karena itu harus disimpan pada suhu agak lebih besar dari 0°C dan kurang dari sekitar 4°C . Telah diketahui dan dipahami dengan baik bahwa Penambahan bahan, seperti garam, ke air (H_2O), menghasilkan campuran dengan suhu beku di bawah 0°C . Secara umum, penambahan bahan ke air biasanya menekan atau menurunkan suhu perubahan fasa campuran. Meskipun terdapat variasi dalam kisaran suhu yang diinginkan untuk penyimpanan dan pengangkutan pasif, terdapat kebutuhan khusus untuk nilai suhu dari sekitar 0°C hingga sekitar 4°C . Misalnya, dalam pengangkutan biomaterial seperti protein, vaksin, organ transplantasi, produk darah, sampel urin, dan nilai bahan serupa lainnya yang terlalu dekat dengan 0°C atau lebih besar dari sekitar 4°C dapat menyebabkan degradasi biomaterial. Ketika PCM memiliki suhu perubahan fasa, suhu di mana pembekuan terjadi, dekat atau kurang dari 0°C . PCM umumnya tidak berguna untuk menyediakan kontrol suhu pasif untuk biomaterial yang membutuhkan suhu penyimpanan sedikit lebih besar dari 0°C .

Air memiliki panas fusi yang sangat baik, air umumnya dianggap sebagai komponen utama untuk campuran PCM. Akan diinginkan untuk menemukan bahan yang bila ditambahkan ke air akan menghasilkan campuran yang memiliki peningkatan suhu perubahan fasa yang lebih besar dari 0°C dan memiliki nilai panas fusi yang hampir sama dengan air. Selanjutnya, akan diinginkan jika bahan seperti itu relatif murah, mudah didapat, dan tidak beracun. Atribut lain yang diinginkan dari bahan semacam itu adalah atribut mudah membentuk campuran homogen dengan air. Juga diinginkan jika bahan yang ditambahkan memiliki karakteristik fisik lain yang mirip dengan air.

205 **Ringkasan Invensi**

Konsep invensi adalah memanfaatkan energi perubahan fasa untuk mempertahankan temperatur penyimpanan produk menjadi stabil,

mengurangi siklus mati hidupnya mesin refrigerasi dan mengurangi waktu hidupnya mesin. Energi perubahan fasa merupakan delta entalpi pada saat terjadi perubahan fasa dari bahan PCM. Besarnya energi tersebut bervariasi menurut temperatur perubahan fasa yang diinginkan atau sesuai dengan konsentrasi campuran antara air dan ester minyak jagung. Bahan PCM dalam invensi ini memiliki rentang temperatur perubahan fasa dari $-3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai dengan $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sehingga bahan PCM memiliki fleksibilitas yang tinggi dalam aplikasi refrigerasi pangan beku dengan temperatur penyimpanan produk di bawah $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Uraian Singkat Gambar

Untuk memudahkan pemahaman mengenai inti invensi ini, selanjutnya akan diuraikan perwujudan invensi melalui gambar-gambar terlampir.

Gambar 1, karakteristik ester minyak jagung yang menjadi bahan campuran di dalam air.

Gambar 2, adalah gambar temperatur perubahan fasa dari PCM dengan campuran air dan ester minyak jagung

Gambar 3, adalah energi atau entalpi spesifik perubahan fasa PCM dengan campuran air dan ester minyak jagung

Uraian Lengkap Invensi

Bahan perubahan fasa (Bio-PCM) berbahan dasar air dengan campuran ester minyak jagung yang diajukan seperti gambar 1. Memiliki karakteristik; 3-Isopropoxy-1,1,1,7,7,7-hexamethyl-3,5,5-tris (trimethylsiloxo) $\text{C}_{18}\text{H}_{52}\text{O}_7\text{Si}_7$ dengan prosentase luasan 0.61% (1), Benzene, 1-(1,5-dimethyl-4-hexenyl) $\text{C}_{15}\text{H}_{22}$ dengan prosentase luasan 17.45% (2), 1,3-Cyclohexadiene, 5-(1,5-dimethyl-4-hexenyl) $\text{C}_{15}\text{H}_{24}$ dengan prosentase luasan 8.29% (3), Copaene $\text{C}_{15}\text{H}_{24}$ dengan prosentase luasan 0.28% (4), 8-Nonenoic acid, 5,7-Dimethylene-, methylester $\text{C}_{12}\text{H}_{18}\text{O}_2$ 0.50% (5), Cyclohexene, 1-methyl-4-(5-methyl-1-methylene-4-hexenyl) $\text{C}_{15}\text{H}_{24}$ dengan prosentase luasan 8.45% (6), Dodecanoic acid, methyl ester $\text{C}_{22}\text{H}_{40}\text{O}_2$ dengan

prosentase luasan 10.92% (7), Beta-sesquiphellandrene $C_{15}H_{24}$ dengan
 prosentase luasan 23.83% (8), Hexadecanoic acid, methyl ester
 245 $C_{17}H_{34}O_2$ dengan prosentase luasan 13.28% (9), 3-Butoxy-1,1,1,7,7,7-
 hexamethyl-3,5,5-tris (trimethylsiloxy) $C_{19}H_{54}O_7Si_7$ dengan
 prosentase luasan 0.68% (10), Dodecanoic acid, (2,2-dimethyl-1,3-
 dioxolan-4-yl) methyl ester $C_{18}H_{34}O_4$ dengan prosentase luasan 0%
 (11), Hexadecanoic acid, (2,2-dimethyl-1,3-dioxolan-4-yl) methyl
 250 ester $C_{22}H_{42}O_4$ dengan prosentase luasan 2.95% (12), 2-Heptadecanone,
 1- (2,2-dimethyl-1,3-dioxolan-4-yl) methoxy $C_{23}H_{44}O_4$ dengan
 prosentase luasan 0% (13), Anodendroside G, monoacetate $C_{32}H_{42}O_{11}$
 dengan prosentase luasan 0.48% (14), 9-Octadecenoic acid (Z),
 methyl ester $C_{19}H_{36}O_2$ dengan prosentase luasan 0% (15), 7-
 255 Hexadecenoic acid, methyl ester $C_{17}H_{32}O_2$ dengan prosentase luasan
 6.21% (16), 9-Octadecenoic acid, methyl ester $C_{19}H_{36}O_2$ dengan
 prosentase luasan 0% (17), Cyclopropanebutanoic acid $C_{25}H_{42}O_2$ dengan
 prosentase luasan 1.38% (18), Oxiraneoctanoic acid, 3-octyl,
 methyl ester, trans $C_{19}H_{36}O_3$ dengan prosentase luasan 0% (19),
 260 Heptasiloxane, hexadecamethyl $C_{16}H_{48}O_6Si_7$ dengan prosentase luasan
 1.63% (20), Octadecanoic acid, methyl ester $C_{19}H_{38}O_2$ dengan
 prosentase luasan 1.99% (21), Heptasiloxane, hexadecamethyl
 $C_{16}H_{48}O_6Si_7$ 1.06% (22). Ester minyak jagung kemudian dicampur
 dengan Air dengan komposisi seperti gambar 2. Yang menunjukkan
 265 hubungan antara temperature perubahan fasa ($^{\circ}C$) dengan persentase
 volume ester minyak jagung dalam air dimana (a1),(a2),(a3)
 menunjukkan temperature perubahan fase yang menurun dari -3.5°
 sampai $-7.5^{\circ}C$ dengan penambahan persentase volume ester minyak
 jagung di dalam air dari 5% sampai 10%, temperature perubahan fase
 270 $-10.5^{\circ}C$ (a4) diperoleh dari penambahan penambahan persentase
 volume ester minyak kedelai di dalam air 15%, selanjutnya
 temperature perubahan fase $-15^{\circ}C$ (a5) diperoleh dari penambahan
 persentase volume ester minyak jagung di dalam air 20%, sedangkan
 temperatur perubahan fase yaitu (a6)- $19,5^{\circ}C$, (a7)- $23^{\circ}C$ dan (a8)- $27^{\circ}C$
 275 diperoleh dari penambahan persentase volume ester minyak jagung di
 dalam air sebesar 25%,30% dan 35%. Sedangkan gambar 3 menunjukkan
 besaran entalpi perubahan fase terhadap penambahan persentase

volume ester minyak jagung di dalam air yaitu (b1),(b2),(b3) menunjukkan entalpi perubahan fase yang menurun dari 227,8 kJ/kg
280 sampai 171,7 kJ/kg dengan penambahan persentase volume ester minyak kedelai di dalam air dari 5% sampai 10%, entalpi perubahan fase 125,0 kJ/kg (b4) diperoleh dari penambahan persentase volume ester minyak jagung di dalam air 15%, selanjutnya temperature perubahan fase 107,3 kJ/kg (b5) diperoleh dari
285 penambahan persentase volume ester minyak jagung di dalam air 20%, sedangkan temperatur perubahan fase yaitu (b6) 85,0 kJ/kg,(b7) 78,6 kJ/kg dan(b8) 68,7 kJ/kg diperoleh dari penambahan persentase volume ester minyak jagung di dalam air sebesar 25%,30% dan 35%. Sehingga dapat disimpulkan ester minyak jagung merupakan bahan
290 perubahan fasa (PCM) yang menggunakan bahan dasar air yang dapat berfungsi pada temperatur di bawah 0 °C, dengan karakteristik seperti pada Gambar 1, memiliki flesibilitas aplikasi pada temperatur dari -3.5 °C sampai dengan -27 °C. dengan konsentrasi ester minyak jagung di dalam air dari 5% sampai dengan 35% seperti
295 pada Gambar 2. Dan dengan energi spesifik perubahan fasa 68,7 kJ/kg sampai dengan 227,8 kJ/kg seperti pada Gambar 3.

Klaim :

1. Suatu bahan perubahan fasa (PCM) yang berfungsi untuk aplikasi refrigerasi pangan beku dengan temperatur penyimpanan di bawah 0 °C menggunakan bahan dasar air dengan campuran ester minyak jagung dengan karakteristik seperti pada Gambar 1, memiliki fleksibilitas aplikasi pada temperatur dari -3,5 °C sampai dengan -27 °C.
2. Suatu bahan perubahan fasa (PCM) yang berfungsi untuk aplikasi refrigerasi pangan beku dengan temperatur penyimpanan di bawah 0 °C seperti klaim 1 dengan konsentrasi ester minyak jagung di dalam air dari 5% sampai dengan 35% seperti pada Gambar 2.
3. Suatu bahan perubahan fasa (PCM) yang berfungsi untuk aplikasi refrigerasi pangan beku dengan temperatur penyimpanan di bawah 0 °C seperti klaim 1 dengan energi spesifik perubahan fasa 68,7 kJ/kg sampai dengan 227,8 kJ/kg seperti pada Gambar 3.

ABSTRAK

BAHAN PERUBAHAN FASA (Bio-PCM) CAMPURAN AIR DAN ESTER MINYAK JAGUNG SEBAGAI PENYIMPAN ENERGI TERMAL UNTUK APLIKASI SISTEM REFRIGERASI TEMPERATUR PENYIMPANAN DI BAWAH 0°C

5

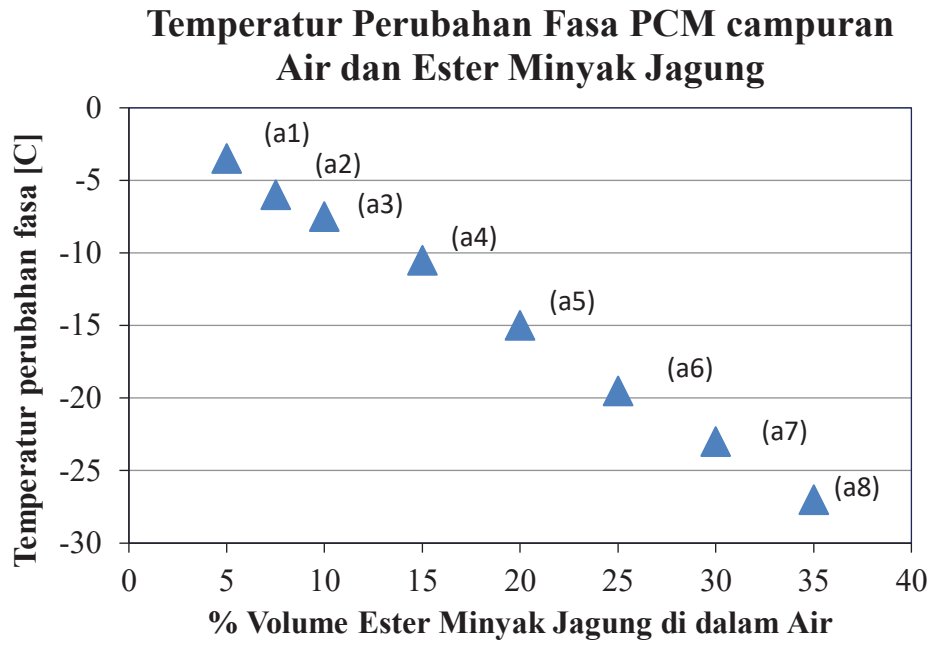
Invensi ini berhubungan dengan bahan perubahan fasa sebagai penyimpan energi termal untuk aplikasi penyimpanan pada temperatur di bawah 0 °C. Lebih khusus invensi ini menggunakan campuran air dan ester minyak jagung. Konsep invensi dengan memanfaatkan energi perubahan fasa. Energi perubahan fasa merupakan delta entalpi pada saat terjadi perubahan fasa dari bahan PCM. Besarnya energi tersebut bervariasi menurut temperatur perubahan fasa yang diinginkan atau sesuai dengan konsentrasi campuran antara air dan ester minyak jagung. Bahan PCM dalam invensi ini memiliki rentang temperatur perubahan fasa dari -3,5 °C sampai dengan -27 °C yang diperoleh dengan konsentrasi campuran ester minyak jagung dari 5% sampai dengan 35% volume di dalam air. Sehingga bahan PCM dalam invensi ini memiliki fleksibilitas yang tinggi dalam aplikasi refrigerasi pangan beku dengan temperatur penyimpanan produk di bawah 0 °C. Penerapan bahan perubahan fasa pada sistem penyimpanan dingin di bawah 0 °C, dapat mengurangi siklus hidup mati mesin refrigerasinya dan juga mengurangi waktu hidupnya sehingga dapat menurunkan konsumsi energinya.

25

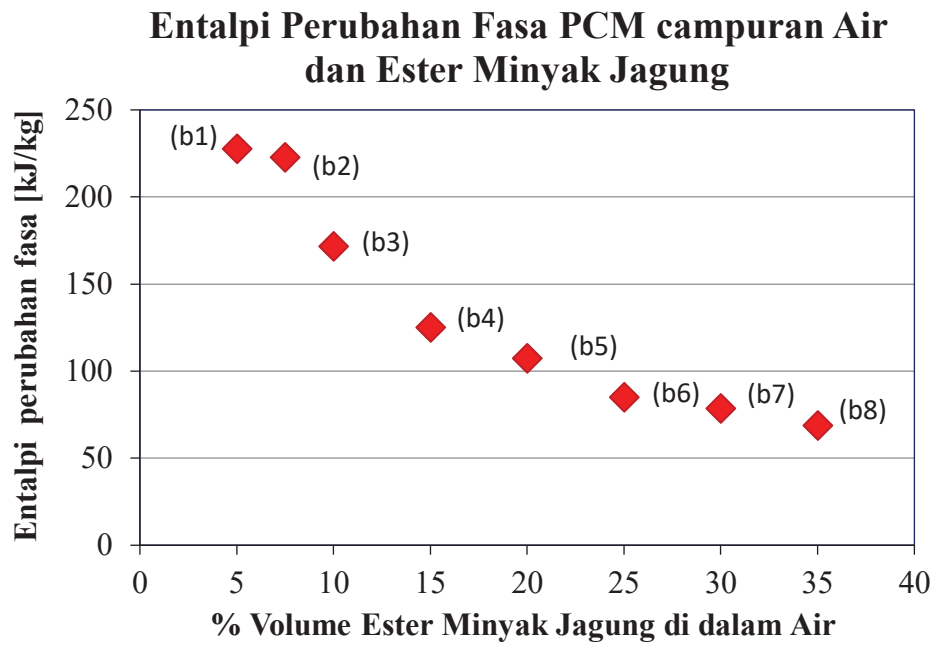
Gambar 1

No	Nama komponen	Formula	Persen luasan
1	3-Isopropoxy-1,1,1,7,7,7-hexamethyl-3,5,5-tris (trimethylsiloxy)	C18H52O7Si7	0.61
2	Benzene, 1-(1,5-dimethyl-4-hexenyl)	C15H22	17.45
3	1,3-Cyclohexadiene, 5-(1,5-dimethyl-4-hexenyl)	C15H24	8.29
4	Copaene	C15H24	0.28
5	8-Nonenoic acid, 5,7-Dimethylene-, methylester	C12H18O2	0.50
6	Cyclohexene, 1-methyl-4-(5-methyl-1-methylene-4-hexenyl)	C15H24	8.45
7	Dodecanoic acid, methyl ester	C13H26O2	10.92
8	Beta-sesquiphellandrene	C15H24	23.83
9	Hexadecanoic acid, methyl ester	C17H34O2	13.28
10	3-Butoxy-1,1,1,7,7,7-hexamethyl-3,5,5-tris (trimethylsiloxy)	C19H54O7Si7	0.68
11	Dodecanoic acid, (2,2-dimethyl-1,3-dioxolan-4-yl) methyl ester	C18H34O4	
12	Hexadecanoic acid, (2,2-dimethyl-1,3-dioxolan-4-yl) methyl ester	C22H42O4	2.95
13	2-Heptadecanone, 1- (2,2-dimethyl-1,3-dioxolan-4-yl) methoxy	C23H44O4	
14	Anodendroside G, monoacetate	C32H42O11	0.48
15	9-Octadecenoic acid (Z), methyl ester	C19H36O2	
16	7-Hexadecenoic acid, methyl ester	C17H32O2	6.21
17	9-Octadecenoic acid, methyl ester	C19H36O2	
18	Cyclopropanebutanoic acid	C25H42O2	1.38
19	Oxiraneoctanoic acid, 3-octyl, methyl ester, trans	C19H36O3	
20	Heptasiloxane, hexadecamethyl	C16H48O6Si7	1.63
21	Octadecanoic acid, methyl ester	C19H38O2	1.99
22	Heptasiloxane, hexadecamethyl	C16H48O6Si7	1.06

Gambar 2



Gambar 3



SURAT PERNYATAAN PENGALIHAN HAK ATAS INVENSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

1. Nama : I Nyoman Suamir
Pekerjaan : PNS
Alamat : Balangan Pratama Residence, Jln. Balangan Hijau VIII, no. 18, Bukit Jimbaran, Kuta Selatan, Badung, Bali

2. Nama : I Made Rasta
Pekerjaan : PNS
Alamat : Br. Baha, Desa Baha, Mengwi, Badung, Bali

3. Nama : I Dewa Made Cipta Santosa
Pekerjaan : PNS
Alamat : Jl. Perumahan Wahyu Muding Asri No.9, Muding Tengah, Kerobokan Kaja, Kuta Utara, Badung Bali 80361

4. Nama : Sudirman
Pekerjaan : PNS
Alamat : Jl. Anggrek 26B Dauh Peken, Tabanan, Bali

dalam hal ini bertindak untuk dan atas nama para inventor dari invensi berjudul:

BAHAN PERUBAHAN FASA (Bio-PCM) CAMPURAN AIR DAN ESTER MINYAK JAGUNG SEBAGAI PENYIMPAN ENERGI TERMAL UNTUK APLIKASI SISTEM REFRIGERASI TEMPERATUR PENYIMPANAN DI BAWAH 0°C

dan untuk selanjutnya disebut sebagai PARA INVENTOR,

Bersama ini menyatakan mengalihkan hak atas invensi tersebut di atas kepada:

Nama : Politeknik Negeri Bali
Alamat : Kampus Bukit Jimbaran, Kuta Selatan, Badung-Bali

Telp./Faks. : (0361)701981, Fax (0361)701128
e-mail : poltek@pnb.ac.id

dalam hal ini, sesuai dengan kewenangan diwakili oleh I Nyoman Abdi, S.E., M.eCom , selaku Direktur Politeknik Negeri Bali

Demikian Surat Pernyataan ini kami buat secara sadar dan sukarela tanpa paksaan dari pihak manapun untuk dimanfaatkan sebagaimana mestinya.

Badung, 12 Desember 2020

UNTUK DAN ATAS NAMA
POLITEKNIK NEGERI BALI
Direktur Politeknik Negeri Bali

PARA INVENTOR,



I Nyoman Abdi
I Nyoman Abdi, S.E., M.eCom
NIP. 196512211990031003



I Nyoman Suamir

1. I Nyoman Suamir

I Made Rasta

2. I Made Rasta

I Dewa Made Cipta Santosa

3. I Dewa Made Cipta Santosa

Sudirman

4. Sudirman

Formulir Permohonan Paten

Diisi oleh petugas

Tanggal pengajuan :

Nomor permohonan :

Dengan ini saya/kami ¹⁾ :

(71) Nama : POLITEKNIK NEGERI BALI
 Alamat ²⁾ : KAMPUS POLITEKNIK NEGERI BALI, BUKIT JIMBARAN,
 BADUNG-BALI 80364

Warga Negara : INDONESIA
 Telepon : 0361-701981
 Email : poltek@pnb.ac.id
 NPWP : 00.243.575.8-905.000

mengajukan permohonan paten/paten sederhana

[]

yang merupakan permohonan paten
 Internasional/PCT dengan nomor :

(74) melalui/tidak melalui *) Konsultan KI

Nama Badan Hukum ³⁾ :
 Alamat Badan Hukum ²⁾ :

Nama Konsultan KI :
 Alamat²⁾ :

Nomor Konsultan KI :
 Telepon/Fax :
 Email :

[]

(54) dengan judul invensi :

**BAHAN PERUBAHAN FASA (Bio-PCM) CAMPURAN AIR DAN ESTER
 MINYAK JAGUNG SEBAGAI PENYIMPAN ENERGI TERMAL UNTUK
 APLIKASI SISTEM REFRIGERASI TEMPERATUR PENYIMPANAN DI
 BAWAH 0°C**

[]

Permohonan paten ini merupakan pecahan/ Perubahan
 dari permohonan paten nomor :

[]

Saya/kami usulkan, gambar nomor ..1. dapat menyertai abstrak pada saat dilakukan pengumuman atas permohonan paten (UU No. 13 Tahun 2016)	[] []
--	------------

Demikian permohonan paten ini saya/kami ajukan untuk dapat diproses lebih lanjut

Pemohon,



Nyoman Abdi, S.E., M.eCom)⁶⁾
NIP. 196512211990031003

Keterangan :

- 1) Jika lebih dari satu orang maka cukup satu saja yang dicantumkan dalam formulir ini sedangkan lainnya harap ditulis pada lampiran tambahan.
- 2) Adalah alamat kedinasan/surat-menyurat.
- 3) Jika Konsultan Paten yang ditunjuk bekerja pada Badan Hukum tertentu yang bergerak dibidang konsultan paten maka sebutkan nama Badan Hukum yang bersangkutan.
- 4) Jika lebih dari ruang yang disediakan agar ditulis pada lampiran tambahan.
- 5) Berilah tanda silang pada jenis dokumen yang saudara lampirkan.
- 6) Jika permohonan paten diajukan oleh :
 - Lebih dari satu orang, maka setiap orang ditunjuk oleh kelompok/group
 - Konsultan Paten maka berhak menandatangani adalah konsultan yang terdaftar di Kantor Paten.

*) Coret yang tidak sesuai.

**Formulir Permintaan
Pemeriksaan Substantif Paten**

Diisi oleh petugas
 Tanggal pengajuan :

Dengan ini saya/kami ¹⁾ :

(71) Nama : POLITEKNIK NEGERI BALI
 Alamat ²⁾ : KAMPUS POLITEKNIK NEGERI BALI,
 BUKIT JIMBARAN, BADUNG-BALI 80364
 Warga Negara : INDONESIA
 Email : poltek@pnb.ac.id
 Telepon : 0361-701981
 NPWP (jika ada) : 00.243.575.8-905.000

yang telah mengajukan permintaan paten
 sendiri/melalui Konsultan Paten :

(74) Nama Konsultan Paten : - []
 Nomor Konsultan Paten : - []
 Email : -
 Telepon : -

dengan :

(65) Nomor Permintaan Paten : []
 (45) Tanggal penerimaan
 permintaan paten : []
 (54) Judul Inovasi : []
**BAHAN PERUBAHAN FASA (Bio-PCM) CAMPURAN AIR DAN
 ESTER MINYAK JAGUNG SEBAGAI PENYIMPAN ENERGI
 TERMAL UNTUK APLIKASI SISTEM REFRIGERASI
 TEMPERATUR PENYIMPANAN DI BAWAH 0°C**

mengajukan permintaan pemeriksaan substantif untuk
 permintaan paten tersebut di atas.

[]

bersama ini, saya/kami sampaikan :

[] biaya pemeriksaan substantif paten sebesar Rp. []
 (.....)
 [] biaya klaim yang belum dibayar buah @ Rp. []
 sejumlah Rp.
 (.....)
 [] kekurangan-kekurangan lain yang rincian ringkasnya tersebut []
 dalam lampiran formulir ini.

Yang mengajukan permintaan



Handwritten signature

(Nyoman Abdi, S.E., M.eCom)⁶⁾
NIP. 196512211990031003

SURAT PERNYATAAN KEPEMILIKAN INVENSI (OLEH INVENTOR)

Yang bertanda tangan di bawah ini :

No.	Nama Inventor	Alamat Lengkap, (email jika ada) dan Kewarganegaraan
1.	I Nyoman Suamir	Balangan Pratama Residence, Jln. Balangan Hijau VIII, no. 18, Bukit Jimbaran, Kuta Selatan, Badung, Bali e-mail: nyomansuamir@pnb.ac.id Kewarganegaraan: Indonesia
2.	I Made Rasta	Br. Baha, Desa Baha, Mengwi, Badung, Bali e-mail: maderasta@pnb.ac.id Kewarganegaraan: Indonesia
3.	I Dewa Made Cipta Santosa	Perumahan Wahyu Muding Asri No.9, Muding Tengah, Kerobokan Kaja, Kuta Utara, Badung Bali 80361/ e-mail: idmcsantosa@pnb.ac.id Kewarganegaraan: Indonesia
4.	Sudirman-	Jl. Anggrek 26B Dauh Peken-Tabanan-Bali e-mail : dirmansdr@pnb.ac.id Kewarganegaraan : Indonesia

Dengan ini kami/saya menyatakan bahwa, Invenisi yang berjudul:

BAHAN PERUBAHAN FASA (Bio-PCM) CAMPURAN AIR DAN ESTER MINYAK JAGUNG SEBAGAI PENYIMPAN ENERGI TERMAL UNTUK APLIKASI SISTEM REFRIGERASI TEMPERATUR PENYIMPANAN DI BAWAH 0°C adalah milik saya/kami dan tidak meniru atau menggunakan Invenisi orang lain (sebelum invenisi tersebut dipindahkan ke pihak lain, jika pemohon bukan inventor).

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.



Badung, 28 Februari 2019

Inventor

1. I Nyoman Suamir

2. I Made Rasta

3. I Dewa Made Cipta Santosa

4. Sudirman



KEMENTERIAN HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA
REPUBLIK INDONESIA
DIREKTORAT JENDERAL KEKAYAAN INTELEKTUAL
Jl. HR. Rasuna Said kav 8-9 Kuningan, Jakarta Selatan, 12940
Telepon: (021) 57905611 Faksimili: (021) 57905611
Laman: <http://www.dgip.go.id> Surel: permohonan.paten@dgip.go.id

Nomor : HKI.3-KI.05.01.02.P00202010143

04 Januari 2021

Sifat : Biasa

Lampiran : 1 (satu) Berkas

Hal : Pemberitahuan Persyaratan Formalitas Telah Dipenuhi

Yth. I Nyoman Suamir

Balangan Pratama Residence, Jln. Balangan Hijau VIII, no. 18, Bukit Jimbaran, Kuta Selatan, Badung, Bali

Dengan ini diberitahukan bahwa Permohonan Paten :

- Tanggal Pengajuan : 17 Desember 2020
- (21) Nomor Permohonan : P00202010143
- (71) Pemohon : Politeknik Negeri Bali
- (54) Judul Inovasi : BAHAN PERUBAHAN FASA (Bio-PCM) CAMPURAN AIR DAN ESTER MINYAK JAGUNG SEBAGAI PENYIMPAN ENERGI TERMAL UNTUK APLIKASI SISTEM REFRIGERASI TEMPERATUR PENYIMPANAN DI BAWAH 0°C
- (30) Data Prioritas :
- (74) Konsultan HKI :
- (22) Tanggal Penerimaan : 17 Desember 2020

Telah melewati tahap pemeriksaan formalitas dan semua persyaratan formalitas telah dipenuhi. Untuk itu akan dilakukan :

1. Pengumuman, segera 7 (tujuh) hari setelah 18 (delapan belas) bulan sejak tanggal penerimaan atau tanggal prioritas dalam hal Paten Biasa (Pasal 46 UU No 13 Tahun 2016); atau segera 7 (tujuh) hari setelah 3 bulan sejak tanggal penerimaan atau tanggal prioritas, dalam hal Paten Sederhana (Pasal 123 UU No 13 Tahun 2016).
2. Pemeriksaan Substantif segera setelah masa publikasi selesai dan pemohon telah mengajukan permohonan pemeriksaan substantif (Pasal 51 UU No 13 Tahun 2016).

Selain itu hal-hal yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut :

1. Permohonan pemeriksaan substantif diajukan selambat-lambatnya 36 (tiga puluh enam) bulan sejak tanggal penerimaan untuk permohonan paten biasa dan selambat-lambatnya 6 (enam) bulan sejak tanggal penerimaan untuk permohonan paten sederhana, dengan disertai biaya sesuai yang tercantum pada PP No. 28 Tahun 2019
2. Tidak diajukan permohonan pemeriksaan substantif dalam jangka waktu yang ditentukan tersebut mengakibatkan permohonan paten ini dianggap ditarik kembali
3. Harap melakukan pembayaran kelebihan 0 buah klaim (@75.000) sebesar Rp. 0
4. Pembayaran tambahan biaya akibat kelebihan jumlah klaim, dilakukan selambat-lambatnya pada saat pengajuan pemeriksaan substantif. Apabila tambahan biaya tidak dibayarkan dalam jangka waktu sebagaimana dimaksud maka kelebihan jumlah klaim dianggap ditarik kembali (Pasal 18 ayat 4 Permenkumham no 38 tahun 2018)
5. Jumlah halaman deskripsi yang terbayar halaman (Bila halaman deskripsi lebih dari 30)

Catatan :



a.n Direktur Paten, Desain Tata Letak Sirkuit Terpadu dan Rahasia Dagang
Kasubdit Permohonan dan Publikasi

Stephanie Valentina Yuyu Kano, S.H., M.H.
NIP. 196411081991032002

Tembusan:
Direktur Jenderal Kekayaan Intelektual.



KEMENTERIAN HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA
REPUBLIK INDONESIA
DIREKTORAT JENDERAL KEKAYAAN INTELEKTUAL
Jl. HR. Rasuna Said kav 8-9 Kuningan, Jakarta Selatan, 12940
Telepon: (021) 57905611 Faksimili: (021) 57905611
Laman: <http://www.dgip.go.id> Surel: permohonan.paten@dgip.go.id

BIBLIOGRAFI

- (54) Judul Invensi : BAHAN PERUBAHAN FASA (Bio-PCM) CAMPURAN AIR DAN ESTER MINYAK JAGUNG SEBAGAI PENYIMPAN ENERGI TERMAL UNTUK APLIKASI SISTEM REFRIGERASI TEMPERATUR PENYIMPANAN DI BAWAH 0°C
- (51) Klarifikasi (IPC) :
- (21) Nomor Permohonan : P00202010143
- (22) Tanggal Penerimaan : 17 Desember 2020
- (71) Yang mengajukan Permohonan : Politeknik Negeri Bali Paten
- (72) Inventor : 1. I Nyoman Suamir
2. I Made Rasta
3. I Dewa Made Cipta Santosa
4. Sudirman
- (74) Konsultan HKI :
- (30) Data Prioritas :
- Agar Diumumkan setelah :
tanggal
- No, Gambar yang menyertai :
abstrak pada saat
pengumuman

Dokumen pendukung luaran Tambahan #4

Luaran dijanjikan: Purwarupa/Prototipe

Target: penerapan

Dicapai: Produk

Dokumen wajib diunggah:

1. Deskripsi dan spesifikasi purwarupa
2. Hasil uji coba purwarupa terakhir
3. Dokumentasi (foto) pengujian purwarupa

Dokumen sudah diunggah:

1. Dokumentasi (foto) pengujian purwarupa
2. Deskripsi dan spesifikasi purwarupa
3. Hasil uji coba purwarupa terakhir

Dokumen belum diunggah:

-

Nama Purwarupa/Prototipe: Bio-PCM Freezer

Pemegang Purwarupa/Prototipe: I Nyoman Suamir; I Made Rasta

Tgl Awal Periode Uji: 16 November 2020

Tgl Akhir Periode Uji: 27 November 2020

Link Video Dokumentasi Pengujian: <https://youtu.be/IZH649pQ2yY>

**DESKRIPSI PURWA RUPA
BIO-PCM FREEZER**

**Sebagai Bagian Integral
Laporan Penelitian Multi Tahun**

**PENELITIAN TERAPAN
(PENELITIAN STRATEGIS NASIONAL-PSN)**

**PENGEMBANGAN COLD STORAGE TENAGA SURYA UNTUK
MENINGKATKAN KAPASITAS DAN KUALITAS PRODUKSI
PERIKANAN NASIONAL**

Tahun ke 3 dari rencana 3 tahun program penelitian

Tim Peneliti

I Nyoman Suamir, ST, MSc, PhD (Ketua)
NIDN: 0025036514

Sudirman, ST, MT (Anggota 1)
NIDN: 0013036704

I Nengah Ardita, ST, MT (Anggota 2)
NIDN: 0030116406

Dr. Gede Santanu, SE, MM (Anggota 3)
NIDN: 0024076006

Dibiayai oleh:

Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat
Kementerian Riset dan Teknologi / Badan Riset dan Inovasi Nasional
Sesuai dengan Amandemen Kontrak Penelitian
Nomor: 133/SP2H/AMD/LT/DRPM/2020
SP DIPA - 042.06.1.401516/2020 tanggal 12 November 2019

**POLITEKNIK NEGERI BALI
November 2020**

KATA PENGANTAR

Pengujian penerapan bio-PCM pada aplikasi mini cold storage dalam hal ini digunakan Chest Freezer dengan volume 220 liter bertujuan untuk menguji pengaruh dari penggunaan Bio-PCM yang telah ditemukan pada penelitian sebelumnya dan diperdalam pada penelitian ini pada tahun pertama dan kedua. Pengujian pada mini cold storage dilakukan sebelum pada aplikasi sebenarnya pada Cold Storage Tenaga Surya dengan volume 7 m³ (7000 liter) memberikan fleksibilitas di dalam melakukan metode penerapan dan penempatan Bio-PCM serta pengaturan temperatur operasi kerja sesuai dengan level temperatur Bio-PCM yang digunakan. Penggunaan Bio-PCM juga bisa fleksibel dalam melakukan perubahan jumlah massa Bio-PCM yang diterapkan pada Cold Storage.

Dari pengujian awal ini, dapat ditemukan teknik penempatan bio-PCM yang efektif, temperatur phase change untuk mendapatkan temperatur produk yang diinginkan, jumlah Bio-PCM yang digunakan menurut kapasitas cold storage, temperatur kerja yang optimum serta penghematan energi yang dihasilkan.

Hasil temuan ini akan dapat dengan mudah diaplikasikan pada Cold Storage Tenaga Surya dengan kapasitas yang jauh lebih besar. Tahapan pengujian ini diambil untuk mengantisipasi terbatasnya waktu yang bisa dimanfaatkan untuk melakukan penelitian langsung di kampus pada musim **Pandemi Covid-19**. Disamping itu hasil temuan ini akan memberikan kemudahan dan efektifitas kegiatan penelitian dalam melakukan penerapan bio-PCM pada Cold Storage tenaga surya mengingat terbatasnya waktu penelitian akibat anjuran untuk membatasi kegiatan off-line di Laboratorium pada tahun 2020 dan adanya kebijakan lock-down Politeknik Negeri Bali pada awal 2021 sebagai akibat meluasnya civitas akdemika yang **terpapar Covid-19**. Semoga pandemi Covid-19 cepat berlalu sehingga kegiatan penelitian dalam bentuk eksperimen dapat dilakukan dengan lebih leluasa di dalam laboratorium.

BIO-PCM FREEZER

Deskripsi Pembuatan Bio-PCM Freezer

Mini Cold Storage yang digunakan dalam pengujian penerapan Bio-PCM berupa *chest freezer* kapasitas 220 liter. Chest Freezer dilakukan pengujian kinerja temperatur dan energi tanpa Bio-PCM selanjutnya dilakukan modifikasi penambahan Bio-PCM dan diuji juga kinerja temperature dan energinya termasuk jumlah siklus on-off dari operasional chest freezer.

Chest Freezer tanpa Bio-PCM

Mini cold storage yang digunakan pada pengujian ini yaitu jenis *chest freezer* yang berkapasitas 220 liter. Adapun foto lengkap dengan spesifikasi dari *chest freezer* disajikan pada Gambar 1.



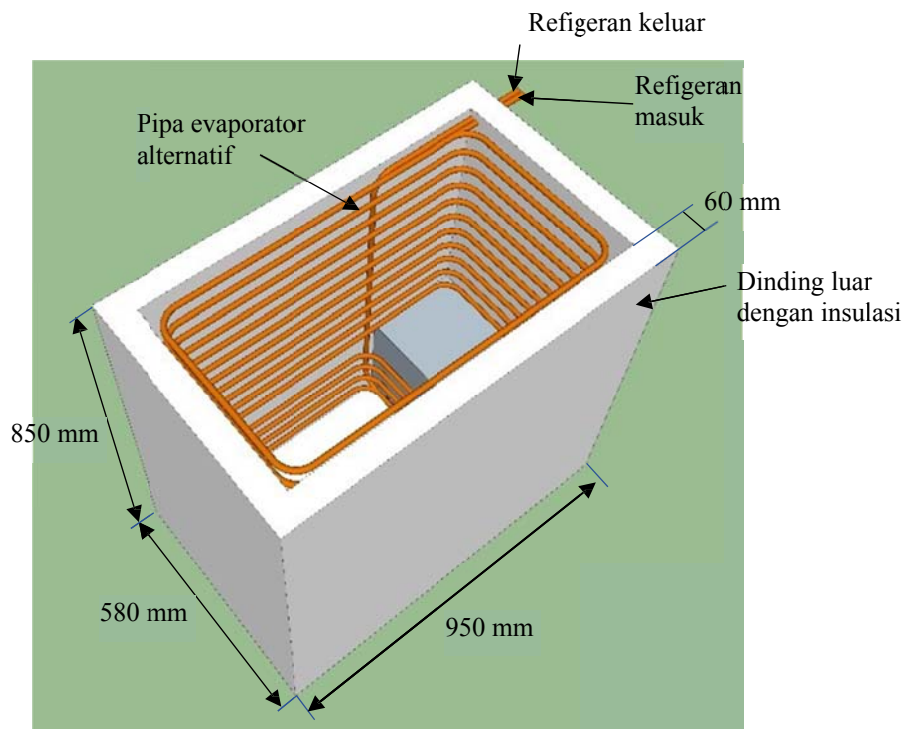
No	Parameter	Data
1	Merek Barang	RSA
2	Model	CF-220
3	Volume	220 L
4	Arus	0,74 A
5	Voltase/Frekuensi	220 V/1P/50Hz
6	Suhu	-15 ~ -20 °C
7	Kelas Iklim	T (Tropicalized)
8	Nama/Massa Refrigeran	R-600a/42 gram
9	Insulasi	Cyclopentane 34 kg
10	Berat bersih	34 kg
11	Negara pembuat	Cina

Gambar 1 *Chest freezer* kapasitas 220 liter lengkap dengan spesifikasinya

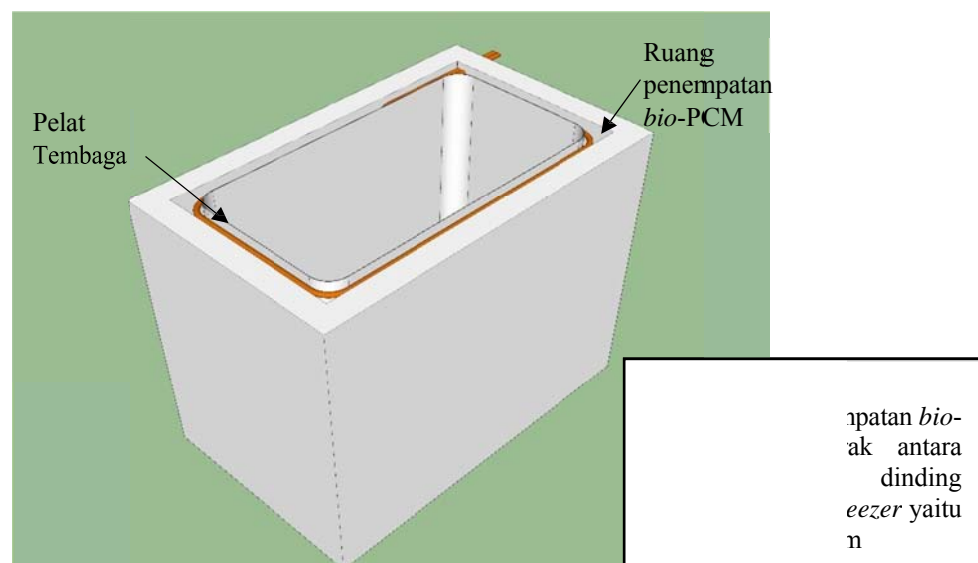
Modifikasi Chest Freezer dengan Bio-PCM

Modifikasi dilakukan untuk dapat mengintegrasikan Bio-PCM secara akurat dengan jumlah yang cukup untuk dapat menghasilkan kinerja temperatur yang berada pada rentang temperatur freezer tanpa bio-PCM dan kinerja energi dengan penghematan yang optimal. Dilakukan kajian komparasi kinerja dari *chest freezer* kapasitas 220 liter tanpa menggunakan *bio-PCM* dan dengan menggunakan *bio-PCM* dan pada akhirnya juga membandingkan konsumsi energi dari *chest freezer* kapasitas 220 liter tanpa menggunakan *bio-PCM* dan dengan menggunakan *bio-PCM*. Modifikasi dari chest freezer dan penempatan Bio-

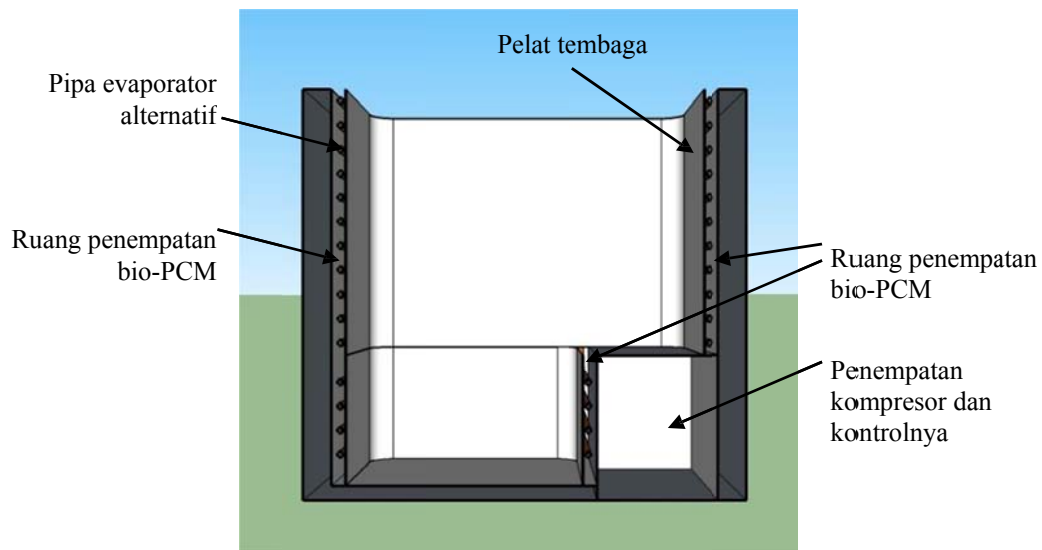
PCM dapat dilihat pada Gambar 2 sampai dengan Gambar 4. Dari Gambar tersebut dapat diketahui bahwa Bio-PCM ditempatkan pada sebuah wadah dengan bahan dari tembaga yang menyelubungi ruang freezer. Pada pengujian ini evaporator baru yang ditempelkan pada wadah bio-PCM tidak digunakan. Jadi masih menggunakan evaporator yang asli. Dengan demikian BIO-PCM benar-benar menyentuh dinding evaporator.



Gambar 2 Box chest freezer yang sudah dimodifikasi evaporatornya



Gambar 3 Box chest freezer yang sudah dimodifikasi dengan tambahan wadah Bio-PCM



Gambar 4 Gambar potongan dari chest freezer yang sudah dimodifikasi

Bio-PCM

Jenis PCM yang digunakan pada pengujian ini adalah jenis PCM organic yaitu campuran air dengan ester minyak jagung (corn oil ester) dengan komposisi 20- 25% corn oil ester. Material dengan campuran air ini telah diinvestigasi untuk pengembangan PCM sebagai penyimpan energi thermal yang dapat diaplikasikan untuk sistem refrigerasi temperatur di bawah 0 °C. Hasil penelitian sebelumnya dan diperkuat dengan hasil penelitian tahun 1 dan 2 juga menemukan bahwa Bio-PCM yang dimaksud memiliki minimum atau bahkan tidak ada derajat supercooling. Selain itu campuran corn oil ester dengan air menawarkan suplai yang berkelanjutan dan lebih murah dibandingkan dengan fatty acid ester yang telah digunakan untuk aplikasi temperatur di bawah 0 °C. Corn oil ester memiliki sifat tidak korosif dan tidak beracun.

Instrumen Pengujian

Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan instrumen atau alat ukur yang sesuai dengan data yang diambil. Alat ukur yang digunakan di antaranya, sebagai berikut:

1. *Thermocouple*, dalam pengujian ini alat ukur yang dimaksud yaitu untuk mendapatkan temperatur refrigerant pada masing-masing titik yang ditentukan.
2. Power meter, pada pengujian ini alat ukur berfungsi untuk mendapatkan data kuat arus listrik, tegangan listrik dan daya yang dikonsumsi kompresor pada *chest freezer* yang digunakan.

3. Data logger, pada pengujian ini alat yang dimaksud digunakan untuk menampilkan dan merekam hasil pengukuran temperatur refrigeran, Bio-PCM dan produk yang diukur menggunakan sensor *thermocouple* tipe K.

Prosedur Pengujian

Adapun langkah-langkah atau prosedur yang dilakukan dalam melaksanakan pengujian ini, sebagai berikut:

1. Mempersiapkan alat dan bahan untuk pengujian: *Chest freezer* kapasitas 220 liter; Alat ukur yang berupa *thermocouple*, power meter dan data logger; Produk yang diuji berupa air dengan volume 20 liter.
2. Menempatkan alat ukur pada *chest freezer* tanpa menggunakan *bio-PCM* dan dengan menggunakan *bio-PCM* sesuai dengan data yang dicari.
3. Melakukan pengujian pada *chest freezer* tanpa menggunakan *bio-PCM* dan dengan menggunakan *bio-PCM* (*chest freezer* dihidupkan hingga mencapai temperatur kerja).
4. Mencatat data hasil pengujian pada tabel.
5. Melakukan perhitungan *coefficient of performance* (COP) untuk *chest freezer* tanpa menggunakan *bio-PCM* dan dengan menggunakan *bio-PCM* menggunakan persamaan 2.3 berdasarkan data yang telah diambil.
6. Melakukan perhitungan konsumsi energi *chest freezer* tanpa menggunakan *bio-PCM* dan dengan menggunakan *bio-PCM* menggunakan persamaan 2.5 berdasarkan data yang telah diambil.
7. Membandingkan performansi *chest freezer* tanpa menggunakan *bio-PCM* dan dengan menggunakan *bio-PCM*.
8. Membandingkan konsumsi energi *chest freezer* tanpa menggunakan *bio-PCM* dan dengan menggunakan *bio-PCM*.
9. Menganalisa dari hasil dan pembahasan.

Konsumsi Daya Kompresor

Pada pengambilan data daya kompresor menggunakan alat power meter dengan penempatan seperti Gambar 5.

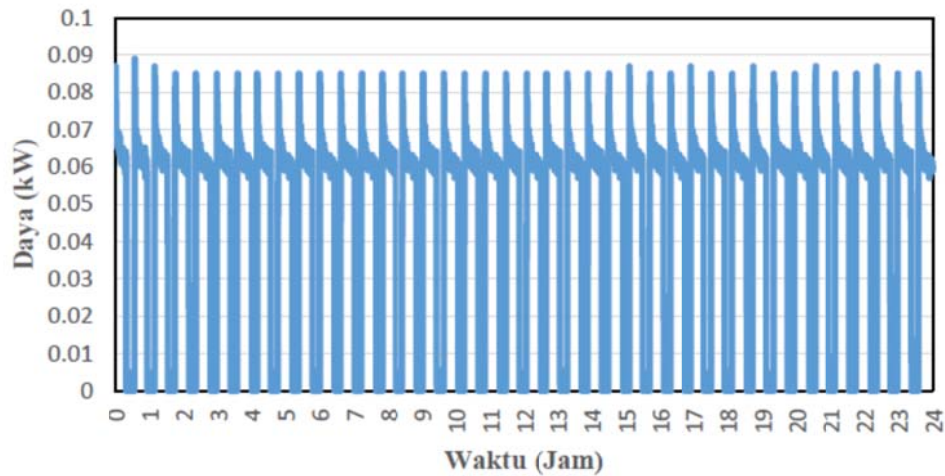


Gambar 5 Pengukuran daya kompresor

Pada Gambar 2.5 diilustrasikan pengukuran dan penyimpanan data hasil pengukuran daya kompresor dengan menggunakan power analyzer. Power analyzer dilengkapi dengan probe untuk pengukuran tegangan listrik dan arus listrik yang masuk kompresor. Pada display dari power analyser dapat dimonitor hasil pengukuran selain tegangan listrik dan arus listrik juga daya yang dikonsumsi kompresor dan frekuensi listrik. Pengukuran dilakukan selama 24 jam dengan interval waktu perekaman data dalam 10 detik.

Daya kompresor tanpa bio-PCM

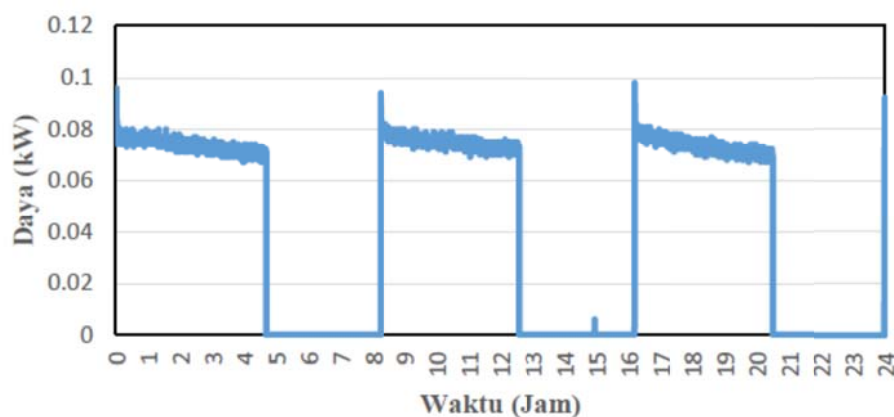
Dalam pengujian *chest freezer* tanpa *bio-PCM* yang dilakukan selama 24 jam didapat jumlah siklus *on-off* yang terjadi pada kompresor sebanyak 39,5 siklus. Selama 24 jam, *on-time* dari kompresor lebih panjang dibandingkan *off-time*, dimana total *on-time* dari kompresor yaitu selama 16,28 jam dan total *off-time* selama 7,72 jam dengan rata-rata daya yang dikonsumsi oleh kompresor yaitu sebesar 0,064 kW atau 64 W. Grafik dari daya kompresor tanpa Bio-PCM ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Grafik daya kompresor dari *chest freezer* tanpa *bio-PCM*

Daya kompresor dengan bio-PCM pada setting termostat -23 °C sampai dengan -27 °C

Dalam pengujian *chest freezer* dengan *bio-PCM* pada *setting* termostat -23 sampai dengan -27 °C yang dilakukan selama 24 jam didapat jumlah siklus *on-off* yang terjadi pada kompresor sebanyak 3 siklus. Selama 24 jam *on-time* dari kompresor masih lebih panjang dibandingkan dengan *off-timanya*, dimana total *on-time* dari kompresor yaitu selama 13,35 jam dan total *off-time* 10,65 jam dengan rata-rata daya yang dikonsumsi oleh kompresor yaitu sebesar 0,074 kW atau 74 W. Grafik dari daya kompresor ditampilkan pada Gambar 7.

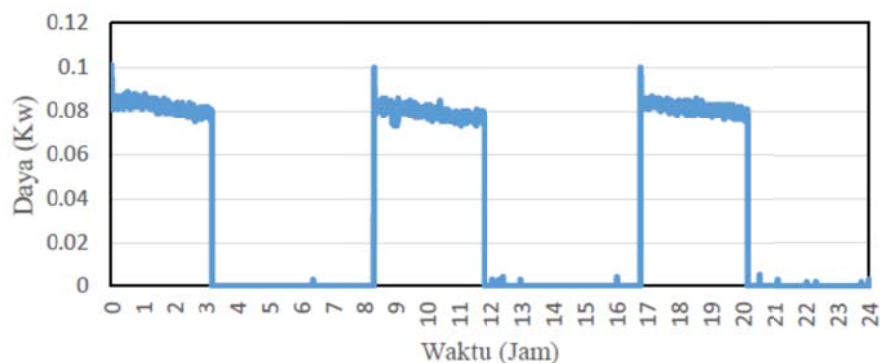


Gambar 7 Grafik daya kompresor dari *chest freezer* dengan *bio-PCM* pada *setting* termostat -23 °C sampai dengan -27 °C

Daya dengan bio-PCM pada setting termostat -18 °C sampai dengan -22 °C

Dalam pengujian *chest freezer* dengan *bio-PCM* pada *setting* termostat -18 °C sampai

dengan $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ yang dilakukan selama 24 jam didapat jumlah siklus *on-off* yang terjadi pada kompresor sebanyak 2,5 siklus. Dalam 24 jam, *on-time* dari kompresor menjadi lebih pendek dibandingkan dengan *off-time* dari kompresor, dimana total *on-time* dari kompresor yaitu selama 10,07 jam dan total *off-time* yaitu selama 13,93 jam dengan rata-rata daya yang dikonsumsi oleh kompresor yaitu sebesar 0,081 kW atau 81 W. Grafik dari daya kompresor ditampilkan pada Gambar 8.



Gambar 8 Grafik daya kompresor dari *chest freezer* dengan *bio-PCM* pada *setting* termostat $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai dengan $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$

Dari hasil pengujian ini juga ditemukan bahwa *Bio-PCM* dapat menurunkan jumlah siklus *on-off* dari kompresor. Penurunan jumlah siklus *on-off* sangat signifikan dari 39,5 menjadi hanya siklus. Dengan pengaturan termostat penurunan siklus lebih dapat dioptimalkan sampai menjadi 2,5 siklus per hari. Penurunan jumlah siklus *on-off* secara signifikan akan meringankan beban kerja kompresor yang akan lebih diperdalam analisisnya pada pembahasan konsumsi energi dari *chest freezer*. Di samping itu *Bio-PCM* juga dapat mengubah lama waktu “on” dan “off” dari *chest freezer*. Pada setting thermostat yang optimum dengan integrasi *Bio-PCM* pada *chest freezer* ditemukan ada perubahan waktu “on” dan “off” yang sangat signifikan seperti yang disajikan pada Tabel 1. Dapat dilihat dengan jelas bahwa dengan menggunakan *Bio-PCM*, waktu mati “off” dari *chest freezer* dapat lebih lama dibandingkan dengan lam waktu hidupnya “on”. Hal ini berpengaruh sangat signifikan terhadap konsumsi energi.

Tabel 1 Perbandingan lama waktu hidup “On” dan mati “Off” dari kompresor *chest freezer*

	Lama waktu hidup “On” (jam)	Lama waktu mati “Off” (jam)	Temperatur produk ($^{\circ}\text{C}$)
Freezer tanpa <i>Bio-PCM</i>	16,3	7,7	-19 s.d. -22
Freezer dengan <i>Bio-PCM</i>	10,1	13,9	-18 s.d. -21

Catatan: Setting thermostat $-18\text{ s.d. }-22\text{ }^{\circ}\text{C}$; waktu pengukuran dalam 24 jam

Konsumsi Energi

Setelah mendapat data dari daya yang dikonsumsi kompresor dan total *on-time* dari kompresor dapat dihitung konsumsi energi dari *chest freezer* tanpa *bio-PCM* dan dengan *bio-PCM*. Pada Tabel 2 disajikan perbandingan konsumsi energi chest freezer tanpa dan dengan *bio-PCM*. Ditemukan bahwa dengan integrasi *Bio-PCM* pada freezer dapat memberikan penghematan energi mencapai 21,7% walaupun konsumsi daya sesaatnya lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh karena lama waktu hidupnya freezer jauh lebih rendah.

Tabel 2 Perbandingan konsumsi energi freezer tanpa dan dengan *Bio-PCM*

	Daya rata-rata (Watt)	Lama waktu hidup "On" (jam)	Konsumsi energi dalam 24 jam (kWh)	Penghematan energi (%)
Freezer tanpa <i>Bio-PCM</i>	64	16,3	1,041	-
Freezer dengan <i>Bio-PCM</i>	81	10,1	0,815	21,7

**HASIL PENGUJIAN PURWA RUPA
BIO-PCM FREEZER**

**Sebagai Bagian Integral
Laporan Penelitian Multi Tahun**

**PENELITIAN TERAPAN
(PENELITIAN STRATEGIS NASIONAL-PSN)**

**PENGEMBANGAN COLD STORAGE TENAGA SURYA UNTUK
MENINGKATKAN KAPASITAS DAN KUALITAS PRODUKSI
PERIKANAN NASIONAL**

Tahun ke 3 dari rencana 3 tahun program penelitian

Tim Peneliti

I Nyoman Suamir, ST, MSc, PhD (Ketua)

NIDN: 0025036514

Sudirman, ST, MT (Anggota 1)

NIDN: 0013036704

I Nengah Ardita, ST, MT (Anggota 2)

NIDN: 0030116406

Dr. Gede Santanu, SE, MM (Anggota 3)

NIDN: 0024076006

Dibiayai oleh:

Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat
Kementerian Riset dan Teknologi / Badan Riset dan Inovasi Nasional

Sesuai dengan Amandemen Kontrak Penelitian

Nomor: 133/SP2H/AMD/LT/DRPM/2020

SP DIPA - 042.06.1.401516/2020 tanggal 12 November 2019

POLITEKNIK NEGERI BALI

November 2020

KATA PENGANTAR

Pengujian penerapan bio-PCM pada aplikasi mini cold storage dalam hal ini digunakan Chest Freezer dengan volume 220 liter bertujuan untuk menguji pengaruh dari penggunaan Bio-PCM yang telah ditemukan pada penelitian sebelumnya dan diperdalam pada penelitian ini pada tahun pertama dan kedua. Pengujian pada mini cold storage dilakukan sebelum pada aplikasi sebenarnya pada Cold Storage Tenaga Surya dengan volume 7 m³ (7000 liter) memberikan fleksibilitas di dalam melakukan metode penerapan dan penempatan Bio-PCM serta pengaturan temperatur operasi kerja sesuai dengan level temperatur Bio-PCM yang digunakan. Penggunaan Bio-PCM juga bisa fleksibel dalam melakukan perubahan jumlah massa Bio-PCM yang diterapkan pada Cold Storage.

Dari pengujian awal ini, dapat ditemukan teknik penempatan bio-PCM yang efektif, temperatur phase change untuk mendapatkan temperatur produk yang diinginkan, jumlah Bio-PCM yang digunakan menurut kapasitas cold storage, temperatur kerja yang optimum serta penghematan energi yang dihasilkan.

Hasil temuan ini akan dapat dengan mudah diaplikasikan pada Cold Storage Tenaga Surya dengan kapasitas yang jauh lebih besar. Tahapan pengujian ini diambil untuk mengantisipasi terbatasnya waktu yang bisa dimanfaatkan untuk melakukan penelitian langsung di kampus pada musim **Pandemi Covid-19**. Disamping itu hasil temuan ini akan memberikan kemudahan dan efektifitas kegiatan penelitian dalam melakukan penerapan bio-PCM pada Cold Storage tenaga surya mengingat terbatasnya waktu penelitian akibat anjuran untuk membatasi kegiatan off-line di Laboratorium pada tahun 2020 dan adanya kebijakan lock-down Politeknik Negeri Bali pada awal 2021 sebagai akibat meluasnya civitas akdemika yang **terpapar Covid-19**. Semoga pandemi Covid-19 cepat berlalu sehingga kegiatan penelitian dalam bentuk eksperimen dapat dilakukan dengan lebih leluasa di dalam laboratorium.

HASIL PENGUJIAN

Hasil Pengujian

Dalam pengujian ini, pengujian pada *chest freezer* dilakukan secara bertahap. Mulai dari, pengujian pada *chest freezer* tanpa *bio-PCM*, lalu pengujian pada *chest freezer* dengan *bio-PCM*. Freezer tanpa *bio-PCM* disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1 Kabin *chest freezer* yang standar

Pengujian *chest freezer* dengan *bio-PCM* dilakukan dengan dua *setting* termostat. *Setting* termostat ini dilakukan untuk mengontrol hidup mati (*on-off*) kompresor. Pada *setting* pertama termostat di-*setting* agar sama dengan *chest freezer* tanpa *bio-PCM* yaitu kompresor mati saat temperatur kabin mencapai $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan hidup kembali saat temperatur kabin mencapai $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$. Untuk *setting* yang ke dua termostat di-*setting* agar kompresor mati saat temperatur kabin mencapai $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan hidup kembali saat temperatur kabin mencapai $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Penambahan *bio-PCM*

Penempatan *Bio-PCM* di dalam freezer merupakan salah satu parameter yang penting untuk dipertimbangkan dalam mengintegrasikan *Bio-PCM* dengan chest Freezer. Pada pengujian ini *bio-PCM* ditempatkan di antara evaporator dan kabin dengan cara dituangkan pada ruang antara pelat tembaga tambahan dan evaporator. Dapat disimpulkan *Bio-*

PCM ditempatkan di antara evaporator dan produk yang didinginkan seperti yang disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2 Kabin *chest freezer* dari plat tembaga

Bio-PCM yang digunakan dalam pengujian ini yaitu campuran air dengan ester minyak jagung (corn oil easter) dengan komposisi 75% air dan 25% ester minyak jagung (corn oil easter). Komposisi ini dipilih agar bio-PCM membeku pada tmperatur $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Proses pembuatan Bio-PCM sangat mudah tinggal mencampurkan kedua bahan baku dan kemudian diauk agar campuran homogen. Karen ester minyak jagung terlarut sempurna di dalam air proses pengadukan juga dilakukan dengan metode sederhana seperti yang disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3 Proses pembuatan *bio-PCM*

Kabin chest freezer yang tanpa bio-PCM pada Gambar 1 dimasukan kotak yang terbuat dari plat tembaga sehingga terlihat seperti pada Gambar 2. Kotak ini akan menjadi kabin chest freezer atau tempat untuk produk. Dari kabin chest freezer yang standar tanpa

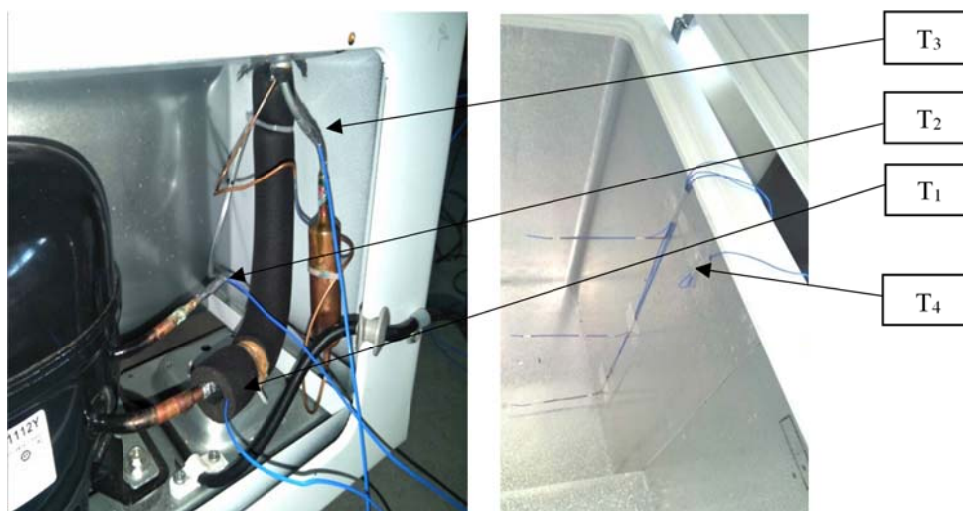
Bio-PCM dengan kotak tembaga memiliki jarak 20 mm. Dengan memberikan celah 20 mm tersebut tempat produk berkurang sebanyak 29,2 liter atau 14,9%. Pada ruang tersebut bio-PCM dituangkan sebanyak 20 liter seperti pada Gambar 4.



Gambar 4 Proses penuangan *bio*-PCM

Hasil Pengujian Temperatur Refrigeran

Pada pengambilan data temperatur refrigeran pada system refrigerasi chest freezer pada masing-masing titik pengukura dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Penempatan *thermocouple* pada sistem refrigerasi

Pada Gambar 5 terlihat penempatan thermocouple pada sistem refrigerasi chest freezer. Untuk T_1 diukur pada pipa hisap (suction) kompresor, T_2 diukur pada pipa ke luar (discharge) kompresor, T_3 diukur pada pipa ke luar kondensor, dan T_4 diukur pada pipa masuk evaporator. Hasil dari pengukuran ini ditampilkan dan disimpan pada data *logger* seperti pada Gambar 6. Untuk mengukur temperatur kondensasi (T_{cond}) dapat diestimasi melalui pengukuran temperature refrigerant keluar kondensor yang diukur pada *body* dari *chest freezer* menggunakan *thermal image camera* seperti pada Gambar 7. Pendekatan ini dilakukan karena posisi kondensor yang berada di dalam *body* dari *chest freezer* dimana sangat tidak memungkinkan untuk mengukurnya menggunakan *thermocouple*.



Gambar 6 Penampilan hasil pengukuran temperatur refrigerant

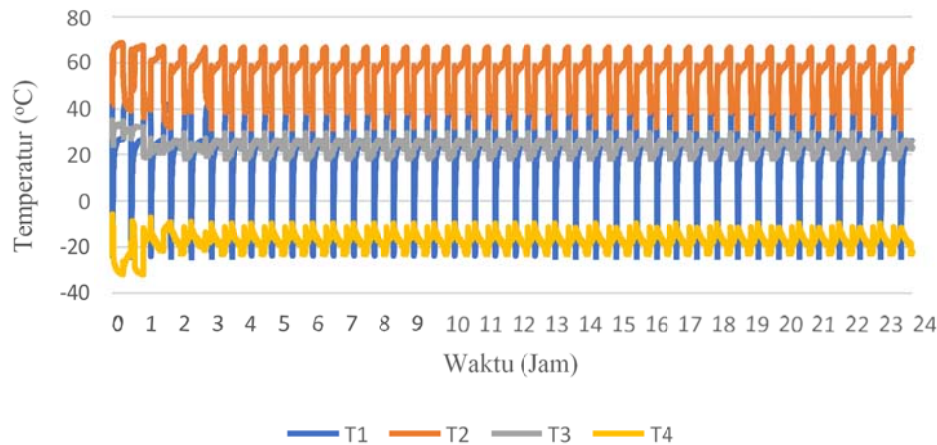


Gambar 7 Pengukuran tempertaer kondensasi thermal image camera

Temperatur refrigeran tanpa bio-PCM

Pengambilan data temperatur refrigerant pada *chest freezer* tanpa *bio-PCM* dilakukan selama 24 jam. Pengambilan data temperatur refrigeran digunakan untuk

mengetahui performansi dari *chest freezer* tanpa *bio-PCM*. Untuk mencari performansi dari *chest freezer* tanpa *bio-PCM* diperlukan rata-rata dari temperatur refrigeran dari masing-masing titik pengukuran. Pada Gambar 8 diperlihatkan grafik dari temperatur refrigeran.



Gambar 8 Grafik temperatur refrigeran dari *chest freezer* tanpa *bio-PCM*

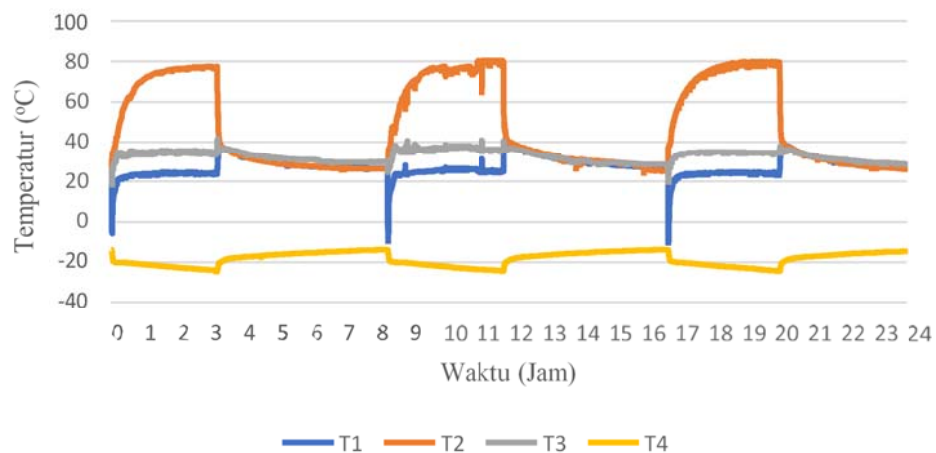
Rata-rata dari temperatur refrigeran dari masing-masing titik hanya diambil pada satu siklus saja pada saat sistem berjalan dan yang dirata-ratakan temperatur refrigeran yang stabil saja, jadi didapat temperatur refrigeran pada T_1 sebesar $25,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, T_2 sebesar $66,97\text{ }^{\circ}\text{C}$, T_3 sebesar $32,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan T_4 sebesar $-30,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Setelah dilakukan analisis dengan software EES diperoleh COP (Coefficient of Performance) atau kinerja energinya mencapai 1,99.

Dalam pengujian ini pengambilan data temperatur refrigeran, T_1 mendapat imbas temperatur kompresor saat sistem refrigerasi sedang berjalan maupun berhenti sehingga temperatur refrigeran pada T_1 sangat tinggi dan saat sistem berhenti temperatur refrigerant pada T_1 naik, hal ini terjadi karena penempatan *thermocouple* pada T_1 sangat dekat dengan kompresor.

Temperatur refrigeran dengan bio-PCM

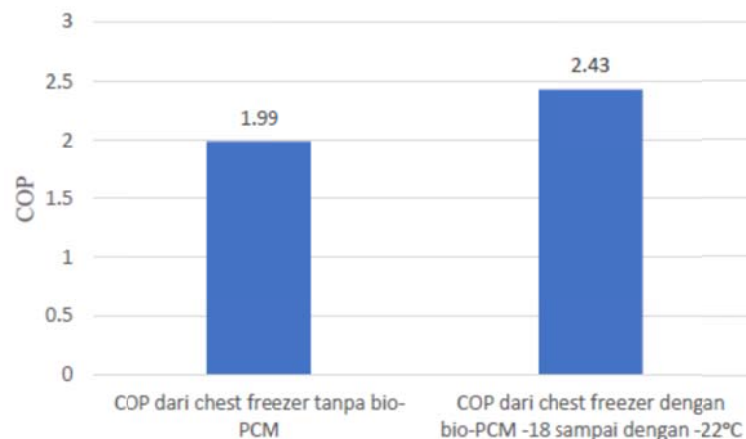
Pengambilan data temperatur refrigeran pada *chest freezer* dengan *bio-PCM* juga dilakukan selama 24 jam. Pengambilan data temperatur refrigeran digunakan untuk mengetahui performansi dari *chest freezer* dengan *bio-PCM*. Untuk mencari performansi dari *chest freezer* dengan *bio-PCM* diperlukan rata-rata dari temperatur refrigeran dari masing-masing titik pengukuran. Pada Gambar 9 diperlihatkan grafik dari temperatur refrigeran pada *chest freezer* dengan *bio-PCM*.

Rata-rata dicari pada satu siklus saat sistem sedang berjalan saja dengan temperatur yang stabil. Jadi didapat rata-rata T_1 sebesar $24,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, T_2 sebesar $77\text{ }^{\circ}\text{C}$, T_3 sebesar $34,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan T_4 sebesar $-23,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pada pengambilan data temperatur refrigeran pada chest freezer dengan bio-PCM temperatur refrigeran pada T_1 juga terkena imbas dari temperatur kompresor. Setelah dilakukan analisis numerik menggunakan EES berdasarkan data pengukuran dapat diperoleh kinerja energi (COP) sistem refrigerasi pada pengujian kedua yaitu chest freezer dengan Bio-PCM dan seting termostat dari $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai dengan $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ sebesar 2,43.



Gambar 9 Grafik temperatur refrigeran dari chest freezer dengan bio-PCM

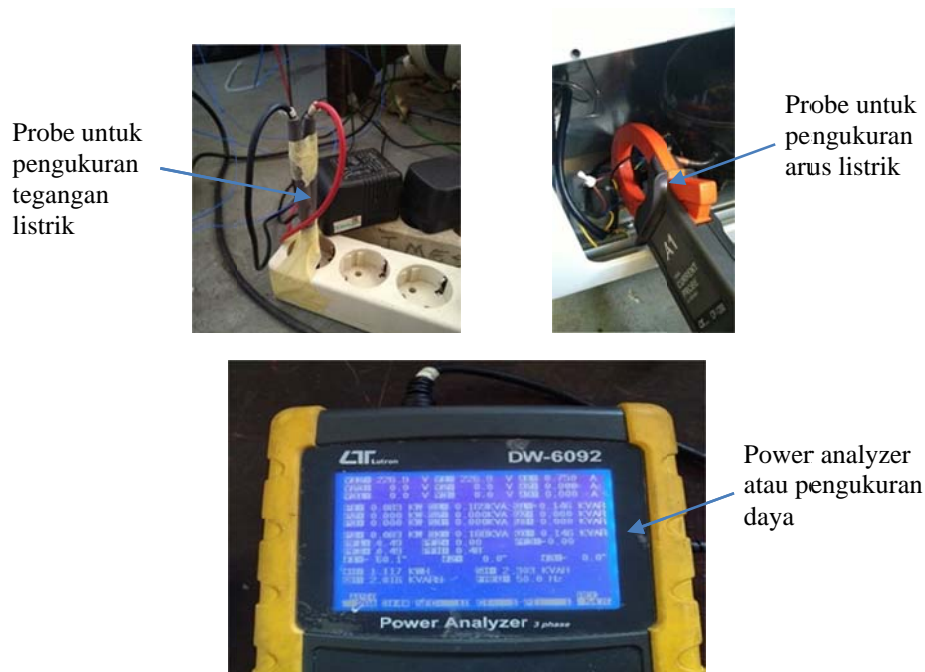
Dari hasil kajian berdasarkan data pengujian sistem refrigerasi chest freezer tanpa dan dengan Bio-PCM maka diperoleh bahwa COP atau kinerja energi Chest freezer dengan Bio-PCM jauh lebih baik dibandingkan dengan yang tanpa Bio-PCM. Dengan COP freezer Bio-PCM sekitar 21,5% lebih besar dibandingkan dengan freezer standar tanpa Bio-PCM. Pada Gambar 10 disajikan perbandingan COP chest freezer tanpa dan dengan Bio-PCM.



Gambar 10 Perbandingan COP antara chest freezer tanpa dan dengan Bio-PCM

Konsumsi Daya Kompresor

Pada pengambilan data daya kompresor menggunakan alat power meter dengan penempatan seperti Gambar 11.

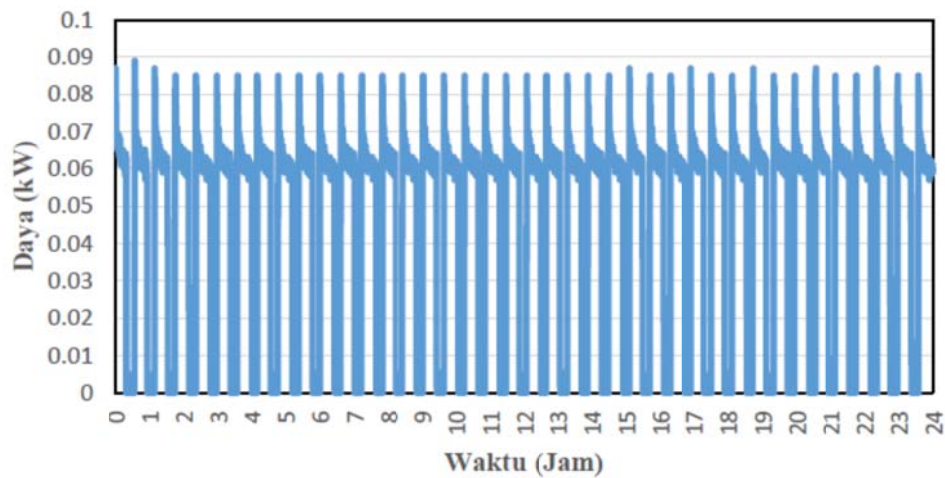


Gambar 11 Pengukuran daya kompresor

Pada Gambar 11 diilustrasikan pengukuran dan penyimpanan data hasil pengukuran daya kompresor dengan menggunakan power analyzer. Power analyser dilengkapi dengan probe untuk pengukuran tegangan listrik dan arus listrik yang masuk kompresor. Pada display dari power analyser dapat dimonitor hasil pengukuran selain tegangan listrik dan arus listrik juga daya yang dikonsumsi kompresor dan frekuensi listrik. Pengukuran dilakukan selama 24 jam dengan interval waktu perekaman data dalam 10 detik.

Daya kompresor tanpa bio-PCM

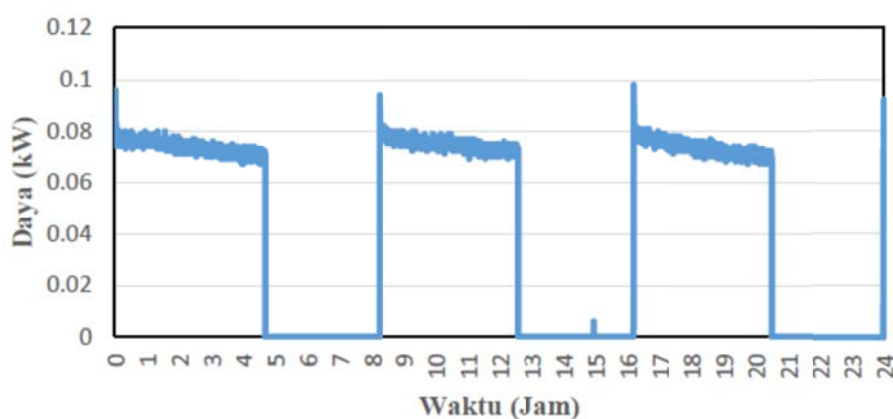
Dalam pengujian *chest freezer* tanpa *bio-PCM* yang dilakukan selama 24 jam didapat jumlah siklus *on-off* yang terjadi pada kompresor sebanyak 39,5 siklus. Selama 24 jam, *on-time* dari kompresor lebih panjang dibandingkan *off-time*, dimana total *on-time* dari kompresor yaitu selama 16,28 jam dan total *off-time* selama 7,72 jam dengan rata-rata daya yang dikonsumsi oleh kompresor yaitu sebesar 0,064 kW atau 64 W. Grafik dari daya kompresor tanpa Bio-PCM ditampilkan pada Gambar 12.



Gambar 12 Grafik daya kompresor dari *chest freezer* tanpa *bio-PCM*

Daya kompresor dengan bio-PCM pada setting termostat -23 °C sampai dengan -27 °C

Dalam pengujian *chest freezer* dengan *bio-PCM* pada *setting* termostat -23 sampai dengan -27 °C yang dilakukan selama 24 jam didapat jumlah siklus *on-off* yang terjadi pada kompresor sebanyak 3 siklus. Selama 24 jam *on-time* dari kompresor masih lebih panjang dibandingkan dengan *off-timanya*, dimana total *on-time* dari kompresor yaitu selama 13,35 jam dan total *off-time* 10,65 jam dengan rata-rata daya yang dikonsumsi oleh kompresor yaitu sebesar 0,074 kW atau 74 W. Grafik dari daya kompresor ditampilkan pada Gambar 2.13.

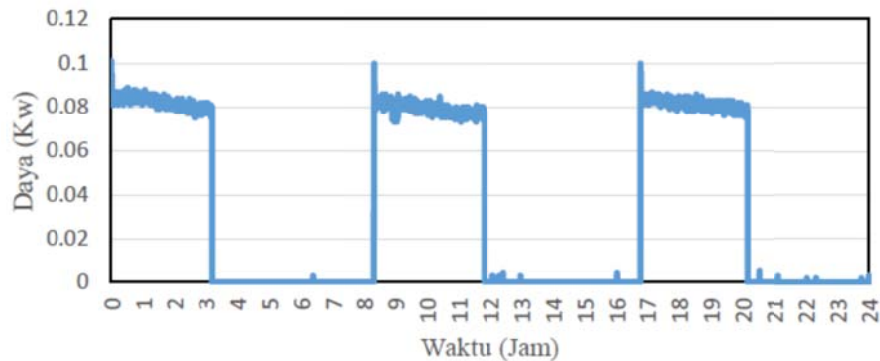


Gambar 13 Grafik daya kompresor dari *chest freezer* dengan *bio-PCM* pada *setting* termostat -23 °C sampai dengan -27 °C

Daya dengan bio-PCM pada setting termostat -18 °C sampai dengan -22 °C

Dalam pengujian *chest freezer* dengan *bio-PCM* pada *setting* termostat -18 °C sampai

dengan $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ yang dilakukan selama 24 jam didapat jumlah siklus *on-off* yang terjadi pada kompresor sebanyak 2,5 siklus. Dalam 24 jam, *on-time* dari kompresor menjadi lebih pendek dibandingkan dengan *off-time* dari kompresor, dimana total *on-time* dari kompresor yaitu selama 10,07 jam dan total *off-time* yaitu selama 13,93 jam dengan rata-rata daya yang dikonsumsi oleh kompresor yaitu sebesar 0,081 kW atau 81 W. Grafik dari daya kompresor ditampilkan pada Gambar 14.



Gambar 14 Grafik daya kompresor dari *chest freezer* dengan *bio-PCM* pada *setting* termostat $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai dengan $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$

Dari hasil pengujian ini juga ditemukan bahwa Bio-PCM dapat menurunkan jumlah siklus on-off dari kompresor. Penurunan jumlah siklus on-off sangat signifikan dari 39,5 menjadi hanya siklus. Dengan pengaturan termostat penurunan siklus lebih dapat dioptimalkan sampai menjadi 2,5 siklus per hari. Penurunan jumlah siklus on-off secara signifikan akan meringankan beban kerja kompresor yang akan lebih diperdalam analisisnya pada pembahasan konsumsi energi dari chest freezer. Di samping itu Bio-PCM juga dapat mengubah lama waktu “on” dan “off” dari chest freezer. Pada setting thermostat yang optimum dengan integrasi Bio-PCM pada chest freezer ditemukan ada perubahan waktu “on” dan “off” yang sangat signifikan seperti yang disajikan pada Tabel 1. Dapat dilihat dengan jelas bahwa dengan menggunakan Bio-PCM, waktu mati “off” dari chest freezer dapat lebih lama dibandingkan dengan lam waktu hidupnya “on”. Hal ini berpengaruh sangat signifikan terhadap konsumsi energi.

Tabel 1 Perbandingan lama waktu hidup “On” dan mati “Off” dari kompresor chest freezer

	Lama waktu hidup “On” (jam)	Lama waktu mati “Off” (jam)	Temperatur produk ($^{\circ}\text{C}$)
Freezer tanpa Bio-PCM	16,3	7,7	-19 s.d. -22
Freezer dengan Bio-PCM	10,1	13,9	-18 s.d. -21

Catatan: Seting thermostat $-18\text{ s.d. }-22\text{ }^{\circ}\text{C}$; waktu pengukuran dalam 24 jam

Konsumsi Energi

Setelah mendapat data dari daya yang dikonsumsi kompresor dan total *on-time* dari kompresor dapat dihitung konsumsi energi dari *chest freezer* tanpa *bio-PCM* dan dengan *bio-PCM*. Pada Tabel 2 disajikan perbandingan konsumsi energi chest freezer tanpa dan dengan *bio-PCM*. Ditemukan bahwa dengan integrasi *Bio-PCM* pada freezer dapat memberikan penghematan energi mencapai 21,7% walaupun konsumsi daya sesaatnya lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh karena lama waktu hidupnya freezer jauh lebih rendah.

Tabel 2 Perbandingan konsumsi energi freezer tanpa dan dengan *Bio-PCM*

	Daya rata-rata (Watt)	Lama waktu hidup "On" (jam)	Konsumsi energi dalam 24 jam (kWh)	Penghematan energi (%)
Freezer tanpa <i>Bio-PCM</i>	64	16,3	1,041	-
Freezer dengan <i>Bio-PCM</i>	81	10,1	0,815	21,7

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian awal ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Bio-PCM dari bahan campuran ester minyak jagung dan air, sebagai salah satu luaran dari penelitian ini, dapat berfungsi dengan baik sebagai bahan penyimpan energi termal pada aplikasi temperatur di bawah 0 °C.
2. Freezer dengan menggunakan Bio-PCM dapat mengurangi jumlah siklus hidup mati kompresor dari 39,5 siklus per hari menjadi 2,5 siklus per hari.
3. Penerapan Bio-PCM dapat meningkatkan lama waktu matinya kompresor dari 7,7 jam menjadi 13,9 jam dalam jangka waktu 24 jam.
4. Integrasi Bio-PCM pada freezer atau cold storage dapat memberikan penghematan energi yang signifikan mencapai 21,7%.
5. Bio-PCM sebagai bahan penyimpanan energi termal menjadi sangat potensial untuk diterapkan pada cold storage tenaga surya dengan kapasitas yang lebih besar.

**FOTO-FOTO PENGUJIAN PENERAPAN BIO-PCM PADA MINI
COLD STORAGE (CHEST FREEZER KAPASITAS 220 LITER)
SEBELUM DITERAPKAN PADA COLD STORAGE TENAGA SURYA
(Draft)**

**Sebagai Bagian Integral
Laporan Penelitian Multi Tahun**

**PENELITIAN TERAPAN
(PENELITIAN STRATEGIS NASIONAL-PSN)**

**PENGEMBANGAN COLD STORAGE TENAGA SURYA UNTUK
MENINGKATKAN KAPASITAS DAN KUALITAS PRODUKSI
PERIKANAN NASIONAL**

Tahun ke 3 dari rencana 3 tahun program penelitian

Tim Peneliti

I Nyoman Suamir, ST, MSc, PhD (Ketua)
NIDN: 0025036514

Sudirman, ST, MT (Anggota 1)
NIDN: 0013036704

I Nengah Ardita, ST, MT (Anggota 2)
NIDN: 0030116406

Dr. Gede Santanu, SE, MM (Anggota 3)
NIDN: 0024076006

Dibiayai oleh:

Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat
Kementerian Riset dan Teknologi / Badan Riset dan Inovasi Nasional

Sesuai dengan Amandemen Kontrak Penelitian

Nomor: 133/SP2H/AMD/LT/DRPM/2020

SP DIPA - 042.06.1.401516/2020 tanggal 12 November 2019

**POLITEKNIK NEGERI BALI
November 2020**

KATA PENGANTAR

Pengujian penerapan bio-PCM pada aplikasi mini cold storage dalam hal ini digunakan Chest Freezer dengan volume 220 liter bertujuan untuk menguji pengaruh dari penggunaan Bio-PCM yang telah ditemukan pada penelitian sebelumnya dan diperdalam pada penelitian ini pada tahun pertama dan kedua. Pengujian pada mini cold storage dilakukan sebelum pada aplikasi sebenarnya pada Cold Storage Tenaga Surya dengan volume 7 m³ (7000 liter) memberikan fleksibilitas di dalam melakukan metode penerapan dan penempatan Bio-PCM serta pengaturan temperatur operasi kerja sesuai dengan level temperatur Bio-PCM yang digunakan. Penggunaan Bio-PCM juga bisa fleksibel dalam melakukan perubahan jumlah massa Bio-PCM yang diterapkan pada Cold Storage.

Dari pengujian awal ini, dapat ditemukan teknik penempatan bio-PCM yang efektif, temperatur phase change untuk mendapatkan temperatur produk yang diinginkan, jumlah Bio-PCM yang digunakan menurut kapasitas cold storage, temperatur kerja yang optimum serta penghematan energi yang dihasilkan.

Hasil temuan ini akan dapat dengan mudah diaplikasikan pada Cold Storage Tenaga Surya dengan kapasitas yang jauh lebih besar. Tahapan pengujian ini diambil untuk mengantisipasi terbatasnya waktu yang bisa dimanfaatkan untuk melakukan penelitian langsung di kampus pada musim **Pandemi Covid-19**. Disamping itu hasil temuan ini akan memberikan kemudahan dan efektifitas kegiatan penelitian dalam melakukan penerapan bio-PCM pada Cold Storage tenaga surya mengingat terbatasnya waktu penelitian akibat anjuran untuk membatasi kegiatan off-line di Laboratorium pada tahun 2020 dan adanya kebijakan lock-down Politeknik Negeri Bali pada awal 2021 sebagai akibat meluasnya civitas akademika yang **terpapar Covid-19**. Semoga pandemi Covid-19 cepat berlalu sehingga kegiatan penelitian dalam bentuk eksperimen dapat dilakukan dengan lebih leluasa di dalam laboratorium.

FOTO-FOTO PENYIAPAN

