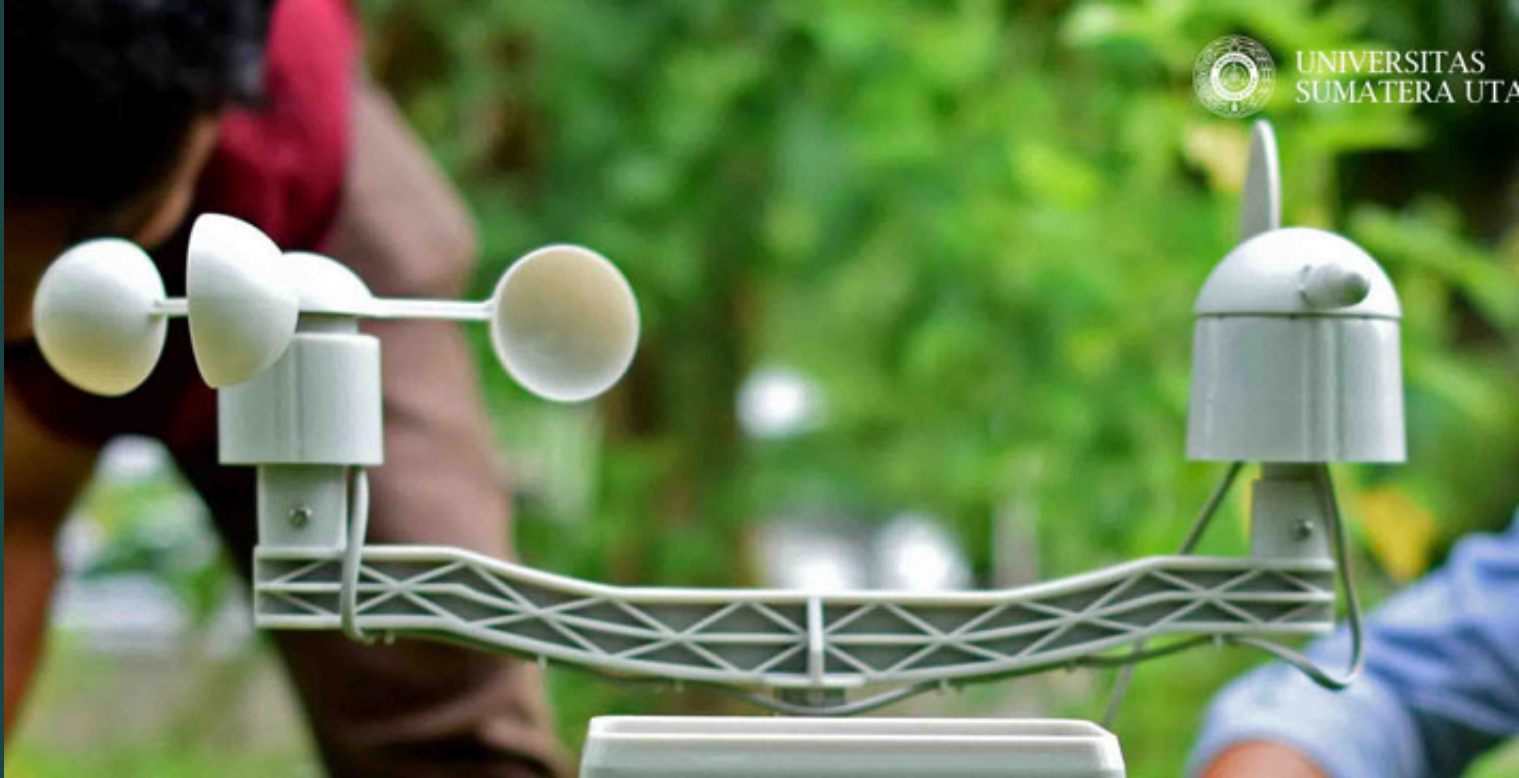




Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all



GOAL 7: AFFORDABLE AND CLEAN ENERGY

Universitas Sumatera Utara Makes Clean and Affordable Energy Available to Every One



Unversitas Sumatera Utara
Medan
2021

Judul Penelitian

1. Perancangan pengolahan sampah teknologi termal untuk skala komunitas
2. Penghematan Bahan Bakar pada Kendaraan Roda Empat Menggunakan Sistem Siklus Rankine Organik
3. KAJIAN PEMANFAATAN TANAMAN ECENG GONDOK (WATER HYACINTH) UNTUK PEMBUATAN BIOETANOL DAN PENGARUHNYA TERHADAP PERFORMANSI MESIN PEMBAKARAN DALAM (INTERNAL COMBUSTION ENGINE)
4. Kajian Penerapan Energi Alternatif Berbasis Mikrohidro dan Tenaga Surya untuk Meningkatkan Ketahanan Energi Masyarakat di Kabupaten Langkat
5. Pengaruh Siklus Dry Steam, Flash Steam dan Binary Cycle di Geothermal Energy

PROTEKSI ISI LAPORAN KEMAJUAN PENELITIAN

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

LAPORAN KEMAJUAN PENELITIAN MULTI TAHUN

ID Proposal: 9b20a2d0-493f-4fab-ac19-a34105e50b06
Laporan Kemajuan Penelitian: tahun ke-1 dari 3 tahun

1. IDENTITAS PENELITIAN

A. JUDUL PENELITIAN

Perancangan pengolahan sampah teknologi termal untuk skala komunitas

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

Bidang Fokus RIRN / Bidang Unggulan Perguruan Tinggi	Tema	Topik (jika ada)	Rumpun Bidang Ilmu
Mitigasi Bencana, Iklim dan Lingkungan Hidup	-	Penelitian Lingkungan	Teknik Lingkungan

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 Desentralisasi	Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi	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
HAFIZHUL KHAIR A.M. Ketua Pengusul	Universitas Sumatera Utara	Teknik Lingkungan		6001102	3
ISRA' SURYATI S.T, M.Si Anggota Pengusul 1	Universitas Sumatera Utara	Teknik Lingkungan	Konseptual, metodologi dan validasi di bidang kontrol pencemaran udara	5991144	1
Dr.Eng TAUFIQ BIN NUR M.Eng.Sc. Anggota Pengusul 2	Universitas Sumatera Utara	Teknik Mesin	Konseptual, metodologi dan validasi di bidang termal dan energi	6007070	6

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 Calon Pengguna	Kepala Lingkungan II Kelurahan Gedung Johor
Mitra Calon Pengguna	UPT Persampahan

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>)
1	Paten produk	Terbit nomor pendaftaran paten	

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>)
--------------	--------------	---	--

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. 707,220,000

Tahun 1 Total Rp. 229,290,000

Jenis Pembelanjaan	Item	Satuan	Vol.	Biaya Satuan	Total
Analisis Data	Biaya analisis sampel	Unit	1	51,400,000	51,400,000
Analisis Data	HR Sekretariat/Administrasi Peneliti	OB	4	400,000	1,600,000
Analisis Data	Transport Lokal	OK (kali)	4	200,000	800,000
Analisis Data	Biaya konsumsi rapat	OH	80	100,000	8,000,000
Bahan	ATK	Paket	1	5,000,000	5,000,000
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	Unit	1	82,800,000	82,800,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Luaran KI (paten, hak cipta dll)	Paket	1	15,000,000	15,000,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	HR Sekretariat/Administrasi Peneliti	OB	4	400,000	1,600,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Biaya konsumsi rapat	OH	25	100,000	2,500,000
Pengumpulan Data	FGD persiapan penelitian	Paket	4	2,000,000	8,000,000
Pengumpulan Data	HR Sekretariat/Administrasi Peneliti	OB	4	417,500	1,670,000

Jenis Pembelanjaan	Item	Satuan	Vol.	Biaya Satuan	Total
Pengumpulan Data	Transport	OK (kali)	4	980,000	3,920,000
Pengumpulan Data	Penginapan	OH	10	500,000	5,000,000
Pengumpulan Data	Biaya konsumsi	OH	80	100,000	8,000,000
Pengumpulan Data	HR Pembantu Lapangan	OH	80	100,000	8,000,000
Sewa Peralatan	Peralatan penelitian	Unit	1	17,000,000	17,000,000
Sewa Peralatan	Transport penelitian	OK (kali)	3	3,000,000	9,000,000

Tahun 2 Total Rp. 239,040,000

Jenis Pembelanjaan	Item	Satuan	Vol.	Biaya Satuan	Total
Analisis Data	Biaya analisis sampel	Unit	1	76,400,000	76,400,000
Analisis Data	HR Sekretariat/Administrasi Peneliti	OB	3	400,000	1,200,000
Analisis Data	Transport Lokal	OK (kali)	3	200,000	600,000
Analisis Data	Biaya konsumsi rapat	OH	100	100,000	10,000,000
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	Unit	1	75,300,000	75,300,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Biaya seminar internasional	Paket	1	16,000,000	16,000,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Biaya pembuatan dokumen uji produk	Paket	1	4,000,000	4,000,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	HR Sekretariat/Administrasi Peneliti	OB	3	400,000	1,200,000
Pengumpulan Data	HR Sekretariat/Administrasi Peneliti	OB	3	400,000	1,200,000
Pengumpulan Data	Transport	OK (kali)	3	980,000	2,940,000
Pengumpulan Data	Penginapan	OH	6	500,000	3,000,000
Pengumpulan Data	Biaya konsumsi	OH	100	100,000	10,000,000
Pengumpulan Data	HR Pembantu Lapangan	OH	100	100,000	10,000,000
Sewa Peralatan	Peralatan penelitian	Unit	1	15,200,000	15,200,000
Sewa Peralatan	Transport penelitian	OK (kali)	4	3,000,000	12,000,000

Tahun 3 Total Rp. 238,890,000

Jenis Pembelanjaan	Item	Satuan	Vol.	Biaya Satuan	Total
Analisis Data	Biaya analisis sampel	Unit	1	76,400,000	76,400,000
Analisis Data	HR Sekretariat/Administrasi	OB	3	400,000	1,200,000

Jenis Pembelanjaan	Item	Satuan	Vol.	Biaya Satuan	Total
	Peneliti				
Analisis Data	Transport Lokal	OK (kali)	4	200,000	800,000
Analisis Data	Biaya konsumsi rapat	OH	80	100,000	8,000,000
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	Unit	1	75,300,000	75,300,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Biaya seminar internasional	Paket	1	16,000,000	16,000,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Publikasi artikel di Jurnal Internasional	Paket	1	12,350,000	12,350,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Biaya pembuatan dokumen uji produk	Paket	1	4,000,000	4,000,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	HR Sekretariat/Administrasi Peneliti	OB	3	400,000	1,200,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Luaran KI (paten, hak cipta dll)	Paket	10	200,000	2,000,000
Pengumpulan Data	HR Sekretariat/Administrasi Peneliti	OB	3	400,000	1,200,000
Pengumpulan Data	Transport	OK (kali)	3	980,000	2,940,000
Pengumpulan Data	Biaya konsumsi	OH	60	100,000	6,000,000
Pengumpulan Data	HR Pembantu Lapangan	OH	100	100,000	10,000,000
Sewa Peralatan	Peralatan penelitian	Unit	1	12,500,000	12,500,000
Sewa Peralatan	Transport penelitian	OK (kali)	3	3,000,000	9,000,000

6. KEMAJUAN PENELITIAN

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

Permasalahan pengelolaan sampah masih menjadi persoalan utama di Indonesia mulai dari kota besar hingga pedesaan. Pendekatan pengelolaan sampah yang gencar dilakukan saat ini adalah pengelolaan sampah dengan peran serta aktif masyarakat yang berbasis komunitas. Untuk itu perlu adanya inovasi teknologi yang menjadi alternatif pilihan yang akan dimanfaatkan pada skala komunitas tersebut. Pengelolaan sampah dengan teknologi termal, dalam hal ini insinerator menjadi salah satu jawaban dalam program meminimasi sampah yang dibuang ke tempat pembuangan akhir. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan teknologi terapan yang dapat digunakan untuk menangani permasalahan persampahan berbasis komunitas. Penelitian ini sejalan dengan Rencana Strategis Universitas Sumatera Utara 2020-2024 tentang teknologi praktis yang dapat langsung digunakan oleh masyarakat. Selain itu luaran dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan paten. Model insinerator yang akan dikembangkan dalam penelitian ini adalah insinerator dengan satu tunggu bakar yang dilengkapi dengan alat pengontrol kualitas udara. Material sampah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampah tercampur yang berasal dari rumah tangga. Sampah dari rumah tangga akan dihitung timbulan dan komposisinya dan

diuji proximate dan ultimate analysisnya. Disamping mengamati perubahan suhu didalam tungku, beberapa parameter emisi udara dikontrol dan diamati diantaranya: CO, CO₂, SO₂, NO_x, PM_{2.5} dll. TKT dalam penelitian ini berada pada level 4.

B. KATA KUNCI: Tuliskan maksimal 5 kata kunci.

insinerator; sampah; emisi; komunitas

Pengisian poin C sampai dengan poin H mengikuti template berikut dan tidak dibatasi jumlah kata atau halaman namun disarankan seringkas 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.

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.

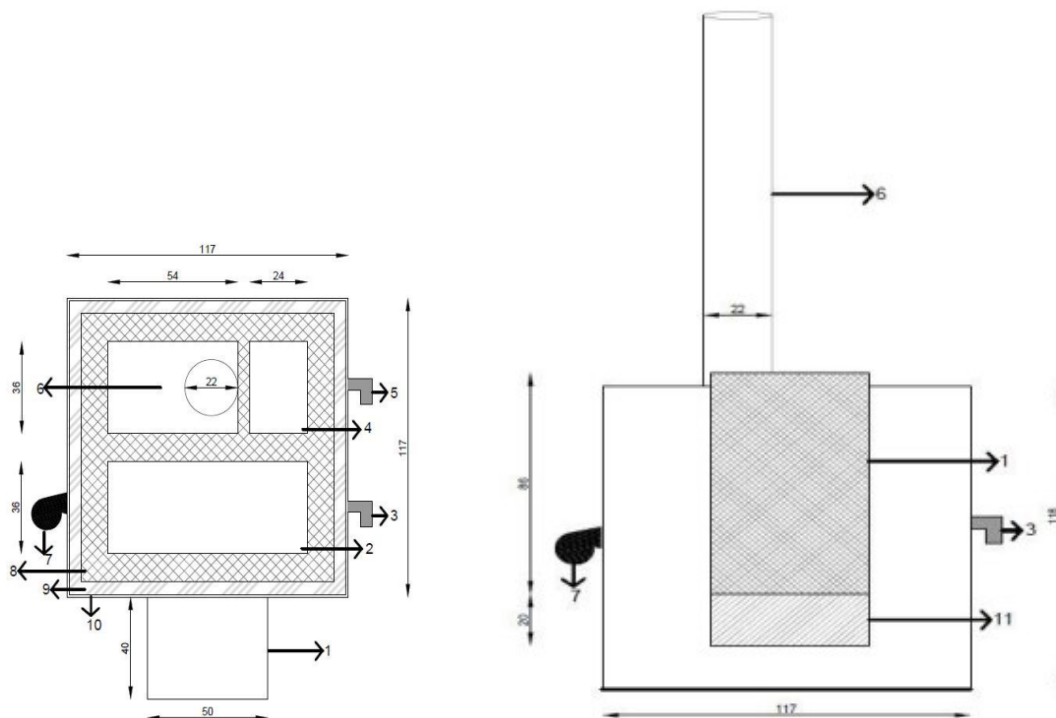
C. HASIL PELAKSANAAN PENELITIAN: Tuliskan secara ringkas hasil pelaksanaan penelitian yang telah dicapai sesuai tahun pelaksanaan penelitian. Penyajian meliputi data, hasil analisis, dan capaian luaran (wajib dan atau tambahan). Seluruh hasil atau capaian yang dilaporkan harus berkaitan dengan tahapan 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.

Penelitian ini nantinya menghasilkan insinerator skala kecil dan mendaftarkan paten dari rancangan desain insinerator yang dibuat. Tahapan awal dalam perancangan insinerator dimulai dengan studi pustaka dan membuat pra rancangan. Studi pustaka dilakukan untuk mengetahui karakteristik sampah dan pencemar udara yang ditimbulkan serta kriteria desain dari insinerator dan alat pengendali pencemaran udara. Dua masukan ini menjadi dasar dalam merancang insinerator dan alat pengendali pencemaran udara.

Insinerator yang dirancang harus mampu membakar secara sempurna dan habis sampah yang masuk ke dalam alat pembakar sampah. Pembakaran secara sempurna berkaitan dengan jumlah oksigen yang masuk ke dalam ruang pembakaran serta ketepatan dalam melakukan pembakaran pertama. Perancangan alat pembakar sampah diawali dengan menentukan parameter-parameter perancangan dan kriteria desain. Parameter yang harus diketahui yaitu volume ruang pembakaran, jumlah udara yang dibutuhkan dalam pembakaran, jenis sampah yang akan dibakar, serta jumlah sampah yang akan dibakar.

Sampai saat ini, dapat disampaikan bahwa pelaksanaan penelitian sudah mencapai tahapan pra-rancangan, dimana pada tahapan ini sudah dilaksanakan perhitungan desain insinerator berdasarkan kriteria desain, simulasi proses dan penyesuaian desain dengan mempertimbangkan kepraktisan operasi, pemeliharaan, opsi untuk peningkatan performa serta ketersediaan material di pasaran.

Insinerator dirancang memiliki dua ruang pembakaran dimana ruang pembakaran pertama digunakan untuk pembakaran sampah, sementara ruang pembakaran kedua untuk pembakaran gas emisi. Dalam perancangan volume insinerator, hal yang pertama dilakukan adalah menentukan laju pembakaran (Tchobanoglous dan Kreith, 2002). Studi ini menggunakan laju pembakaran 25 kg/jam sebagai asumsi dasar dalam perancangan insinerator. Berdasarkan standar desain insinerator, dengan kapasitas pembakaran 25 kg/jam, maka didapatkan ukuran insinerator seperti pada gambar 1.

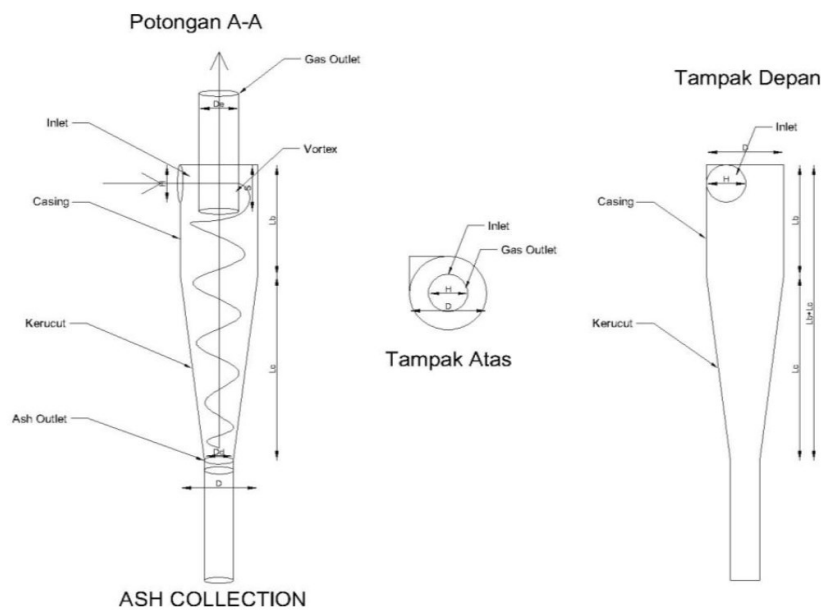


Gambar 1 Tampak atas dan samping insinerator

Selain merancang insinerator, diperlukan juga alat pengontrol partikulat dan gas buang dari hasil pembakaran insinerator tersebut. Pemilihan alat pengendali pencemaran udara dengan mempertimbangkan beberapa kriteria diantaranya ukuran alat, biaya pembuatan alat, kemudahan dalam proses pembuatan alat, kemudahan dalam operasional dan pemeliharaan alat. Berdasarkan pertimbangan tersebut dari berbagai pilihan teknologi pengendali emisi yang ada, peneliti akhirnya memilih menggunakan *cyclone* dan *wet scrubber* untuk menyisihkan emisi partikulat dan gas dari hasil pembakaran di insinerator.

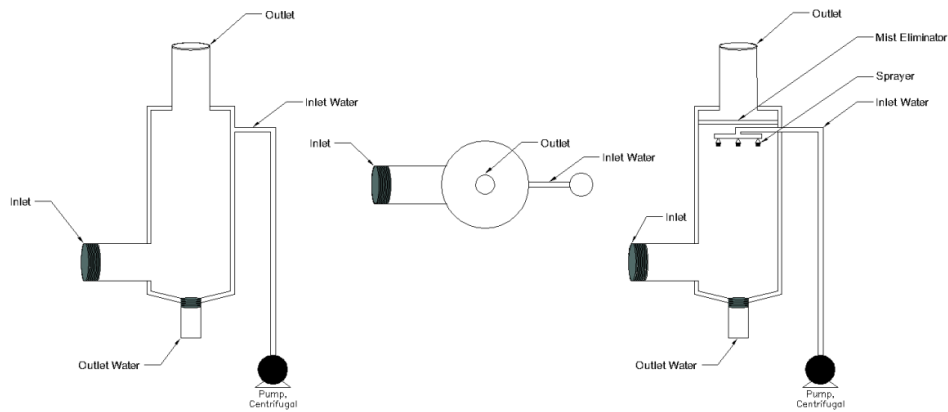
Sebelum memasuki alat pengendali pencemaran udara (APPU), gas buang yang dihasilkan terlebih dahulu dilakukan penurunan suhu. Skema penurunan suhu dilakukan dengan mengalirkan air dengan menggunakan pipa tembaga disekitar pipa inlet menuju *cyclone*. Direncanakan pipa dililit sepanjang 50 cm dengan lilitan sedikit rapat untuk meningkatkan transfer panas antara air yang dialirkan dengan panas dari gas buang. Diharapkan suhu yang diturunkan sampai menjadi 100 – 200°C. Penurunan suhu gas buang ini akan mempengaruhi efisiensi dari kinerja APPU. Daya pompa yang digunakan dalam proses kondensasi gas buang ini adalah pompa air listrik dengan daya pompa 125 watt dan kemampuan untuk mengalirkan air sekitar 18 liter/menit.

Tipe *cyclone* yang dirancang untuk mengeliminasi emisi dari insinerator ini adalah tipe *single cyclone* dengan *high efficiency*. Prinsip kerja dari *cyclone* ini adalah dengan menggunakan gaya sentrifugal yang tercipta akibat putaran dari gas buang yang masuk ke dalam *cyclone* dan menciptakan sebuah *vortex* yang meninggalkan partikulat di bagian dasar karena adanya gaya gravitasi (Cooper & Alley, 1992). Kelebihan dari *cyclone* ini adalah *capital cost* yang rendah, peralatan relatif sederhana, dapat dioperasikan pada temperatur tinggi, pemeliharaan mudah, merupakan sistem pengumpul kering dan kebutuhan lahan relatif tidak luas (Cooper & Alley, 1992). Rancangan *cyclone* ditunjukkan pada gambar 2.



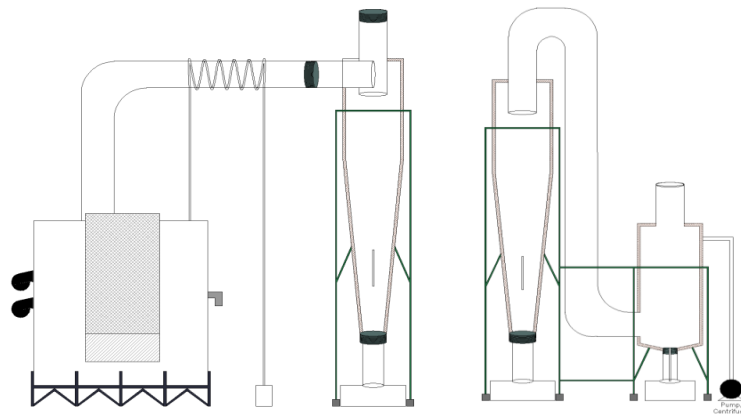
Gambar 2 Rancangan *cyclone*

Selain partikulat, proses pembakaran sampah di insinerator juga menghasilkan gas SO₂, NO_x, CO, gas asam HF, HCl dan lain-lain. Dalam rangka mengeliminasi kontaminan gas yang terbentuk maka peneliti menggunakan APPU berupa *wet scrubber*. *Wet scrubber* berfungsi untuk membersihkan gas pencemar yang terkandung dalam gas buang dengan cara mengontakkan gas buang dengan absorben. Absorben yang digunakan adalah akuades, dimana diharapkan gas buang yang sudah dikontakkan menjadi lebih bersih dan tidak mencemari udara. Bentuk *spray tower* adalah tabung dengan bagian yang sedikit mengerucut pada bagian bawahnya. Rancangan *wet scrubber* dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3 Rancangan wet scrubber

Adapun susunan denah perletakan antara insinerator dan alat pengendali pencemar disajikan pada gambar 4.



Gambar 4 Susunan perletakan insinerator

D. STATUS LUARAN: Tuliskan jenis, identitas dan status ketercapaian setiap luaran wajib dan luaran tambahan (jika ada) yang dijanjikan. 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.

Sampai saat ini, dapat disampaikan bahwa belum ada luaran yang dicapai sesuai dengan target luaran wajib dan luaran tambahan dari hasil penelitian ini karena terkait beberapa kendala dalam pelaksanaan penelitian yang akan dijabarkan pada poin F.

E. PERAN MITRA: Tuliskan realisasi kerjasama dan kontribusi Mitra baik *in-kind* maupun *in-cash* (untuk Penelitian Terapan, Penelitian Pengembangan, PTUPT, PPUPT serta KRUP). Bukti pendukung realisasi kerjasama dan realisasi kontribusi mitra dilaporkan sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Bukti dokumen realisasi kerjasama dengan Mitra diunggah melalui Simlitabmas.

Pada penelitian ini, mitra berperan sebagai penerima manfaat. Nantinya, insinerator yang dihasilkan akan dihibahkan dan diujicobakan kepada mitra yaitu UPT Pengelolaan Sampah Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Sumatera Utara.

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.

Penelitian ini dilaksanakan di masa pandemi Covid-19. Tentunya berbagai kendala sekaligus tantangan dialami selama pelaksanaan penelitian ini. Seiring dengan naik turunnya kasus Covid-19 di Indonesia khususnya di Kota Medan, membuat pemerintah melakukan pembatasan-pembatasan kegiatan di tengah-tengah masyarakat. Pemerintah Kota Medan melakukan beberapa kali PPKM (Pemberlakuan Pembatasan Kegiatan Masyarakat) Level 4 yang dituangkan dalam bentuk Surat Edaran Walikota. PPKM Level 4 untuk Kota Medan dilakukan perpanjangan mulai dari tanggal 12 Juli dan terus diperpanjang sampai tanggal 20 September (sesuai dengan Surat Edaran Walikota Nomor: 443.2/8398 tertanggal 7 September 2021). Salah satu klausul dari PPKM ini adalah bahwa pelaksanaan kegiatan belajar mengajar masih dalam bentuk pembelajaran jarak jauh termasuk akses ke laboratorium. Selain itu adanya penutupan akses dan penyekatan jalan secara langsung menghambat kelancaran penelitian ini. Hasilnya penelitian sempat terhenti dikarenakan kenaikan kasus dan alasan kesehatan dari tim peneliti.

G. RENCANA TAHAPAN SELANJUTNYA: Tuliskan dan uraikan rencana penelitian di tahun berikutnya berdasarkan indikator luaran yang telah dicapai, rencana realisasi luaran wajib yang dijanjikan dan tambahan (jika ada) di tahun berikutnya serta *roadmap* penelitian keseluruhan. Pada bagian ini diperbolehkan untuk melengkapi penjelasan dari setiap tahapan dalam metoda yang akan direncanakan termasuk jadwal berkaitan dengan strategi untuk mencapai luaran seperti yang telah dijanjikan dalam proposal. Jika diperlukan, penjelasan dapat juga dilengkapi dengan gambar, tabel, diagram, serta pustaka yang relevan. Jika laporan kemajuan merupakan laporan pelaksanaan tahun terakhir, pada bagian ini dapat dituliskan rencana penyelesaian target yang belum tercapai.

Rencana kegiatan yang terdekat adalah melakukan pematangan desain, yaitu dengan mengadakan diskusi dengan pihak bengkel terutama terkait ketersediaan material dalam pembuatan alat, durasi pengerjaan alat, dll. Setelah tercapai kesepakatan, barulah rencana desain yang telah dirancang diimplementasikan dan dibangun. Tahapan selanjutnya adalah uji coba performa dari insinerator dan alat pengendali pencemar yang telah dibuat. Uji coba emisi dilakukan sebelum dan sesudah rancangan APPU dipasang di insinerator diperoleh tingkat efisiensi APPU dalam mengeliminasi emisi yang dihasilkan insinerator. Dengan adanya uji coba tadi, diharapkan dapat menyempurnakan desain awal, nantinya desain yang telah disempurnakan dan valid akan didaftarkan ke HKI untuk dipatenkan, seiring dengan luaran wajib dari penelitian ini. Adapun rencana kegiatan yang akan dilaksanakan di hingga akhir tahun penelitian yang tersisa disajikan pada tabel 1.

Tabel 1 Rencana tahapan selanjutnya

No.	Nama Kegiatan	Bulan				
		8	9	10	11	12
1	Rancang bangun alat					
2	Uji coba alat dan pengukuran emisi					
3	Penyusunan draf paten					
4	Pendaftaran paten					
5	Evaluasi kegiatan tahun pertama					

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

1. Tchobanoglous, G. and Kreith, F. (2002) Handbook of Solid Waste Management. 2nd Edition, McGraw Hill Handbooks. New York.
2. Cooper D.C dan Alley, F.C.(1992) Air Pollution Control A Design Approach, First Edition, Waveland Press,Inc, USA

Daftar capaian Luaran Wajib belum diisi:

1. Paten produk, target: Terbit nomor pendaftaran paten

PROTEKSI ISI LAPORAN KEMAJUAN PENELITIAN

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

LAPORAN KEMAJUAN PENELITIAN MULTI TAHUN

ID Proposal: fcb63048-de54-40db-baa3-51b31d79f69d
Laporan Kemajuan Penelitian: tahun ke-2 dari 2 tahun

1. IDENTITAS PENELITIAN

A. JUDUL PENELITIAN

Penghematan Bahan Bakar pada Kendaraan Roda Empat Menggunakan Sistem Siklus Rankine Organik

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

Bidang Fokus RIRN / Bidang Unggulan Perguruan Tinggi	Tema	Topik (jika ada)	Rumpun Bidang Ilmu
Industri, Pertambangan, Energi terbarukan dan Rekayasa Teknologi	-	Efisiensi Energi	Teknik Mesin (dan Ilmu Permesinan Lain)

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 Desentralisasi	Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi	SBK Riset Terapan	SBK Riset Terapan	6	2

2. IDENTITAS PENGUSUL

Nama, Peran	Perguruan Tinggi/ Institusi	Program Studi/ Bagian	Bidang Tugas	ID Sinta	H-Index
TAUFIQ BIN NUR Ketua Pengusul	Universitas Sumatera Utara	Teknik Mesin		6007070	6
Dr Ir M. SABRI M.T Anggota Pengusul 1	Universitas Sumatera Utara	Teknik Mesin	- Menerapkan konsep-konsep desain, pemilihan material dan studi konstruksi system. - Menerapkan konsep mekatronika untuk menjalankan sistem. - Ikut dalam membuat	5979648	2

			draft paper.		
Ir SYAFRUDDIN HS M.T, Ph.D Anggota Pengusul 2	Universitas Sumatera Utara	Teknik Elektro	- Membangun sistem kelistrikan pada sistem, - Sinkronisasi instrumens pada system ORC dan Kenderaan roda empat. - Ikut dalam pembuatan draft paper/karya ilmiah.	6037273	5

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 Calon Pengguna	Asril Sitorus, ST.

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>)
2	Paten alat	Terbit nomor pendaftaran paten sederhana	Dokumen hasil uji coba produk - prototipe I

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>)
2	Artikel ilmiah pada jurnal internasional bereputasi 200 terbaik (Q1) dengan status accepted	Accepted	Applied Energy

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 2 Tahun Rp. 135,000,000

Tahun 1 Total Rp. 0

Tahun 2 Total Rp. 135,000,000

Jenis Pembelanjaan	Item	Satuan	Vol.	Biaya Satuan	Total
Analisis Data	Biaya analisis sampel	Unit	4	4,000,000	16,000,000
Analisis Data	HR Sekretariat/Administrasi Peneliti	OB	7	400,000	2,800,000

Jenis Pembelanjaan	Item	Satuan	Vol.	Biaya Satuan	Total
Analisis Data	HR Pengolah Data	P (penelitian)	30	30,000	900,000
Bahan	Barang Persediaan	Unit	1	22,704,000	22,704,000
Bahan	ATK	Paket	8	47,000	376,000
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	Unit	16	3,937,500	63,000,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Publikasi artikel di Jurnal Internasional	Paket	1	3,500,000	3,500,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Biaya pembuatan dokumen uji produk	Paket	1	6,500,000	6,500,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Biaya seminar internasional	Paket	2	3,500,000	7,000,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	HR Sekretariat/Administrasi Peneliti	OB	3	400,000	1,200,000
Pengumpulan Data	Transport	OK (kali)	5	300,000	1,500,000
Pengumpulan Data	HR Pembantu Lapangan	OH	40	25,000	1,000,000
Pengumpulan Data	HR Pembantu Peneliti	OJ	80	25,000	2,000,000
Sewa Peralatan	Peralatan penelitian	Unit	1	6,520,000	6,520,000

6. KEMAJUAN PENELITIAN

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

Didapati kenyataan bahwa masih tingginya ketergantungan dunia terhadap penggunaan minyak bumi (fossil fuel) dalam kehidupan sehari-hari masyarakat mengakibatkan perlu adanya solusi yang harus dilakukan untuk mengurangi ketergantungan terhadapnya. Dari laporan yang dikeluarkan oleh Dewan Energi Nasional pada tahun 2015, didapati bahwa Indonesia menggunakan 36% dari total energi yang ada dan merupakan pengguna energi terbesar di ASEAN. Konsumsi energi di Indonesia akan terus meningkat tiap tahunnya sejalan dengan meningkatnya laju pertumbuhan pembangunan dan kualitas hidup masyarakat. Dalam menghadapi kenaikan konsumsi energi dan penyusutan sumber-sumber bahan bakar fosil, diperlukan cara yang lebih efisien, efektif dan ramah lingkungan dalam penggunaan sumber-sumber bahan bakar. Dari laporan yang dikeluarkan oleh Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi Indonesia, selama tahun 2000-2014, konsumsi energi final tertinggi terjadi pada sektor industry, diikuti rumah tangga dan transportasi. Namun kenaikan rata-rata pertumbuhan tahunan paling tinggi terjadi pada sektor transportasi sebesar 6,46%. Hal ini disebabkan oleh peningkatan jumlah kendaraan yang tajam di Indonesia dengan rata-rata kenaikan 13,7% pertahunnya berdasarkan data statistik transportasi darat tahun 2014. Jika dikaitkan dengan konsumsi bahan bakar minyak (BBM), berdasarkan laporan BPPT tahun 2016, konsumsi BBM disektor transportasi memiliki pangsa yang sangat tinggi yaitu sekitar 79,7% dari total konsumsi BBM. Sehingga diperlukan cara untuk menurunkan tingkat pemakaian BBM pada sektor transportasi ini. Salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah meningkatkan efisiensi sistem pengkonversi energi. Untuk mewujudkan langkah tersebut, maka perlu dilakukan suatu kajian dan terapan pada kendaraan yang secara umum bermesin pembakaran dalam sehingga dapat ditingkatkan efisiensi konversi energinya. Pada penelitian ini, sebuah sistem siklus Rankine organik (ORC

= organic Rankine cycle) dirancang dan dibangun untuk selanjutnya diintegrasikan dengan mesin pembakaran dalam (internal combustion engine) pada sebuah kendaraan roda empat. Sistem ORC ini akan memanfaatkan panas buang dari mesin kendaraan roda empat yang sedang beroperasi, sehingga dapat menghasilkan energi listrik yang dapat disimpan dalam bentuk energi kimia melalui sebuah baterai. Energi kimia yang tersimpan dalam baterai ini akan dapat dimanfaatkan untuk menggerakkan motor guna menggerakkan kendaraan, seperti lazimnya dikenal dengan istilah kendaraan hybrid, sehingga dapat menghemat bahan bakar minyak yang dikonsumsi oleh mesin pembakaran dalam. Pembuatan sistem ORC ini akan diawali dengan kajian simulasi pada Aspen One untuk menganalisa sistem integrasi mesin pembakaran dalam dan sistem ORC. Kedua sistem ini disatukan dan dianalisa karakteristiknya untuk mendapatkan parameter optimal ORC yang akan diadopsi sebelum proses pembuatan prototipe sistem ORC. Dari analisa simulasi, didapati bahwa sistem ORC dapat bekerja dengan memanfaatkan panas dari sumber panas mesin yang ada pada radiator dan juga dari exhaust gas buang sebelum masuk knalpot. Namun demikian, masih diperlukan proses pengujian secara eksperimental, untuk mendapatkan karakteristik sebenarnya dari sistem integrasi mesin pembakaran dalam dengan ORC, efisiensi sistem, serta pengaruhnya terhadap penghematan BBM selama kendaraan beroperasi. Adapun target Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT) pada akhir penelitian ini adalah berada pada skala 6, sehingga nantinya setelah ini akan dapat dilanjutkan kepada penelitian pengembangan guna memproduksi sistem yang siap digunakan oleh masyarakat ataupun industri. Selain itu, dengan penelitian ini juga diharapkan akan mendapatkan publikasi pada jurnal Internasional bereputasi (indexed Scopus) dan publikasi pada prosiding yang terindeks Scopus.

B. KATA KUNCI: Tuliskan maksimal 5 kata kunci.

Siklus Rankine organik; mesin pembakaran dalam; efisiensi; bahan bakar minyak; penghematan.

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.

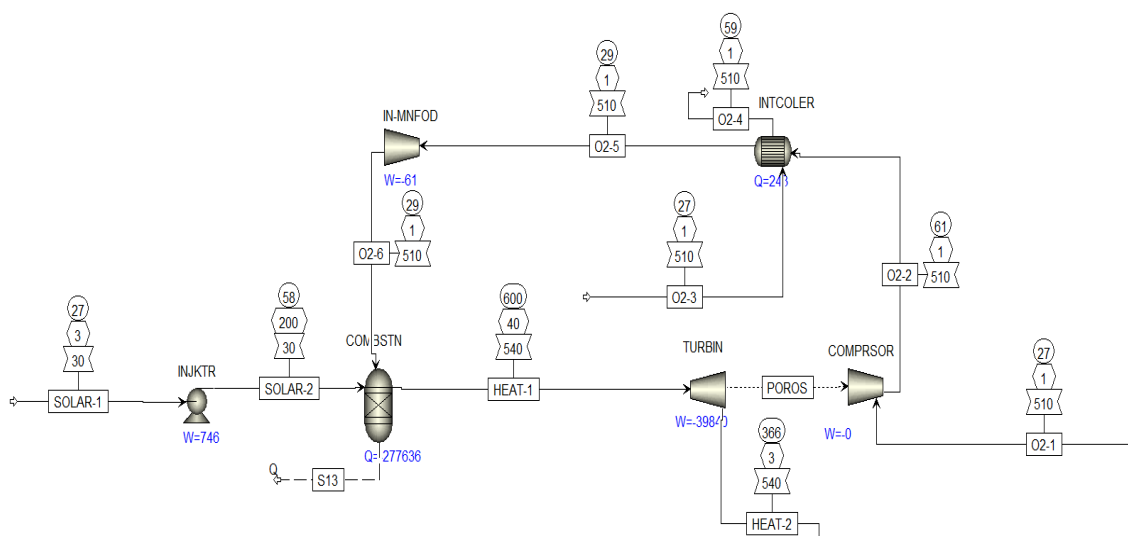
Pengisian poin C sampai dengan poin H mengikuti template berikut dan tidak dibatasi jumlah kata atau halaman namun disarankan ringkas mungkin. Dilarang menghapus/memodifikasi template ataupun menghapus penjelasan di setiap poin.

C. HASIL PELAKSANAAN PENELITIAN: Tuliskan secara ringkas hasil pelaksanaan penelitian yang telah dicapai sesuai tahun pelaksanaan penelitian. Penyajian meliputi 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.

Pengembangan Desain Proses Sistem *Organic Rankine Cycle* yang terintegrasi *Internal Combustion Engine* menggunakan Aspen Plus®

Simulasi *Internal Combustion Engine*.

Desain proses *Internal Combustion Engine* dalam lingkungan simulasi dapat dilihat pada Gambar 1.

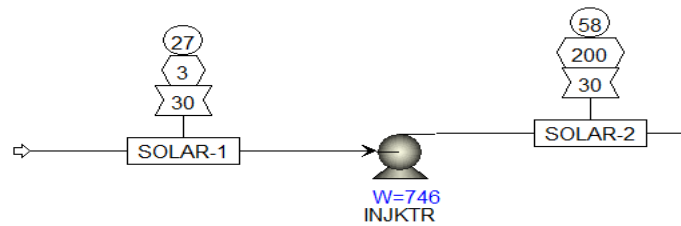


Gambar 1. Desain proses simulasi sistem *Internal Combustion Engine* dalam lingkungan Aspen Plus®.

Dari gambar 1 dapat dilihat bahwa desain *Internal Combustion Engine* (ICE) yang menggunakan perangkat lunak AspenPlus V11 terdiri atas unit *injector*, *combustion*, *turbocharger* (*turbin* dan kompresor), *intercooler*, dan *intakemanifold*. Proses ini dimulai dari *injektor* yang memompakan bahan bakar (*solar*) dengan temperature 58°C dan tekanan 200 bar kedalam ruang bakar atau *combustion* agar terjadinya proses pembakaran, kemudian panas yang dihasilkan oleh *combustion* mengalir menuju ke *turbin* (*turbocharger*) dengan suhu 600°C dan tekanan 40 bar. Panas pada *turbin* (*turbocharger*) inilah yang kemudian ditransferkan menuju *evaporator* pada ORC untuk dimanfaatkan panasnya. Selain itu, panas dari *turbin* (*turbocharger*) juga berfungsi untuk memutar poros agar dapat menggerakkan kompresor (*turbocharger*) yang dapat mengalirkan udara baru yang diambil dari lingkungan sesuai kebutuhan proses pembakaran. Selanjutnya udara baru tersebut ditransferkan menuju *intercooler* untuk dilakukan pemurnian dan membuat udara baru lebih bertekanan, lalu udara dialirkan menuju *intakemanifold* untuk selanjutnya dapat dialirkan kembali menuju kedalam ruang bakar atau *combustion*.

1. *Injektor*

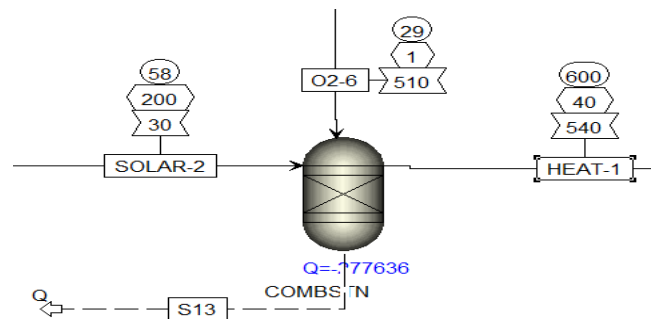
Dengan tekanan udara sebesar 3 bar dan temperature 27 °C yang menghasilkan temperature yang memenuhi *auto ignition* sebesar 58°C dan tekanan 200 bar bahan bakar dipompakan masuk menuju kedalam ruang bakar. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil simulasi *injector* pada ICE.

2. Ruang Bakar (*Combustion*)

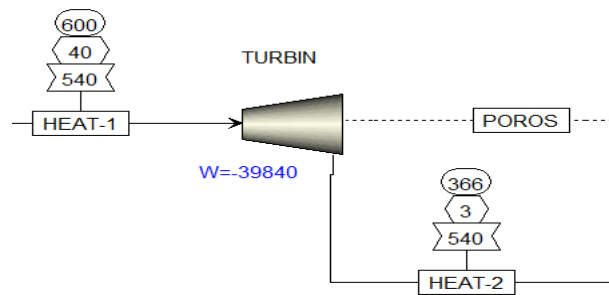
Dengan temperature 58°C dan tekanan 200 bar, bahan bakar masuk kedalam ruang bakar dan menghasilkan temperature sebesar 600°C dan tekanan 40 bar yang kemudian masuk ke *turbocharger* untuk dimanfaatkan panasnya. Dalam proses pembakaran, ruang bakar juga mendapat tambahan udara baru yang bersih melalui *intakemanifold* sebesar 29°C . Untuk lebih jelasnya hasil proses simulasi diruang bakar dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil Simulasi *Combustion* pada ICE.

3. Turbin (*Expander*)

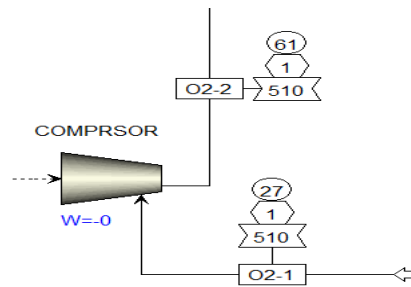
Pada turbin yang merupakan bagian dari *turbocharger* panas yang masuk dari ruang bakar sebesar 600°C dan tekanan 40 bar. Panas yang diterima turbin berfungsi untuk memutar poros yang kemudian dapat menggerakkan kompresor pada *turbocharger*. Selain itu panas dari turbin ini juga berfungsi untuk dapat dimanfaatkan oleh *Organic Rankine Cycle* sebagai sumber panas dengan temperature 366°C dan tekanan 3 bar yang masuk kedalam evaporator *Organic Rankine Cycle*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil simulasi Turbin (*expander*) pada ICE.

4. Kompresor (bagian *turbocharger*)

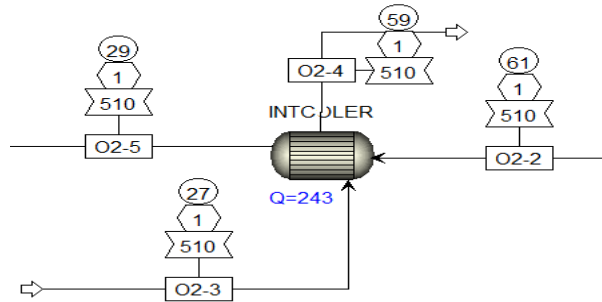
Kompresor yang berfungsi sebagai penyuplai udara baru pada berjalannya proses pembakaran *Internal Combustion Engine* dapat bekerja melalui poros yang digerakkan melalui panas yang dihasilkan turbin. Kemudian kompresor menghisap udara baru dari lingkungan sebesar 27°C , tekanan 1 bar dan total *flow rate* nya sebesar 510 kg/h sesuai kebutuhan proses pembakaran diruang bakar. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil simulasi kompresor (*turbocharger*) pada ICE.

5. *Intercooler*

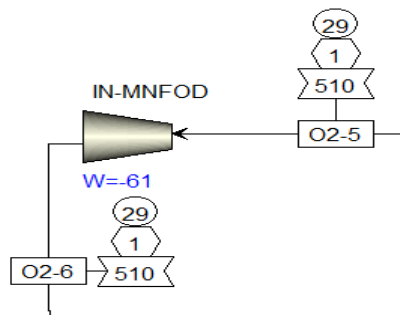
Fungsi *intercooler* pada proses pembakaran adalah sebagai pendinginan terhadap temperatur udara baru yang diterima dari kompresor (*turbocharger*) dengan temperature 61°C dan tekanan sebesar 1 bar. Selanjutnya *intercooler* akan mengalirkan udara menuju ke *intakemanifold* dengan temperature 29°C dan tekanan 1 bar. Untuk melihat lebih jelasnya hasil dari simulasi dari *intercooler* dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil simulasi *Intercooler* pada ICE.

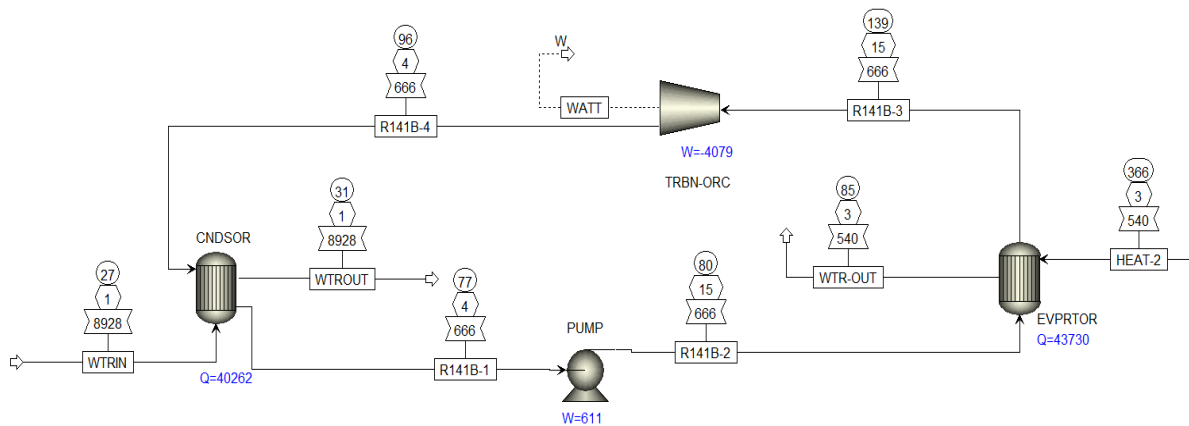
6. *Intake Manifold*

Dengan temperature 29°C dan tekanan 1 bar yang diterima dari *Intercooler*, *intake manifold* mengalirkan udara baru masuk kedalam ruang bakar dengan tekanan 1 bar dan temperatur 29°C . Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil simulasi *Intake Manifold* pada ICE.

Simulasi *Organic Rankine Cycle* (ORC)



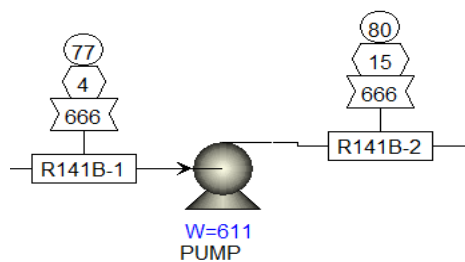
Gambar 8. Hasil simulasi sistem *Organic Rankine Cycle* Menggunakan *software* Aspen Plus®.

Untuk desain simulasi *Organic Rankine Cycle* (ORC) yang menggunakan fluida kerja R141-B terdiri dari pompa, turbin (*expander*), evaporator, dan juga kondensor. Proses dimulai dari pompa yang memompakan atau memindahkan fluida kerja R141-B menuju ke evaporator dengan suhu 80°C dan tekanan 15 bar untuk merubah fasa fluida kerja menjadi uap (evaporasi), setelah di evaporasi fluida kerja di *transfer* menuju turbin atau *expander* dengan suhu 139°C dan tekanan 15 bar untuk dapat menggerakkan turbin. Setelah turbin bergerak, fluida kerja kemudian dialirkan menuju kondensor untuk dikondensasikan atau dicairkan agar Kembali ke bentuk cair dengan tekanan 4 bar dan suhu 96°C.

Dari hasil simulasi menggunakan perangkat lunak AspenPlus V11 terhadap *Organic Rankine Cycle* didapatkan kerja yang dibutuhkan pompa adalah 611 Watt, panas yang diterima evaporator untuk dapat memanaskan dan menguapkan fluida kerja dari *Internal Combustion Engine* sebesar 366°C, cairan pendingin yang masuk kedalam kondensor sebesar 27°C atau suhu rata-rata ruangan. Hasil kerja dari *expander* sebesar 4079 Watt dan kondisi temperature fluida kerja masuk *expander* 139°C dan keluar *expander* sebesar 96°C, penurunan temperature ini dikarenakan turunnya tekanan pada *expander* dimana yang masuk 15 bar dan yang keluar 4 bar.

1. Pompa

Dari hasil simulasi dapat dilihat, kebutuhan dari pompa yang digunakan untuk dapat mendorong fluida kerja adalah dengan tekanan 15 bar seperti pada gambar 9.



Gambar 9. Hasil simulasi pompa pada ORC

Dari Gambar 9 dapat dilihat hasil dari simulasi pompa menunjukkan daya yang dibutuhkan untuk memompakan fluida kerja yaitu 611 Watt, tekanan 15 bar, dan temperatur keluar 80 °C, dan efisiensi dari pompa adalah sebesar 29,5%. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 1.

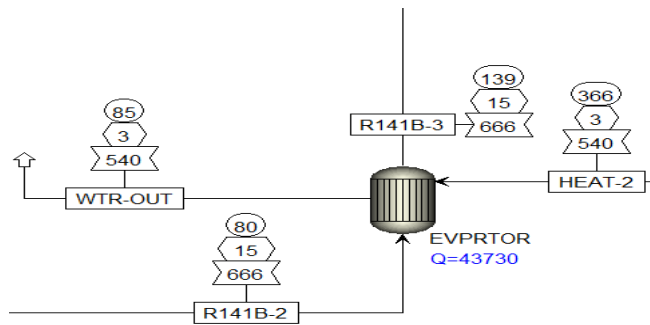
Tabel 1. Hasil simulasi pompa menggunakan AspenPlus V.11

NO	PENJELASAN	NILAI
1	Daya yang dibutuhkan (W_{in}), Watt	611
2	Efisiensi (η), %	29,5
3	Tekanan keluar (P), bar	15
4	Temperatur keluar (T), °C	80
5	Perubahan Tekanan (P), bar	11

Dari Tabel 1, pompa memiliki nilai efisiensi sebesar 29,5%, hal itu dikarenakan fluida kerja dalam kondisi fase uap-cair, sehingga terjadi berkurangnya nilai efisiensi kerja pompa untuk menekan fluida kerja. Kondisi fase uap-cair ini terjadi karena pada saat terjadi proses kondensasi berlangsung masih ada fluida kerja yang berada dalam keadaan uap dan tercampur dengan fluida kerja dalam keadaan cair yang menyebabkan kerapatan fluida kerja turun.

2. Evaporator

Simulasi evaporator pada proses ORC menggunakan AspenPlus menunjukkan panas yang diterima sebesar 366 °C yang didapatkan dari panas hasil pembakaran pada *Internal Combustion Engine*. Temperatur fluida kerja yang bergerak menuju *turbin* sebesar 139 °C dengan tekanan 15 bar. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 10.



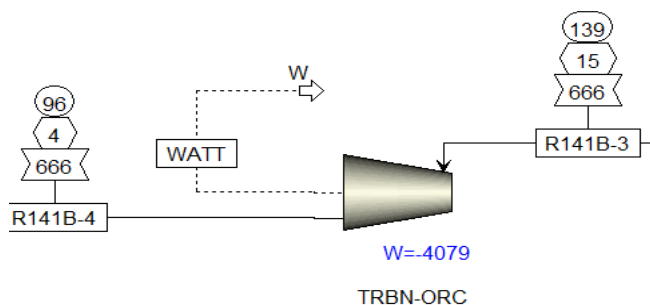
Gambar 10. Hasil simulasi Evaporator pada ORC.

Untuk melihat lebih jelas hasil simulasi evaporator *Organic Rankine Cycle* menggunakan AspenPlus V.11 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil simulasi Evaporator ORC

NO	PENJELASAN	NILAI
1	panas yang dihasilkan (Q), J/detik	43.730
2	Energi rata - rata (U), J/detik.m ² .°C	850
3	LMTD, °C	60,1
4	Temperatur Fluida kerja masuk, °C	80
5	Temperatur Fluida kerja keluar, °C	139
6	Temperatur air masuk, °C	366
7	Temperatur air keluar, °C	85

3. Turbin/ekpander



Gambar 11. Hasil simulasi Turbin pada ORC

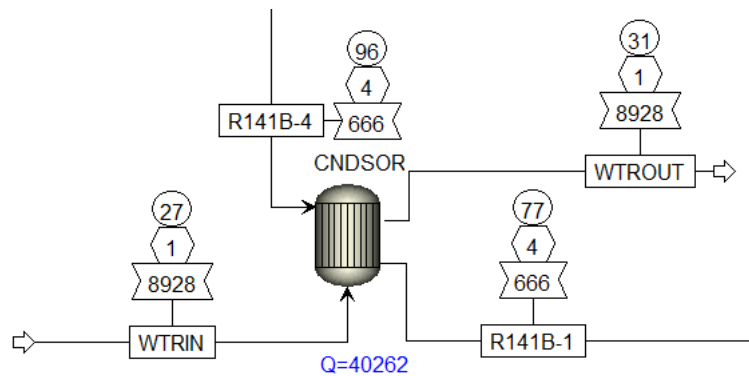
Dari Gambar 11 dapat dilihat bahwa kerja yang dihasilkan dari turbin adalah sebesar 4079 Watt, dengan tekanan fluida kerja yang keluar dalam bentuk uap sebesar 4 bar, dan temperaturnya sebesar 96 °C, serta efisiensinya sebesar 72%. untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil simulasi Turbin pada ORC.

NO	PENJELASAN	NILAI
1	Kerja yang dihasilkan, Watt	4079
2	Tekanan keluar, bar	4
3	Temperatur keluar, °C	96
4	Temperatur isentropik keluar, °C	86
5	Efisiensi <i>expander</i> , %	72

4. Kondensor

Dari hasil simulasi menggunakan AspenPlus, didapatkan bahwa pada kondensor panas yang dilepas sebesar 40262 J/detik, dengan energi rata-ratanya 850 J/detik.m².°C. hasil simulasi kondensor pada AspenPlus dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Simulasi Kondensor pada ORC.

Untuk hasil lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil simulasi Kondensor pada ORC.

NO	PENJELASAN	NILAI
1	panas yang dihasilkan (Q), J/detik	40.262
2	Energi rata - rata (U), J/detik.m ² .°C	850
3	LMTD, °C	49
4	Temperatur Fluida kerja masuk, °C	96
5	Temperatur Fluida kerja keluar, °C	77
6	Temperatur air masuk, °C	27
7	Temperatur air keluar, °C	31

Karakteristik Termodinamika Pada Sistem *Organic Rankine Cycle*.

Hasil simulasi dari karakteristik termodinamika yang didasarkan pada variabel bebas, variabel kontrol dan variabel terikat dalam kondisi tetap (Steady state) menggunakan *software* Aspen Plus® V.11. Hasil simulasi ini meliputi nilai entalpi, entropi, temperatur, dan tekanan.

Berikut ini adalah nilai – nilai yang didapat dari simulasi Aspen Plus® V.11 pada sistem *Organic Rankine Cycle* untuk fluida kerja R-141B pada Tabel 5.

Tabel 5. Karakteristik termodinamika pada aliran sistem fluida kerja R-141B.

NO	KODE	ENTALPI	ENTROPI	TEMPERATUR	TEKANAN	FASE
		J/kg	J/Kg-K	°C	Bar	
1	R141B-1	-3,07 x 10 ⁶	-2375,21	77,10	4	Cair
2	R141B-2	-3,06 x 10 ⁶	-2368,43	79,65	15	Cair
3	R141B-3	-2,83 x 10 ⁶	-1780,27	139,25	15	Uap
4	R141B-4	-2,85 x 10 ⁶	-1756,75	96,36	4	Uap
5	WTRIN	-1,59 x 10 ⁷	-9293,72	27	1,01	Cair
6	WTROUT	-1,59 x 10 ⁷	-9293,95	30,58	1,01	Cair
7	HEAT-2	-1,68 x 10 ⁶	-446,25	365,93	3	Uap
8	WTR-OUT	-1,97 x 10 ⁶	-1042,6	85,41	3	Uap

Performansi Sistem *Organic Rankine Cycle*

1. R-141B

Berikut ini adalah parameter hasil simulasi sistem ORC menggunakan fluida kerja R-141B meliputi:

Kerja netto expander.

Kerja netto *expander* yang dihasilkan oleh sistem *Organic Rankine Cycle* adalah:

$$W_{\text{net}} = W_t - W_p$$

$$W_{\text{net}} = 4079 \text{ watt} - 611 \text{ watt}$$

$$W_{\text{net}} = 3468 \text{ watt}$$

Maka kerja bersih dari *expander* pada sistem *Organic Rankine Cycle* adalah 3468 Watt.

Efisiensi Termal.

Efisiensi Termal yang dihasilkan oleh sistem *Organic Rankine Cycle* adalah:

$$\eta_{th} = \frac{W_{\text{net}}}{Q_{\text{in}}}$$

$$\eta_{th} = \frac{3468 \text{ watt}}{43730 \text{ watt}} = 0,0793$$

Jika diubah dalam bentuk persen maka:

$$\eta_{th} = 0,0793 \times 100\% = 7,93 \%$$

Maka efisiensi termal dari sistem *Organic Rankine Cycle* sebesar 7,93

%.

Back Work Ratio (BWR)

Hasil perbandingan antara kerja pompa yang digunakan untuk mengalirkan fluida dengan kerja yang dihasilkan oleh *expander* adalah:

$$BWR = \frac{W_p}{W_t}$$

$$BWR = \frac{611 \text{ watt}}{4079 \text{ watt}}$$

$$BWR = 0,149$$

Maka *back work ratio* yang didapatkan adalah 0,1032.

Jika diubah kedalam bentuk persen, maka:

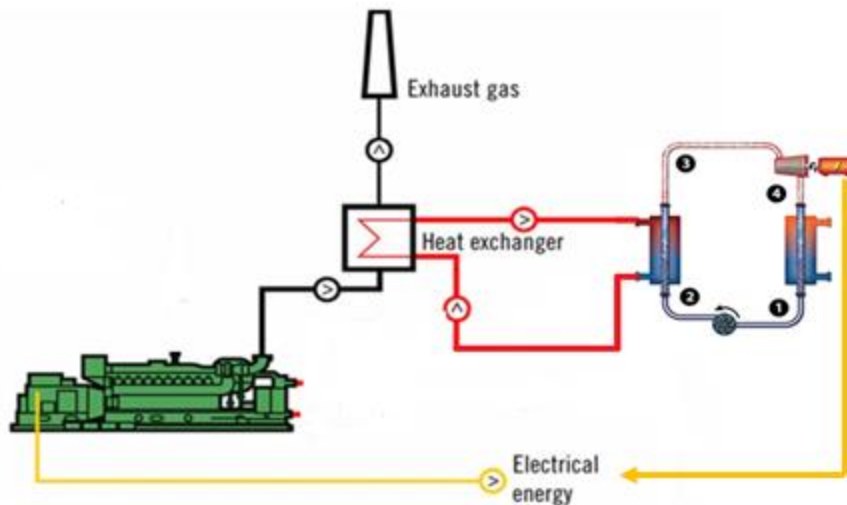
$$\begin{aligned} BWR &= 0,149 \times 100\% \\ &= 14,9\% \end{aligned}$$

Maka hasil dari *back work ratio* adalah 14,9%.

Studi kasus:

Pemanfaatan Temperature Gas Buang Gas Engine Generator JB#2 menjadi Energi Listrik melalui Skema Integrasi Engine dengan Sistem ORC

Mesin Gas engine generator JB#2 beroperasi dengan temperatur gas hasil pembakaran keluar dari cerobong gas buang masih berkisar pada temperatur tinggi, yaitu berkisar pada 499 °C. Gas buang dengan keadaan temperatur seperti ini tentunya masih memiliki nilai eksergi yang tinggi dan dapat dimanfaatkan untuk dikonversi menjadi energi listrik atau uap atau air panas, sehingga dapat menaikkan efisiensi total dari sistem gas engine generator JB#2. Salah satu alternatif yang dapat digunakan adalah dengan mengkonversikan temperatur gas buang generator JB#2 menjadi energi listrik melalui integrasi dengan alat konversi energi berbasis organic Rankine cycle (ORC). Saat ini, terdapat beberapa produsen ORC sistem, seperti: Turboden ORC, Exergy SPA ORC, dan n2 Integrated Energy Solution, LLC. Penggunaan integrasi ORC pada gas engine generator JB#2 akan menaikkan efisiensi, sebagai akibat dari adanya energi listrik yang dihasilkan dengan memanfaatkan panas buang mesin generator tersebut, seperti ditunjukkan pada Gambar 13.

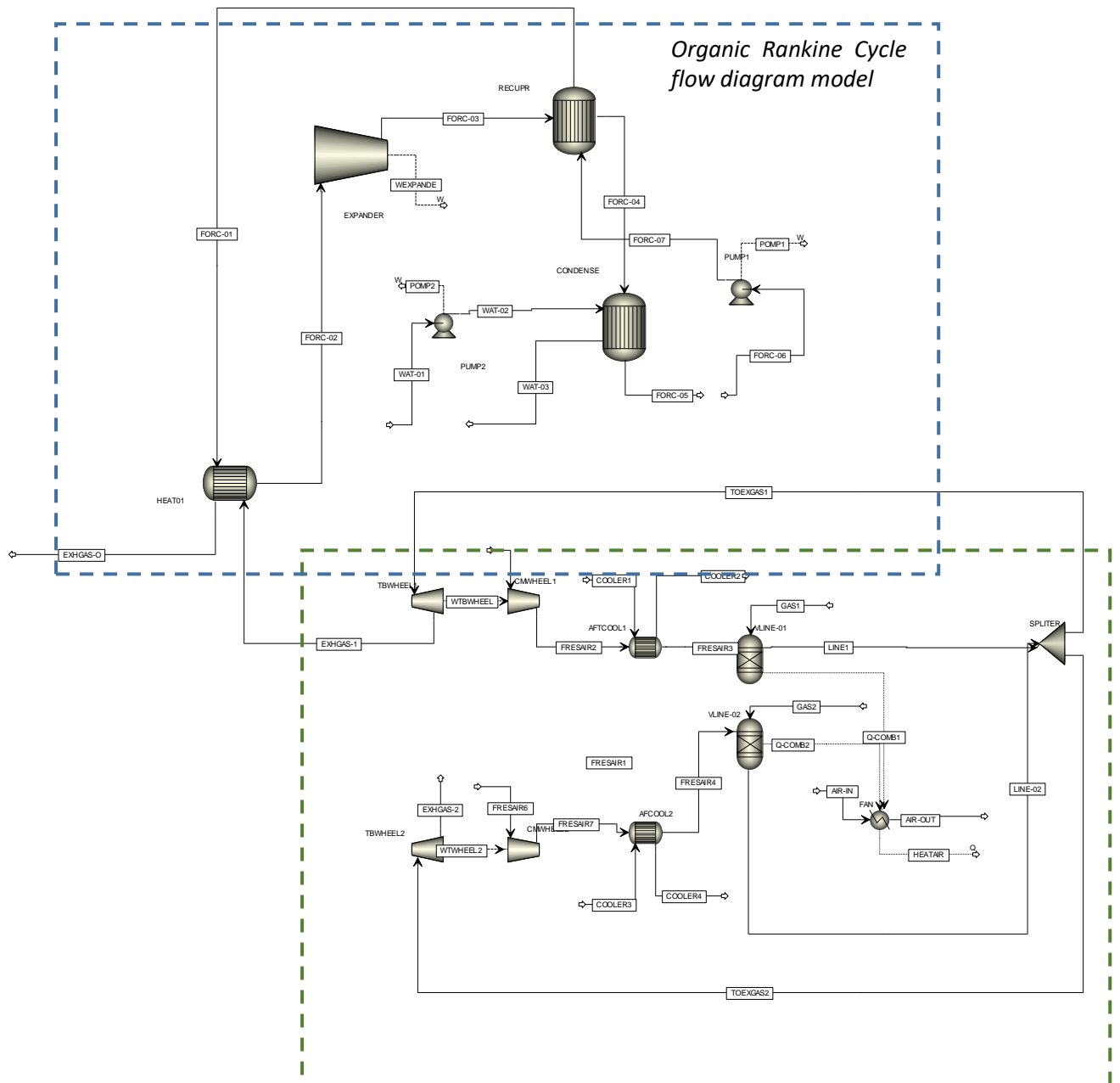


Gambar 13. Model integrasi Gas engine generator JB#2 yang dapat dilakukan untuk menaikkan efisiensi.

Dengan memanfaatkan perangkat modeling dan simulasi Aspen Plus, model integrasi yang terdapat pada Gambar 1 dapat dianalisa potensinya dalam menghasilkan energi listrik, sebagai berikut. Adapun flow diagram proses yang ditawarkan ditunjukkan pada Gambar 14. Hasil modeling dan simulasi untuk integrasi mesin genset dan ORC untuk menghasilkan daya listrik dari konversi temperatur gas buang dengan fluida organic yang digunakan adalah jenis R245fa adalah seperti diberikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Daya listrik yang didapat dari konversi panas buang melalui sistem ORC.

Parameter	Nilai	Satuan
Laju massa fluida organic yang digunakan	3000	kg/jam
Temperatur fluida kerja, R245fa masuk expander	140	°C
Tekanan fluida kerja, R245fa masuk expander	16	bar
Daya yang dihasilkan oleh expander	26.48	kW
Daya yang dibutuhkan pompa kondenser	3	kW
Daya yang dibutuhkan pompa fluida kerja	0.48	kW
Daya listrik tambahan yang dapat dihasilkan (jika efisiensi generator 0.97)	22.32	kW



Gambar 14. Model flow diagram tawaran untuk integrasi Gas engine generator JB#2 dengan pengkonversi energi organic Rankine cycle.

Adapun peluang penghematan yang didapat dan estimasi investasi yang diperlukan adalah seperti yang diberikan pada tabel 7.

Tabel 7. Potensi penghematan yang didapat.

Listrik yang dihasilkan	22.32	kW
Jam Operasi (24 Jam)	535.68	kWh
	195,523.20	kWh/Tahun
Rp/kWh (Base on HR PLTG PSU: 10720 BTU/kW-hr)	1,200.64	Rp/kWh
Estimasi Penghematan	234,752,975	Rp/Tahun

Estimasi Biaya Investasi		
- EPC Cost	40,158.00	USD
- Interest during construction	2,409.48	USD
Total Investasi	42,567.48	USD
1 USD = Rp 14000	595,944,720.00	
PBP	2.54	Tahun

Penerapan teknologi pemanfaatan gas buang engine untuk menjadi energi listrik merupakan implementasi dari pengembangan energi baru dan terbarukan dan konservasi energi serta ramah lingkungan.

D. STATUS LUARAN: Tuliskan jenis, identitas dan status ketercapaian setiap luaran wajib dan luaran tambahan (jika ada) yang dijanjikan. 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.

Luaran Wajib:

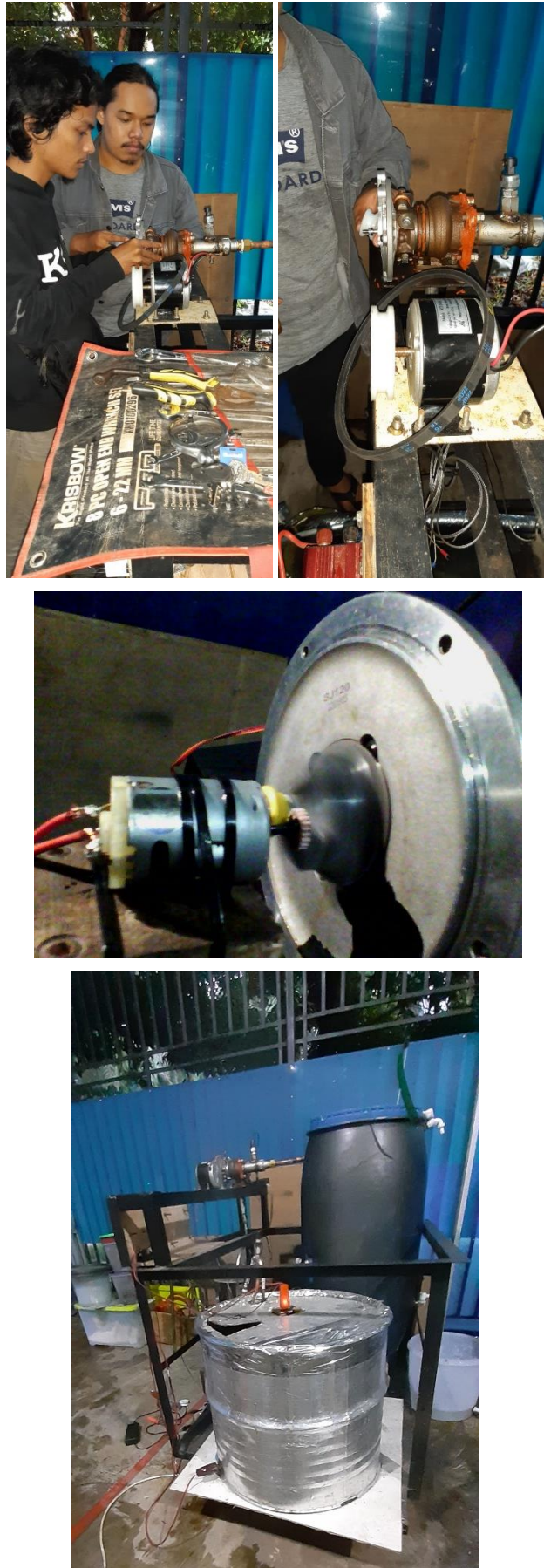
Tahun Luaran	Jenis Luaran	Status Target Capaian (accepted, published, terdaftar atau granted, atau status lainnya)	Keterangan (url dan nama jurnal, penerbit, url paten, keterangan sejenis lainnya)
2021	Paten Sederhana - Paten alat Terbit nomor pendaftaran paten sederhana	Dalam proses perampungan draft Paten.	Draft

Luaran Tambahan:

Tahun Luaran	Jenis Luaran	Status Target Capaian (accepted, published, terdaftar atau granted, atau status lainnya)	Keterangan (url dan nama jurnal, penerbit, url paten, keterangan sejenis lainnya)
2021	Publikasi di Jurnal Internasional Q1 - Artikel ilmiah pada jurnal internasional bereputasi	Draft	Draft

E. PERAN MITRA: Tuliskan realisasi kerjasama dan kontribusi Mitra baik *in-kind* maupun *in-cash* (untuk Penelitian Terapan, Penelitian Pengembangan, PTUPT, PPUPT serta KRUPPT). Bukti pendukung realisasi kerjasama dan realisasi kontribusi mitra dilaporkan sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Bukti dokumen realisasi kerjasama dengan Mitra diunggah melalui Simlitabmas.

Mitra calon pengguna berperan dalam sejumlah diskusi dan pematangan konsep sehingga sistem yang dikembangkan dapat diterapkan dan dikembangkan. Diskusi ini diselenggarakan baik secara online maupun meninjau ke lokasi laboratorium tempat sistem dibangun. Beberapa foto kegiatan adalah sebagai berikut.



Gambar 15. Diskusi saat di laboratorium untuk mengarahkan masalah expander.

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 utama yang dihadapi adalah masih dalam situasi pandemi Covid-19, yang menyebabkan adanya pembatasan kegiatan di kampus. Hal ini membuat waktu pelaksanaan menjadi bergeser. Dan semoga dalam 3 bulan kedepan, tim peneliti sudah mendapatkan hasil berupa diterimanya manuscript jurnal internasional bereputasi dan terdaftarnya dokumen paten.

G. RENCANA TAHAPAN SELANJUTNYA: Tuliskan dan uraikan rencana penelitian di tahun berikutnya berdasarkan indikator luaran yang telah dicapai, rencana realisasi luaran wajib yang dijanjikan dan tambahan (jika ada) di tahun berikutnya serta *roadmap* penelitian keseluruhan. Pada bagian ini diperbolehkan untuk melengkapi penjelasan dari setiap tahapan dalam metoda yang akan direncanakan termasuk jadwal berkaitan dengan strategi untuk mencapai luaran seperti yang telah dijanjikan dalam proposal. Jika diperlukan, penjelasan dapat juga dilengkapi dengan gambar, tabel, diagram, serta pustaka yang relevan. Jika laporan kemajuan merupakan laporan pelaksanaan tahun terakhir, pada bagian ini dapat dituliskan rencana penyelesaian target yang belum tercapai.

Rencana tahapan selanjutnya:

- Menulis semua hasil yang sudah didapat kedalam bentuk karya tulis ilmiah untuk dikirim ke publisher International Journal yang bereputasi.
- Melakukan diskusi yang lebih intensive dengan pihak mitra calon pengguna sehingga dapat nantinya tertuang suatu konsep kerjasama pengembangan yang lebih baik.
- Membangun sistem yang lebih compact sehingga dapat lebih diadaptasi secara mobile.
- Merampungkan draft paten dan mendaftarkannya.

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

[1]Desai NB, Bandyopadhyay S.2009. *Process integration of organic Rankine cycle. Energy*;34(10):1674–86. Indian Institute of Technology Bombay. India

Daftar capaian Luaran Wajib belum diisi:

1. Paten alat, target: Terbit nomor pendaftaran paten sederhana

Daftar capaian Luaran Tambahan belum diisi:

1. Artikel ilmiah pada jurnal internasional bereputasi 200 terbaik (Q1) dengan status accepted, target: Accepted

PROTEKSI ISI LAPORAN KEMAJUAN PENELITIAN

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

LAPORAN KEMAJUAN PENELITIAN MULTI TAHUN

ID Proposal: 82cde78c-9b06-4227-839d-c7e3b8b74257
Laporan Kemajuan Penelitian: tahun ke-2 dari 2 tahun

1. IDENTITAS PENELITIAN

A. JUDUL PENELITIAN

KAJIAN PEMANFAATAN TANAMAN ECENG GONDOK (WATER HYACINTH) UNTUK PEMBUATAN BIOETANOL DAN PENGARUHNYA TERHADAP PERFORMANSI MESIN PEMBAKARAN DALAM (INTERNAL COMBUSTION ENGINE)

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

Bidang Fokus RIRN / Bidang Unggulan Perguruan Tinggi	Tema	Topik (jika ada)	Rumpun Bidang Ilmu
Industri, Pertambangan, Energi terbarukan dan Rekayasa Teknologi	-	Motor Bakar	Teknik Mesin (dan Ilmu Permesinan Lain)

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 Desentralisasi	Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi	SBK Riset Dasar	SBK Riset Dasar	3	2

2. IDENTITAS PENGUSUL

Nama, Peran	Perguruan Tinggi/ Institusi	Program Studi/ Bagian	Bidang Tugas	ID Sinta	H-Index
TAUFIQ BIN NUR Ketua Pengusul	Universitas Sumatera Utara	Teknik Mesin		6007070	6
Dr. Ir INDRA SURYA M.Sc. Anggota Pengusul 1	Universitas Sumatera Utara	Teknik Kimia	Analisa proses pembuatan enceng gondok menjadi bioethanol	5973219	8
Dr. RULIANDA PURNOMO WIBOWO M.Ec	Universitas Sumatera Utara	Agribisnis	Kajian terhadap siklus hidup enceng gondok serta pengaruhnya	6033618	1

Anggota Pengusul 2			terhadap keberkelanjutannya (sustainable side), dan analisa ekonomi.		
--------------------	--	--	--	--	--

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
-------	------------

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>)
2	Artikel di Jurnal Internasional Terindeks di Pengindeks Bereputasi	Accepted	Energy

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>)
--------------	--------------	---	--

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 2 Tahun Rp. 92,520,000

Tahun 1 Total Rp. 0

Tahun 2 Total Rp. 92,520,000

Jenis Pembelanjaan	Item	Satuan	Vol.	Biaya Satuan	Total
Analisis Data	Biaya analisis sampel	Unit	20	850,000	17,000,000
Bahan	Barang Persediaan	Unit	2	15,500,000	31,000,000
Bahan	ATK	Paket	3	846,000	2,538,000
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	Unit	19	1,523,000	28,937,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Publikasi artikel di Jurnal Internasional	Paket	1	4,280,000	4,280,000
Pengumpulan Data	HR Sekretariat/Administrasi Peneliti	OB	12	420,000	5,040,000
Pengumpulan Data	HR Pembantu Peneliti	OJ	48	25,000	1,200,000
Sewa Peralatan	Peralatan penelitian	Unit	4	631,250	2,525,000

6. KEMAJUAN PENELITIAN

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

Masih tingginya penggunaan minyak bumi (fossil fuel) mengakibatkan perlu adanya solusi yang harus dilakukan untuk mengurangi ketergantungan terhadapnya. Salah satu solusi yang dapat digunakan untuk mengembangkan energi terbarukan adalah dengan cara pengembangan biofuel atau bahan bakar nabati. Secara umum, biofuel terbagi dua, yaitu biodiesel yang digunakan untuk menggantikan minyak diesel (diesel), dan bioethanol yang digunakan untuk menggantikan minyak bensin (petrol). Sumber bahan baku yang sangat berpotensi untuk digunakan sebagai bahan dasar bioethanol adalah biomassa dari jenis eceng gondok (*Eichhornia crassipes* / water hyacinth). Eceng gondok dapat tumbuh di kolam-kolam dangkal, tanah basah atau rawa, aliran air yang lambat, tempat penampungan air dan sungai. Pertumbuhan eceng gondok yang cepat terutama disebabkan oleh air yang mengandung nutrisi yang tinggi, terutama yang kaya akan nitrogen, fosfat dan potasium. Kondisi optimum bagi perkembangannya memerlukan kisaran waktu antara 11 – 18 hari. Tanaman eceng gondok memiliki kandungan diantaranya selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Bahan lignoselulosa merupakan biomassa yang berasal dari tanaman dengan komponen utama lignin, selulosa dan hemiselulosa. Proses produksi bioethanol dapat dilakukan melalui dua tahap, yaitu proses sakarifikasi dan fermentasi. Proses sakarifikasi bertujuan untuk memecah karbohidrat (seperti gula, selulosa dan hemiselulosa) menjadi monomer gula. Pada penelitian ini, sebuah unit pembuatan bioethanol skala laboratorium telah dirancang dengan menggunakan simulasi Aspen Plus dan kemudian telah dibangun untuk menghasilkan bioethanol. Sistem produksi bioethanol tersebut terdiri dari reaktor hidrolisis, reaktor fermentasi, dan unit destilasi bertingkat. Dalam prosesnya secara eksperimental, hasil dari tabung reaktor fermentasi dialirkan melalui pipa uap destilasi yang berfungsi sebagai tempat aliran uap bioethanol menuju proses kondensasi. Bahan aktif ragi roti seperti khamir *Saccharomyces cerevisiae* yang dapat memfermentasi gula menjadi etanol digunakan dalam rangkaian proses fermentasi. Serangkaian percobaan, baik menggunakan simulasi dan eksperimen tentang proses bahan baku menjadi bioethanol telah dilakukan. Hasil dari bioethanol ini telah diuji coba untuk melihat pengaruhnya pada performansi kendaraan bermotor (internal combustion engine). Adapun target Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT) pada akhir penelitian ini adalah berada pada skala 3, sehingga nantinya setelah ini akan dapat dilanjutkan kepada penelitian terapan guna memproduksi sistem yang siap digunakan oleh masyarakat ataupun industri. Selain itu, dengan penelitian ini juga diharapkan akan mendapatkan publikasi pada jurnal Internasional bereputasi (indexed Scopus) dan publikasi pada prosiding yang terindeks Scopus. Disamping itu, telah dilakukan juga penyusunan draft paten dan saat ini dalam status menunggu approval pemeriksaan pada bagian kasubdit pemeriksaan.

B. KATA KUNCI: Tuliskan maksimal 5 kata kunci.

Bioethanol; biomassa; eceng gondok; energi terbarukan; internal combustion engine

Pengisian poin C sampai dengan poin H mengikuti template berikut dan tidak dibatasi jumlah kata atau halaman namun disarankan sesingkat 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 meliputi 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.

Melanjutkan analisis dan sistem yang sudah dikerjakan pada tahun pertama, maka pada tahun ke dua dilakukan pengembangan unit sehingga dapat meningkatkan kualitas dari produksi bioethanol yang dihasilkan. Berikut beberapa hal penting yang telah dilakukan.

I. Rancang Bangun Mesin Pencacah Multifungsi (proses pretreatment pada proses produksi bio-ethanol)

Mesin ini bertujuan untuk memotong atau mengecilkan ukuran eceng gondok sehingga dapat meningkatkan kadar bioethanol. Dalam pembuatan bioethanol melalui berbagai tahapan proses yakni, proses pretreatment, proses hidrolisis, proses fermentasi, proses destilasi. Pemotongna bagian eceng gondok menjadi bagian yang lebih kecil akan membantu proses hidrolisis sehingga lebih memudahkan dalam proses pemecahan senyawa struktur lignoselulosa agar selulosa menjadi lebih mudah diakses oleh enzim selulase untuk memecah polimer polisakarida menjadi monomer gula.

Dari serangkaian penelitian yang sudah dilakukan dengan menggunakan eceng gondok sebagai bahan baku untuk produksi bioethanol, maka aliran proses yang didapat adalah sebagai berikut.

1. Hidrolisis:

- a. Cacah eceng gondok menggunakan mesin pencacah.
- b. Masukkan hasil cacahan eceng gondok ke dalam Hidrolisator.
- c. Masukkan 30 L air ke dalam Hidrolisator.
- d. Tuangkan NaOH (5%) atau 300ml ke dalam Hidrolisator.
- e. Tutup hidrolisator dan panaskan sampai tekanan pada pressure gauge 2 bar.
- f. Tunggu sampai temperatur hasil hidrolisis turun.
- g. Pindahkan hasil hidrolisis ke fermentor.

2. Fermentasi:

- a. Tambahkan 1kg fermipan ke dalam fermentor.
- b. Aduk sampai merata antara ragi dan air hasil hidrolisis
- c. Tutup fermentor.
- d. Tunggu hingga 3 hari.
- e. Pada hari ke 9 tambahkan 1 kg fermipan lagi.

3. Destilasi

- a. Setelah 15 hari, masukkan 10L bioethanol dari fermentor ke destilator.
- b. Hubungkan laptop ke Arduino untuk record data.
- c. Atur temperatur thermostat pada suhu (70° C, 80° C, and 90° C).
- d. Biarkan selama 4 jam.
- e. Ukurlah kadar alkohol dan volume produksi.

Perencanaan Daya Penggerak

Setelah gaya potong diketahui maka daya motor listrik yang akan digunakan bisa dihitung. Untuk menghitung daya mesin (P) terlebih dahulu dihitung torsi (T), yaitu :

$$T = F \times R \quad \dots (1)$$

dimana: F = Gaya Potong Eceng Gondok (kg), R = Panjang Pisau (m)

Setelah mengetahui besarnya torsi yang dihasilkan oleh gaya potong, selanjutnya kita bisa menghitung daya mesin (P) dengan persamaan berikut :

$$P_d = T \cdot \omega \Rightarrow T = F \times R \quad \dots(2)$$

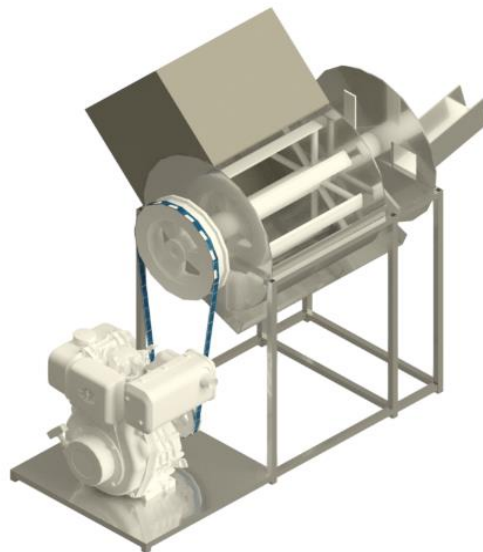
Poros

Poros merupakan salah satu bagian terpenting dalam mesin, hampir semua mesin meneruskan tenaga dengan poros. Poros adalah bagian stasioner yang berputar, biasanya berpenampang bulat dimana terpasang elemen-

elemen seperti roda gigi, puli, flywheel, engkol, dan elemen pemindah lainnya. Pada umumnya mesin meneruskan daya bersama- sama dengan putaran yang dilakukan oleh poros. Beban puntir disebabkan oleh daya dan putaran mesin, sedangkan beban lentur disebabkan oleh gaya-gaya radial dan aksial yang timbul. Proses perancangan poros melibatkan juga pemilihan material dengan mengadopsi standard yang berlaku di dunia seperti ASME. Poros yang dipakai untuk meneruskan putaran tinggi dan beban berat umumnya dibuat dengan baja paduan dengan pengerasan kulit yang sangat tahan terhadap keausan. Pemakaian baja paduan khusus tidak selalu dianjurkan jika alasannya hanya karena putaran tinggi dan beban berat. Dalam hal ini perlu dipertimbangkan penggunaan baja karbon yang diberi perlakuan panas secara tepat untuk memperoleh kekuatan yang diperlukan. Berikut adalah persamaan yang digunakan dalam merancang sebuah poros yang mengalami beban lentur maupun punter.

Gambar Desain

Setelah melalui serangkaian proses perencanaan, maka didapatlah gambar desain seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Desain 3D Mesin Pencacah.

Produk jadi

Setelah dilakukan proses perancangan dan proses manufaktur, maka didapatlah satu unit pemotong eceng gondok yang digerakkan oleh mesin penggerak berbahan bakar bioethanol hasil produksi, seperti ditunjukkan pada gambar 2. Adapun proses rancang bangun dan hasilnya sedang dibuat dalam bentuk karya tulis ilmiah untuk diajukan pada jurnal peringkat Sinta 4 Nasional.



Gambar 2. Unit mesin pencacah yang dihasilkan.

II. Analisa Performansi Mesin Pembakaran Dalam (Internal Combustion Engine) berbahan bakar bioethanol

Bioethanol yang dihasilkan, selanjutnya diuji coba pada engine untuk mempelajari karakteristik engine dan hubungannya dengan performansi. Adapun hasil dan analisa terhadap mesin pembakaran dalam adalah seperti diuraikan berikut.

Daya Motor Bakar

Daya efektif yang dihasilkan pada pengujian performansi motor gasoline ini dapat dihitung dengan persamaan rumus 2.1 berikut [1].

$$Ne = \frac{V \times I \times \cos \theta}{746,3 \cdot \eta_{mg} \cdot \eta_t} \quad \dots (2.1)$$

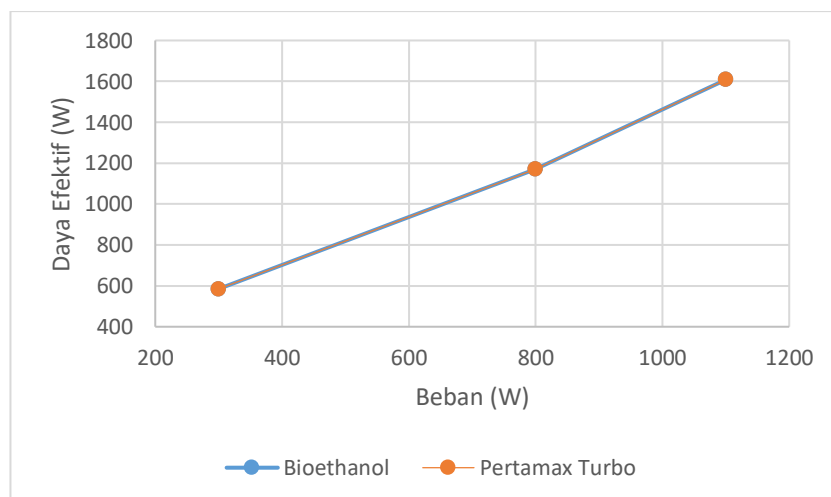
Pada pengujian dengan menggunakan bahan bakar bioethanol berbahan baku eceng gondok dengan menggunakan alternator 3000 W pada putaran 2000 rpm dan beban 300 W.

$$\begin{aligned} Ne &= \frac{V \times I \times \cos \theta}{746,3 \cdot \eta_{mg} \cdot \eta_t} \\ &= \frac{200 \times 2,5 \times 1}{746,3 \times 0,95 \times 0,90} \\ &= 0,78359 \text{ Hp} \\ &= 584,795 \text{ W} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan rumus dan perhitungan yang sama, perhitungan dari variasi jenis bahan bakar, variasi pembebanan dapat diketahui nilai daya efektif yang dapat dilihat pada tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Data pengujian nilai daya efektif.

Jenis Bahan Bakar	Beban (W)	cos Θ	η_{mb}	η_t	Tegangan (V)	Arus (A)	Ne (Hp)	Ne (W)
Pertamax Turbo	300	1	0,95	0,900	200	2.5	0,783593	584,795
Bioethanol		1	0,95	0,900	200	2.5	0,783593	584,795
Pertamax Turbo	800	1	0,95	0,900	210	4.762	1,567217	1169,614
Bioethanol		1	0,95	0,900	210	4.762	1,567217	1169,614
Pertamax Turbo	1100	1	0,95	0,900	200	6.875	2,15488	1608,190
Bioethanol		1	0,95	0,900	200	6.875	2,15488	1608,190



Gambar 3. Grafik pengaruh beban (W) terhadap daya efektif (W) (*Bio-Energy and Fuel Cell System Research Group, 2021*).

Secara umum pada tabel 1 dan gambar 3 menunjukkan daya efektif (Ne) mengalami peningkatan seiring meningkatnya juga beban. Pada pengujian daya efektif yang dihasilkan oleh motor gasoline dengan menggunakan

alternator 3.000 W didapatkan nilai daya efektif yang sama antara pemakaian bahan bakar Pertamina Turbo dan Bioethanol pada pembebanan yang sama, yaitu 584,795 W nilai daya efektif dengan pembebanan 300 W, 1.169,61 W nilai daya efektif pada pembebanan 800 W, dan 1.608,19 W nilai daya efektif untuk pembebanan 1.100 W.

Besarnya torsi yang dihasilkan dari masing-masing pengujian baik dengan menggunakan bahan bakar Pertamina Turbo dan Bioethanol dapat dihitung dengan persamaan 2 berikut:

$$\tau = \frac{60 \cdot Ne}{2\pi \cdot n} \quad \dots (2.2)$$

Pada pengujian dengan menggunakan bahan bakar Pertamina Turbo dengan menggunakan alternator 3000 W dengan beban 300 watt (3 buah lampu 100 watt) dan putaran 2000 rpm.

$$T = \frac{60 \cdot 584,795}{2\pi \cdot 2000}$$

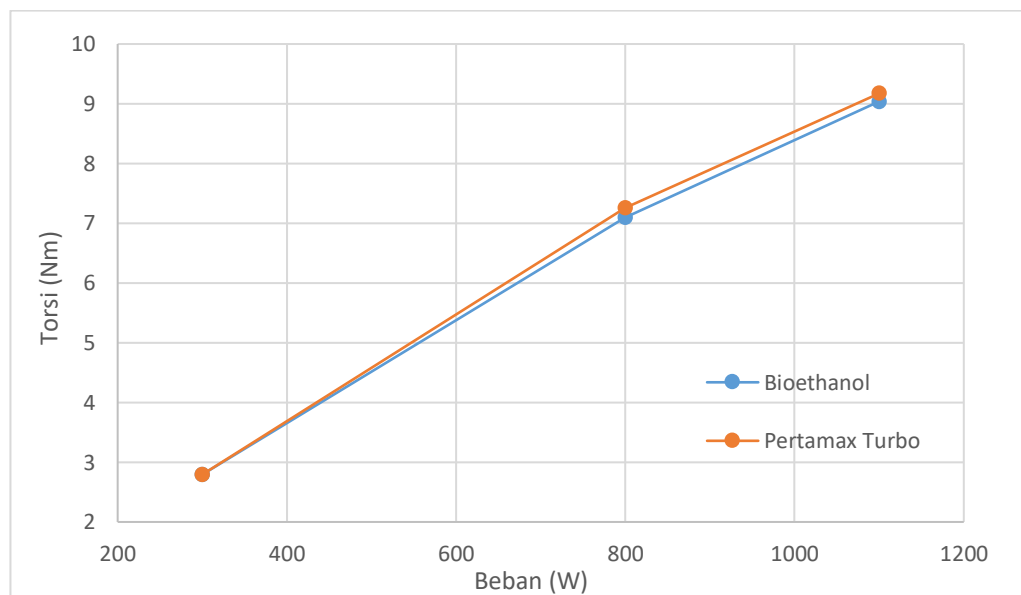
$$T = 2,794 \text{ Nm}$$

Dengan menggunakan rumus dan perhitungan yang sama, perhitungan dari berbagai variasi bahan bakar, variasi pembebanan dan variasi putaran mesin dapat diketahui nilai Torsinya yang dapat dilihat pada tabel 2 dibawah ini

Tabel 2. Data hasil perhitungan torsi

Jenis Bahan Bakar	Beban (W)	Voltase (V)	I (A)	Ne (W)	n (rpm)	T (Nm)
Pertamax Turbo	300	200	2,5	584,795	2.000	2,794
Bioethanol		200	2,5	584,795	2.000	2,794
Pertamax Turbo	800	210	4,762	1.169,61	1.540	7,256
Bioethanol		210	4,762	1.169,61	1.575	7,095
Pertamax Turbo	1.100	200	6,875	1.608,19	1.675	9,173
Bioethanol		200	6,875	1.608,19	1.700	9,036

Sumber : (Bio-Energy and Fuel Cell System Research Group, 2021)



Gambar 4. Grafik pengaruh beban (W) terhadap torsi (Nm) (Bio-Energy and Fuel Cell System Research Group, 2021)

Secara umum dari tabel 2 dan gambar 4 menunjukkan bahwa pada setiap penambahan beban maka nilai torsi pun mengalami kenaikan. Dari hasil pengujian torsi yang dihasilkan oleh motor gasoline dengan menggerakkan alternator menggunakan bahan bakar Pertamina Turbo dan Bioethanol dari eceng gondok didapatkan nilai torsi sebesar 2,794 Nm untuk beban 300 W, dengan beban 800 W menggunakan bahan bakar Pertamina Turbo dan Bioethanol didapatkan nilai torsi masing-masing 7,256 Nm dan 7.095 Nm, dan dengan beban 1100 W

menggunakan bahan bakar Pertamina Turbo dan Bioethanol didapatkan nilai torsi masing-masing 9,173 Nm dan 9,038 Nm.

Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC)

Konsumsi bahan bakar spesifik (*Specific fuel consumption*) dari masing –masing pengujian pada tiap variasi beban dan putaran dihitung dengan menggunakan persamaan 2.3 berikut.

$$SFC = \frac{\dot{m}f \cdot 10^3}{P_b} \quad \dots (2.3)$$

Besarnya laju aliran massa bahan bakar ($\dot{m}f$) dihitung dengan persamaan 2.4 berikut :

$$\dot{m}f = \frac{sgf \cdot Vf \cdot 10^{-3}}{tf} \times 3600 \quad \dots (2.4)$$

Dengan memasukkan harga sgf , harga tf yang diambil dari percobaan sebelum harga Vf yaitu sebanyak 96 ml, maka laju aliran bahan bakar untuk pengujian dengan menggunakan bahan bakar Pertamina Turbo dengan beban 300 watt dan putaran 2000 rpm.

$$\dot{m}f = \frac{0,740 \cdot 96 \cdot 10^{-3}}{900} \times 3600$$

$$\dot{m}f = 0,28416 \text{ Kg/jam}$$

Dengan didapatnya besar laju aliran bahan bakar, maka dapat dihitung nilai konsumsi bahan bakar spesifiknya. Pada pengujian dengan bahan bakar Pertamina Turbo SFC yang didapat:

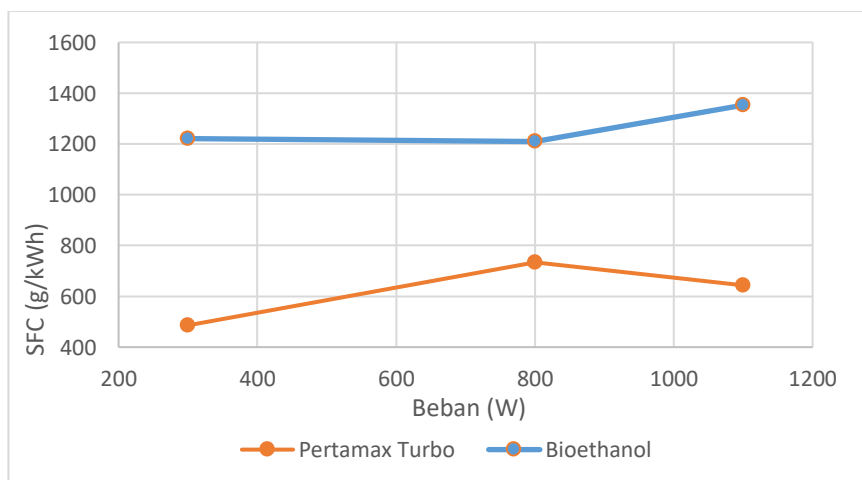
$$SFC = \frac{0,28416 \cdot 10^3}{0,5848} = 485,91 \text{ g/kWh}$$

Setelah data pengujian nilai *Specific Fuel Consumption* (SFC) menggunakan bahan bakar Pertamina Turbo dan Bioethanol Eceng Gondok dengan variasi beban didapatkan maka tabel 3 adalah nilai *Specific Fuel Consumption* (SFC) motor gasoline.

Tabel 1. Data hasil pengujian SFC

Jenis Bahan Bakar	Beban (W)	$\dot{m}f$ (kg/jam)	Pb (W)	SFC (g/kWh)
Pertamax Turbo	300	0,284	499	485,910
Bioethanol		0,714	499	1220,397
Pertamax Turbo	800	0,858	1.000	733,920
Bioethanol		1,415	1.000	1209,634
Pertamax Turbo	1100	1,036	1.375	644,202
Bioethanol		2,176	1.375	1352,855

Sumber : (*Bio-Energy and Fuel Cell System Research Group, 2021*)



Gambar 5. Grafik pengaruh beban (W) terhadap SFC (g/kWh) (*Bio-Energy and Fuel Cell System Research Group, 2021*)

Secara umum pada tabel 3 dan gambar 5 menunjukkan *specific fuel consumption* (SFC) mengalami kenaikan seiring dengan penambahan beban. Nilai SFC dengan bahan bakar Pertamina Turbo terendah terdapat pada beban 300 W dengan SFC = 485,910 (g/kWh) dan nilai tertinggi terdapat pada beban 800 W dengan SFC = 733,920 (g/kWh). Sedangkan dengan penggunaan bahan bakar Bioethanol, nilai SFC terendah terdapat pada beban 800 W dengan SFC = 1.209,634 (g/kWh) dan nilai tertinggi terdapat pada beban 1100 W dengan SFC = 1.352,855 (g/kWh).

Rasio Udara dan Bahan Bakar

Rasio udara bahan bakar (AFR) dari masing-masing jenis pengujian dihitung berdasarkan persamaan 2.5 berikut.

$$AFR = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f} \quad \dots (2.5)$$

Besarnya laju aliran udara (\dot{m}_a) diperoleh dengan membandingkan besarnya tekanan udara masuk yang telah diperoleh melalui pembacaan air flow manometer terhadap kurva viscous flow meter calibration. Pada pengujian ini dianggap tekanan udara sebesar 100 kPa dan temperatur udara 27 °C. Maka besarnya laju aliran udara yang diperoleh harus dikalikan dengan faktor pengkali berikut:

$$C_f = 3564 \times Pa \times \frac{(Ta + 144)}{Ta^{2,5}}$$

$$C_f = 3564 \times 1 \times \frac{(27 + 273 + 144)}{(27 + 273)^{2,5}}$$

$$C_f = 0,946531125$$

Pada pengujian dengan menggunakan bioethanol eceng gondok dengan putaran mesin 2000 rpm dengan melakukan interpolasi pada kurva viscous flow meter didapat nilai \dot{m}_a 4,5 kg/jam, seperti dapat dilihat pada gambar 2.3, hasil pembacaan kemudian dikalikan dengan factor koreksi sehingga didapat massa udara yang sebenarnya:

$$\dot{m}_a = 4,5 \text{ kg/jam} \times 0,946531125$$

$$\dot{m}_a = 4,2593900535 \text{ kg/jam}$$

Dengan cara yang sama maka didapat nilai \dot{m}_a untuk masing-masing pengujian, maka dapat dihitung besarnya AFR. Untuk pengujian dengan menggunakan Pertamina Turbo pada putaran 2000 rpm maka didapatkan besar AFR adalah sebagai berikut.

$$AFR = \frac{4.2593900535}{0,28416}$$

$$AFR = 14,98$$

Dengan cara yang sama maka didapat nilai AFR untuk variasi lainnya yang dapat dilihat pada tabel 4 dibawah ini.

Tabel 4. Data hasil pengujian nilai AFR

Jenis Bahan Bakar	Beban (W)	Vs (m/s)	\dot{m}_a	\dot{m}_f (kg/jam)	Manometer	AFR
Pertamax Turbo	300	3,5	4,259	0,284	4,5	14,989
Bioethanol		3,5	4,259	0,714	4,5	5,968
Pertamax Turbo	800	4	4,733	0,858	5	5,513
Bioethanol		5,3	5,963	1,415	6,3	4,215
Pertamax Turbo	1100	5	5,679	1,036	6	5,482
Bioethanol		4,5	5,206	2,176	5,5	2,393

Sumber : (Bio-Energy and Fuel Cell System Research Group, 2021)

Secara umum dari tabel 4 dapat dilihat bahwa nilai *Air Fuel Ratio* (AFR) mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya beban. Nilai AFR dengan bahan bakar Pertamina Turbo terendah terdapat pada beban 1100 W dengan AFR = 5,482 dan nilai tertinggi terdapat pada beban 300 W dengan AFR = 14,989. Sedangkan dengan penggunaan bahan bakar Bioethanol, nilai AFR terendah terdapat pada beban 1100 W dengan AFR = 2,393 dan nilai tertinggi terdapat pada beban 300 W dengan AFR = 5,968.

Efisiensi Generator

Efisiensi generator yang di gerakkan oleh motor gasoline Firman SFE 270 dengan bahan bakar bioethanol eceng gondok didapatkan dengan menggunakan persamaan 2.6 berikut ini:

$$\eta_{gen} = \frac{\text{Beban}}{W_{Tactual}} \times 100\% \quad \dots(2.6)$$

Dengan memanfaatkan putaran motor gasoline berbahan bakar Pertamina Turbo dan Bioethanol eceng gondok yang didapatkan hasil untuk beban dan daya aktualnya maka dapat di hitung untuk mendapatkan nilai efisiensi generator sebagai berikut:

$$\begin{aligned} &= \frac{584,795}{3000} \times 100\% \\ &= 19,493 \% \end{aligned}$$

Setelah data pengujian efisiensi generator menggunakan bahan bakar Pertamina Turbo dan Bioethanol Eceng Gondok dengan variasi beban didapatkan maka tabel 5 adalah data efisiensi generator.

Tabel 5. Data hasil pengujian nilai efisiensi generator

Jenis Bahan Bakar	Beban (W)	Wt aktual (W)	η (%)
Pertamax Turbo	584.795	3000	19.493
Bioethanol	584.795	3000	19.493
Pertamax Turbo	1169.61	3000	38.987
Bioethanol	1169.61	3000	38.987
Pertamax Turbo	1608.19	3000	53.606
Bioethanol	1608.19	3000	53.606

Sumber : (Bio-Energy and Fuel Cell System Research Group, 2021)

Secara umum pada tabel 5 menunjukkan efisiensi generator mengalami peningkatan seiring meningkatnya juga beban. Dari pengujian didapatkan nilai efisiensi generator yang sama antara pemakaian bahan bakar Pertamina Turbo dan Bioethanol pada pembebanan yang sama, yaitu 19,493 % nilai efisiensi generator dengan pembebanan 300 W, 38,987 % nilai efisiensi generator pada pembebanan 800 W, dan 53,606 % nilai efisiensi generator untuk pembebanan 1.100 W.

Pengujian Nilai Kalor Bahan Bakar

Pengujian nilai kalor bahan bakar dilakukan di Laboratorium Prestasi Mesin Universitas Sumatera Utara dengan menggunakan alat Bom Kalorimeter. Hasil perhitungan untuk nilai kalor pada setiap bahan bakar untuk pengujian pertama hingga ketiga dan nilai kalor rata-rata dapat dilihat pada tabel 6 dan 7 berikut.

Tabel 6. Hasil pengujian nilai kalor bahan bakar Pertamina Turbo.

Pertamax Turbo	Percobaan		
	I	II	III
T1 (°C)	26.76	27.61	28.37
T2 (°C)	27.55	28.34	29.18
HHV (kJ/kg)	54,411.90	50,000.128	55882.496
HHV rata-rata (kJ/kg)	53431.50		
LHV rata-rata (kJ/kg)	50191.50		

Tabel 7. Hasil pengujian nilai kalor bahan bakar Bioethanol.

Bioethanol	Percobaan		
	I	II	III
T1 (°C)	26.20	26.69	27.13
T2 (°C)	26.65	27.14	27.60

HHV (kJ/kg)	29,411.84	30,882.43	30882.43
HHV rata-rata (kJ/kg)	30392.23		
LHV rata-rata (kJ/kg)	27152.23		

Emisi Gas Buang

Pengujian emisi gas untuk menentukan kadar CO pada bahan bakar Pertamina Turbo dan bioethanol murni dari eceng gondok dapat di lihat pada tabel 8 - 11 berikut.

Tabel 8. Kandungan CO pada gas buang

Jenis Bahan Bakar	Beban (W)	CO (PPM)			Rata - Rata
		5 menit	10 menit	15 menit	
Pertamax Turbo	300	1292	1292	1292	1292.0
Bioethanol		1291	1290	1291	1290.7
Pertamax Turbo	800	1292	1292	1291	1291.7
Bioethanol		1291	1290	1291	1290.7
Pertamax Turbo	1100	1291	1291	1291	1291.0
Bioethanol		1291	1291	1290	1290.7

Sumber : (Bio-Energy and Fuel Cell System Research Group, 2021)

Dari tabel 8 secara umum dapat dilihat kandungan gas buang CO untuk bahan bakar Bioethanol lebih kecil daripada Pertamina Turbo. Gas CO yang terdapat pada gas buang untuk beban 300W dengan penggunaan bahan bakar Pertamina Turbo didapati rata-rata 1292 PPM, dan untuk Bioethanol 1290,7 PPM. Pada beban 800W untuk penggunaan bahan bakar Pertamina Turbo didapati rata-rata 1291.7 PPM, dan untuk Bioethanol 1290,7 PPM. Pada beban 1100W untuk penggunaan bahan bakar Pertamina Turbo didapati rata-rata 1291 PPM, dan untuk Bioethanol 1290,7 PPM.

Hidrogen sulfide (H_2S) adalah suatu gas yang tidak berwarna, sangat beracun, mudah terbakar dan memiliki karakteristik bau telur busuk. Paparan H_2S menjadi fatal jika konsentrasinya 500 – 1000 ppm, namun konsentrasi lebih rendah sebesar 10 – 500 ppm dapat menyebabkan berbagai macam gejala gangguan pernafasan, batuk-batuk, iritasi mata dan kehilangan kesadaran. Pengujian emisi gas untuk menentukan kadar H_2S pada bahan bakar Pertamina Turbo dan bioethanol murni dari eceng gondok dapat di lihat pada tabel 9 berikut.

Tabel 9. Kandungan H_2S pada gas buang

Jenis Bahan Bakar	Beban (W)	H_2S (PPM)			Rata - Rata
		5 menit	10 menit	15 menit	
Pertamax Turbo	300	224	373	261	286.0
Bioethanol		0	0	0	0.0
Pertamax Turbo	800	158	201	230	196.3
Bioethanol		72	72	92	78.7
Pertamax Turbo	1100	965	873	789	875.7
Bioethanol		442	342	753	512.3

Sumber : (Bio-Energy and Fuel Cell System Research Group, 2021)

Dari tabel 9 secara umum dapat dilihat kandungan gas buang H_2S untuk bahan bakar Bioethanol jauh lebih kecil daripada Pertamina Turbo. Gas H_2S yang terdapat pada gas buang untuk beban 300W dengan penggunaan bahan bakar Pertamina Turbo didapati rata-rata 286 PPM, dan untuk Bioethanol sama sekali tidak terdapat. Pada beban 800W untuk penggunaan bahan bakar Pertamina Turbo didapati rata-rata 196.3 PPM, dan untuk Bioethanol 78.7 PPM. Pada beban 1100W untuk penggunaan bahan bakar Pertamina Turbo didapati rata-rata 875.7 PPM, dan untuk Bioethanol 512.3 PPM.

Combustible Gas adalah gas yang mudah terbakar atau menyala ketika dicampur dan dengan oksigen. Biasanya *combustible gas* dalam bentuk hidrokarbon (H_2 , CH_4). Pengujian emisi gas untuk menentukan kadar EX pada bahan bakar Pertamina Turbo dan bioethanol murni dari eceng gondok dapat di lihat pada tabel 10 berikut.

Tabel 10. Kandungan EX pada gas buang

Jenis Bahan Bakar	Beban (W)	EX (%LEL)			Rata - Rata
		5 menit	10 menit	15 menit	
Pertamax Turbo	300	7	14	9	10.0
Bioethanol		18	8	12	12.7
Pertamax Turbo	800	23	85	88	65.3
Bioethanol		5	6	11	7.3
Pertamax Turbo	1100	53	72	73	66.0
Bioethanol		72	72	121	88.3

Sumber : (Bio-Energy and Fuel Cell System Research Group, 2021)

Dari tabel 10 gas EX yang terdapat pada gas buang untuk beban 300W dengan penggunaan bahan bakar Pertamax Turbo didapati rata-rata 10 %LEL, dan untuk Bioethanol 12.7 %LEL. Pada beban 800W untuk penggunaan bahan bakar Pertamax Turbo didapati rata-rata 65.3%LEL, dan untuk Bioethanol 7.3 %LEL. Pada beban 1100W untuk penggunaan bahan bakar Pertamax Turbo didapati rata-rata 66 %LEL, dan untuk Bioethanol 88.3 %LEL.

Kandungan O₂ dengan putaran mesin berbanding terbalik dengan kandungan emisi lainnya, dimana O₂ merupakan unsur yang diperlukan untuk mendapatkan proses pembakaran yang sempurna, maka kadar oksigen yang masuk ke dalam ruang bakar harus mencukupi. Dalam ruang bakar, molekul bensin dan molekul udara dapat dengan mudah bertemu untuk bereaksi dengan sempurna pada proses pembakaran. Perbandingan kadar sisa O₂ yang terdapat dalam gas buang masing masing sampel pengujian dapat dilihat pada tabel 11.

Tabel 11. Kandungan O₂ pada gas buang.

Jenis Bahan Bakar	Beban (W)	O ₂ (%VOL)			Rata - Rata
		5 menit	10 menit	15 menit	
Pertamax Turbo	300	18.1	18.2	18.1	18.1
Bioethanol		18.9	19	18.4	18.8
Pertamax Turbo	800	13.1	10.2	10.6	11.3
Bioethanol		14.8	13.3	12.5	13.5
Pertamax Turbo	1100	9.3	11.3	11.7	10.8
Bioethanol		15.3	15	14.1	14.8

Sumber : (Bio-Energy and Fuel Cell System Research Group, 2021)

Dari tabel 11 secara umum dapat dilihat kandungan gas buang O₂ untuk bahan bakar Bioethanol sedikit lebih besar daripada Pertamax Turbo. Gas O₂ yang terdapat pada gas buang untuk beban 300W dengan penggunaan bahan bakar Pertamax Turbo didapati rata-rata 18.1 %VOL, dan untuk Bioethanol 18.8 %VOL. Pada beban 800W untuk penggunaan bahan bakar Pertamax Turbo didapati rata-rata 11.3 %VOL, dan untuk Bioethanol 13.5 %VOL. Pada beban 1100W untuk penggunaan bahan bakar Pertamax Turbo didapati rata-rata 10.8 %VOL, dan untuk Bioethanol 14.8 %VOL.

D. STATUS LUARAN: Tuliskan jenis, identitas dan status ketercapaian setiap luaran wajib dan luaran tambahan (jika ada) yang dijanjikan. 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.

Luaran Wajib:

Tahun Luaran	Jenis Luaran	Status Target Capaian (accepted, published, terdaftar atau granted, atau status lainnya)	Keterangan (url dan nama jurnal, penerbit, url paten, keterangan sejenis lainnya)
2021	Publikasi Ilmiah Jurnal	Dalam proses perampungan	

	Internasional Terindeks di Pengindeks Bereputasi	manuscript. Analysis of the performance of an internal combustion engine fueled by bioethanol from water hyacinth	Draft
--	--	--	-------

Luaran Tambahan:

Tahun Luaran	Jenis Luaran	Status Target Capaian (accepted, published, terdaftar atau granted, atau status lainnya)	Keterangan (url dan nama jurnal, penerbit, url paten, keterangan sejenis lainnya)
2021	Prosiding dalam pertemuan ilmiah Internasional.	Dalam proses persiapan manuscript (Rancang bangun mesin pemotong eceng gondok untuk proses produksi bioethanol)	Draft
2021	Paten (Judul: Metode dan Aparatus Produksi Bioethanol dari Eceng Gondok)	Status: KASUBDIT PEMERIKSAAN - MENUNGGU APPROVAL PEMERIKSAAN	https://pdki-indonesia.dgip.go.id/detail/S00202010858?type=paten&keyword=Bioethanol+eceng+gondok

E. PERAN MITRA: Tuliskan realisasi kerjasama dan kontribusi Mitra baik *in-kind* maupun *in-cash* (untuk Penelitian Terapan, Penelitian Pengembangan, PTUPT, PPUPT serta KRUP). Bukti pendukung realisasi kerjasama dan realisasi kontribusi mitra dilaporkan sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Bukti dokumen realisasi kerjasama dengan Mitra diunggah melalui Simlitabmas.

Tidak ada Mitra, karena masih penelitian dasar.

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 utama yang dihadapi adalah masih dalam situasi pandemi Covid-19, yang menyebabkan adanya pembatasan kegiatan di kampus. Hal ini membuat waktu pelaksanaan menjadi bergeser. Dan semoga dalam 2 bulan kedepan, tim peneliti sudah mendapatkan hasil berupa diterimanya manuscript jurnal internasional bereputasi dan prosiding internasional bereputasi.

G. RENCANA TAHAPAN SELANJUTNYA: Tuliskan dan uraikan rencana penelitian di tahun berikutnya berdasarkan indikator luaran yang telah dicapai, rencana realisasi luaran wajib yang dijanjikan dan tambahan (jika ada) di tahun berikutnya serta *roadmap* penelitian keseluruhan. Pada bagian ini diperbolehkan untuk melengkapi penjelasan dari setiap tahapan dalam metoda yang akan direncanakan termasuk jadwal berkaitan dengan strategi untuk mencapai luaran seperti yang telah dijanjikan dalam proposal. Jika diperlukan, penjelasan dapat juga dilengkapi dengan gambar, tabel, diagram, serta pustaka yang relevan. Jika laporan kemajuan merupakan laporan pelaksanaan tahun terakhir, pada bagian ini dapat dituliskan rencana penyelesaian target yang belum tercapai.

Rencana tahapan selanjutnya:

- Menulis semua hasil yang sudah didapat kedalam bentuk karya tulis ilmiah untuk dikirim ke publisher International Journal yang bereputasi.
- Melakukan kegiatan tambahan berupa pencampuran bahan baku TKKS dan eceng gondok sebagai bahan produksi bio-ethanol.
- Melakukan kajian terhadap optimasi penggunaan ragi untuk proses produksi bioethanol, terutama menyangkut masa produksi dan kadar bioethanol yang dihasilkan.

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

- [1] Arjuna, J. (2017). Performansi Mesin Otto Yang Menggunakan Bahan Bakar Biogas Dari Limbah Cair Sawit. Departemen Teknik Mesin Universitas Sumatera Utara.

Daftar capaian Luaran Wajib belum diisi:

1. Artikel di Jurnal Internasional Terindeks di Pengindeks Bereputasi, target: Accepted

PROTEKSI ISI LAPORAN KEMAJUAN PENELITIAN

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

LAPORAN KEMAJUAN PENELITIAN MULTI TAHUN

ID Proposal: 54c6620a-37ff-440d-a429-f685a9144b16
Laporan Kemajuan Penelitian: tahun ke-2 dari 2 tahun

1. IDENTITAS PENELITIAN

A. JUDUL PENELITIAN

Kajian Penerapan Energi Alternatif Berbasis Mikrohidro dan Tenaga Surya untuk Meningkatkan Ketahanan Energi Masyarakat di Kabupaten Langkat

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

Bidang Fokus RIRN / Bidang Unggulan Perguruan Tinggi	Tema	Topik (jika ada)	Rumpun Bidang Ilmu
Energi	Kemandirian Teknologi Pembangkit Listrik	Rancang bangun PLT mikro hidro darat dan marine	Teknik Industri

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	2

2. IDENTITAS PENGUSUL

Nama, Peran	Perguruan Tinggi/ Institusi	Program Studi/ Bagian	Bidang Tugas	ID Sinta	H-Index
ROSNANI GINTING Ketua Pengusul	Universitas Sumatera Utara	Pendidikan Profesi Insinyur		6024806	2
AULIA ISHAK S.T, M.T, Ph.D Anggota Pengusul 1	Universitas Sumatera Utara	Teknik Industri	Perancangan dan Pengolahan Data	6040887	1

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 Calon Pengguna	Mahadi Bangun

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>)
2	Paten produk	Terbit nomor pendaftaran paten sederhana	Efisiensi

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>)
2	Artikel di Jurnal Internasional Terindeks di Pengindeks Bereputasi	Accepted	Songklanakaran Journal of Science and Technology

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 2 Tahun Rp. 104,700,000

Tahun 1 Total Rp. 0

Tahun 2 Total Rp. 104,700,000

Jenis Pembelanjaan	Item	Satuan	Vol.	Biaya Satuan	Total
Analisis Data	HR Pengolah Data	P (penelitian)	1	1,500,000	1,500,000
Analisis Data	Penginapan	OH	4	1,000,000	4,000,000
Analisis Data	HR Sekretariat/Administrasi Peneliti	OB	6	1,200,000	7,200,000
Analisis Data	Biaya konsumsi rapat	OH	30	20,000	600,000
Analisis Data	Transport Lokal	OK (kali)	40	50,000	2,000,000
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	Unit	1	500,000	500,000
Bahan	ATK	Paket	8	1,000,000	8,000,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Biaya seminar internasional	Paket	1	3,000,000	3,000,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Publikasi artikel di Jurnal Internasional	Paket	1	9,000,000	9,000,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Biaya Luaran Iptek lainnya (purwa rupa, TTG dll)	Paket	1	40,000,000	40,000,000
Pelaporan, Luaran	Biaya pembuatan dokumen uji	Paket	1	1,400,000	1,400,000

Jenis Pembelanjaan	Item	Satuan	Vol.	Biaya Satuan	Total
Wajib, dan Luaran Tambahan	produk				
Pengumpulan Data	Transport	OK (kali)	10	500,000	5,000,000
Pengumpulan Data	HR Petugas Survei	OH/OR	40	200,000	8,000,000
Pengumpulan Data	Biaya konsumsi	OH	100	25,000	2,500,000
Sewa Peralatan	Peralatan penelitian	Unit	1	5,000,000	5,000,000
Sewa Peralatan	Transport penelitian	OK (kali)	14	500,000	7,000,000

6. KEMAJUAN PENELITIAN

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

Posisi ketahanan energi Indonesia semakin merosot dalam beberapa tahun terakhir. Penyebabnya, ketidakseimbangan laju ketersediaan energi dengan kebutuhan. Berdasarkan data yang dirilis Dewan Energi Dunia, Indonesia berada di peringkat ke-69 dari 129 negara pada 2014. Ketahanan energi meliputi tiga aspek, yakni ketersediaan sumber energi, keterjangkauan pasokan energi, dan kelanjutan pengembangan energi baru terbarukan. Peringkat itu melorot dibandingkan dengan tahun-tahun sebelumnya. Pada 2010, Indonesia ada di peringkat ke-29 dan pada 2011 turun ke peringkat ke-47.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh tim peneliti pada tahun 2017-2019 menemukan bahwa Kabupaten Langkat memiliki potensi yang cukup untuk pengembangan dan penerapan energy alternative demi memperkuat ketahanan energy masyarakat, salah duanya adalah mikro hidro dan tenaga surya.

Tujuan penelitian ini, yaitu: (a) mengidentifikasi potensi energi alternatif terbarukan berdasarkan kondisi geografis dan sosial masyarakat di kabupaten Langkat, (b) mengkaji besaran potensi sumber energi alternatif terbarukan di kabupaten Langkat, (c) mengkaji peluang pengembangan dan pemanfaatan sumber energi alternatif terbarukan dan (d) mengimplementasikan pemanfaatan sumber energi alternatif terbarukan bagi masyarakat.

Penelitian pada Tahun Pertama lebih diarahkan kepada studi lapangan dan kajian literatur dan FGD dengan lebih memfokuskan kepada kegiatan identifikasi potensi energi.

Penelitian Tahun Kedua fokus kepada Implementasi Energi alternatif. Desain pembangkit energy yang telah dihasilkan di tahun pertama mulai diuji dan diterapkan di lokasi percontohan yang telah dipilih sebelumnya.

Luaran yang ditargetkan adalah; (1) kajian hasil identifikasi potensi energi alternatif terbarukan sebagai tindak lanjut dari Renstra Penelitian USU, (2) pemanfaatan sumber energi terbarukan (renewable energy) sesuai dengan Renstra Penelitian USU, (3) input data pembangunan bagi Pemerintah Daerah, (4) Publikasi Karya Ilmiah Internasional atau Nasional, (5) Keikutsertaan dalam Pertemuan Ilmiah Internasional atau Nasional, (6) Penerapan Teknologi Tepat Guna

Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT) ditargetkan pada Skala 5.

B. KATA KUNCI: Tuliskan maksimal 5 kata kunci.

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 meliputi 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.

Identifikasi keinginan dan kepuasan masyarakat dilakukan dengan melakukan survei dan melakukan penyebaran kuesioner. Hasil dari identifikasi keinginan dan kepuasan tersebut diterjemahkan kedalam bentuk atribut rancangan produk dengan menggunakan QFD. Berikut adalah gambar dari kegiatan penyebaran kuesioner.

Hasil survei menggunakan kuesioner kano diolah untuk menentukan kategori setiap atribut berdasarkan model kano. Pengolahan hasil survei model kano secara tradisional dihitung jumlah atau nilai masing-masing kano pada tiap-tiap atribut terhadap semua responden. Jumlah nilai kategori kano setiap atribut terhadap semua responden yang telah diperoleh selanjutnya ditentukan kategori Kano tiap atribut dengan menggunakan *Blauth's formula* [1].

1. Jumlah nilai (*one dimensional + attractive + must be*) > jumlah nilai (*indifferent + reverse + questionable*) maka *grade* yang diperoleh adalah nilai yang paling maksimum dari (*one dimensional, attractive, must be*)
2. Jumlah nilai (*one dimensional + attractive + must be*) < jumlah nilai (*indifferent + reverse + questionable*) maka *grade* yang diperoleh adalah nilai yang paling maksimum dari (*indifferent, reverse, questionable*).
3. Jumlah nilai (*one dimensional + attractive + must be*) = jumlah nilai (*indifferent + reverse + questionable*) maka *graded* diperoleh adalah nilai yang paling maksimum diantara semua kategori kano yaitu (*one dimensional, attractive, must be* dan *indifferent, reverse, questionable*).

Hasil perhitungan dan analisa pengklasifikasian kategori Kano yang diperoleh dapat digunakan untuk pemetaan kategori Kano tiap atribut keinginan konsumen (CR) terhadap responden.

Tabel Pemetaan Kategori Kano Tiap Atribut Menurut *Blauth's formula*

No	Atribut	Kategori Kano
1	Harga Pembangkit	A
2	Biaya Operasional dan Perawatan	A
3	Faktor Keamanan	M
4	Kemudahan Pengoperasian dan Perawatan	A
5	Daya Tahan Pembangkit	M
6	Dampak Lingkungan	A
7	Luaran Energi (Output)	A
8	Bentuk Desain (Estetika)	A

Dapat dilihat bahwa terdapat 6 atribut yang berada pada kategori *Attractive*, dan 2 atribut yang berada pada kategori kategori *Must be*.

Penentuan *Customer Requirement* dilakukan melalui *survey* dengan menggunakan kuesioner yang dibagikan secara online menggunakan *google form*. CR tersebut kemudian dibagi berdasarkan kategori *attractive, one dimensional*, ataupun *must* berdasarkan pembagian kepuasan Model Kano [2].

Tabel *Customer Requirement* (CR) terhadap Pemanfaatan Sumber Energi Listrik Alternatif

Kebutuhan Konsumen
Harga Pembangkit
Biaya Operasional dan Perawatan

Faktor Keamanan
Kemudahan Pengoperasian dan Perawatan
Daya Tahan Pembangkit
Dampak Lingkungan
Luaran Energi (Output)

Penentuan tingkat kepentingan konsumen digunakan untuk mengetahui sejauh mana konsumen memberikan penilaian atau harapan dari kebutuhan konsumen yang ada. Penilaian tingkat kepentingan terhadap variabel kebutuhan konsumen diperoleh berdasarkan nilai modus pada kuesioner. Nilai modus yang menjadi tingkat kepentingan diperoleh berdasarkan frekuensi jawaban responden yang paling banyak terhadap setiap variabel.

Tabel *Customer Importance*(CI) terhadap Kategori Kano

Kebutuhan Konsumen	Hasil Kuesioner					CI
	Skala Pengukuran					
	1	2	3	4	5	
Harga Pembangkit	0	0	0	0	1	5
Biaya Operasional dan Perawatan	0	0	0	0	1	5
Faktor Keamanan	0	0	1	0	0	3
Kemudahan Pengoperasian dan Perawatan	0	0	0	0	1	5
Daya Tahan Pembangkit	0	0	1	0	0	3
Dampak Lingkungan	0	0	0	0	1	5
Luaran Energi (Output)	0	0	0	0	1	5
Bentuk Desain (Estetika)	0	0	0	0	1	5

Penentuan karakteristik teknis produk dilakukan dengan cara berdiskusi dan melakukan wawancara dengan pihak terkait, dalam hal ini dilakukan wawancara terhadap warga setempat yang paham terhadap Pemanfaatan Sumber Energi Listrik Alternatif. Karakteristik teknis produk dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel Karakteristik Teknis Pemanfaatan Sumber Energi Listrik Alternatif

No	Karakteristik Teknis Produk
1	<i>Kecanggihan Teknologi,</i>
2	<i>Jenis Bahan</i>
3	<i>Mekanisme Produk</i>
4	<i>Kapasitas Generator</i>
5	<i>Biaya Produksi</i>

Penentuan hubungan antara masing-masing karakteristik teknis yang ada dilaksanakan dengan menganalisis apakah antara karakteristik teknis tersebut terdapat hubungan yang saling mendukung (positif) atau bertolak belakang (negatif).

Penilaian yang diberikan akan berdasarkan aturan :

- Nilai 9 : menunjukkan hubungan yang kuat
- Nilai 3 : menunjukkan hubungan yang sedang
- Nilai 1 : menunjukkan hubungan yang lemah
- Nilai 0 : menunjukkan tidak ada hubungan sama sekali

Relation Matrix dilaksanakan untuk mengetahui tingkat hubungan antara keinginan konsumen dan karakteristik teknis produk. Tingkat hubungan dimulai dari skala kuat, sedang, lemah, dan tidak berhubungan sama sekali. Penilaian yang diberikan akan berdasarkan aturan :

- Nilai 9 : menunjukkan hubungan yang kuat
- Nilai 3 : menunjukkan hubungan yang sedang
- Nilai 1 : menunjukkan hubungan yang lemah
- Nilai 0 : menunjukkan tidak ada hubungan sama sekali

Penentuan *Planning Matrix* dilakukan dengan melihat nilai kepuasan konsumen terhadap *Pembangkit Tenaga Alternatif* terhadap atribut-atribut pelayanan yang diberikan. Penyusunan *Planning Matrix* ini dilakukan untuk mendapatkan urutan atau prioritas variabel kebutuhan konsumen yang akan diusahakan dipenuhi oleh pihak perusahaan. Matriks perencanaan ini merupakan hasil kalkulasi dari beberapa jenis data dan oleh karena itu dalam menyusun matriks ini diperlukan beberapa tahapan.

Pengukuran tingkat kepuasan konsumen menggunakan rumus:

$$\text{Weighted Average Performance} = \frac{\sum \text{Number of Respondents at Performance Value } i}{\text{Total Number of Respondent S}}$$

Cara yang dapat digunakan dalam menghitung nilai rasio perbaikan ini adalah dengan membandingkan nilai target kualitas produk yang akan dicapai pada masa mendatang dengan tingkat kualitas penilaian konsumen (kepuasan) terhadap produk. Nilai target diperoleh dari tingkat kepentingan (harapan) konsumen terhadap setiap variabel kebutuhan.

$$\text{Improvement Ratio} = \frac{\text{Goal}}{\text{Current Satisfaction Performance}}$$

Dalam tahapan ini akan didapatkan *salespoint* (nilai jual) dari *variabel Pembangkit Tenaga Alternatif* untuk masa mendatang yang diharapkan akan meningkatkan kepuasan konsumen untuk menjadi faktor dalam persaingannya. Pada tahapan ini, perusahaan dihadapkan pada keputusan untuk memilih variabel-variabel kebutuhan yang paling berpengaruh dan yang tidak berpengaruh bagi peningkatan keuntungannya. Untuk itulah, diperlukan suatu skala prioritas yang biasanya menggunakan 3 nilai skala, yakni :

1,0 : diberikan pada suatu variabel kebutuhan jika variabel tersebut dianggap tidak terlalu berpengaruh bagi peningkatan keuntungan perusahaan sehingga kurang mendapat perhatian pihak perusahaan.

1,2 : diberikan pada suatu variabel kebutuhan apabila pihak manajemen beranggapan bahwa apabila variabel tersebut bisa diperoleh maka akan berpengaruh bagi peningkatan keuntungan perusahaan

1,5 : diberikan pada suatu variabel kebutuhan apabila pihak manajemen beranggapan bahwa apabila variabel tersebut bisa dipenuhi maka akan sangat berpengaruh bagi peningkatan keuntungan perusahaan

Besarnya nilai bobot absolut dihitung dengan rumus :

Bobot absolut = tingkat kepentingan pelanggan x rasio perbaikan x *sales point*

Besarnya nilai bobot perencanaan relatif dihitung dengan rumus :

$$\text{Bobot Relatif} = \frac{\text{bobot absolut variabel kebutuhan}}{\text{total bobt absolut kebutuhan}} \times 100 \%$$

Penentuan *Technical Matrix* dilakukan berdasarkan ukuran kinerja dari HoQ yang terdiri dari tiga aspek yaitu tingkat kesulitan, tingkat kepentingan dan perkiraan biaya [3].

Tingkat kesulitan ditentukan dari hubungan karakteristik teknis. Perhitungan dilakukan dengan menterjemahkan semua bobot nilai hubungan kemudian membagi bobot dari tiap-tiap karakteristik teknik dengan jumlah bobot tadi. Selanjutnya, tingkat kesulitan diberikan berdasarkan rentang persentase yang diperoleh.

Besar nilai tingkat kesulitan dapat dihitung dengan cara menghitung terlebih dahulu total bobot untuk masing-masing hubungan antara sesama karakteristik

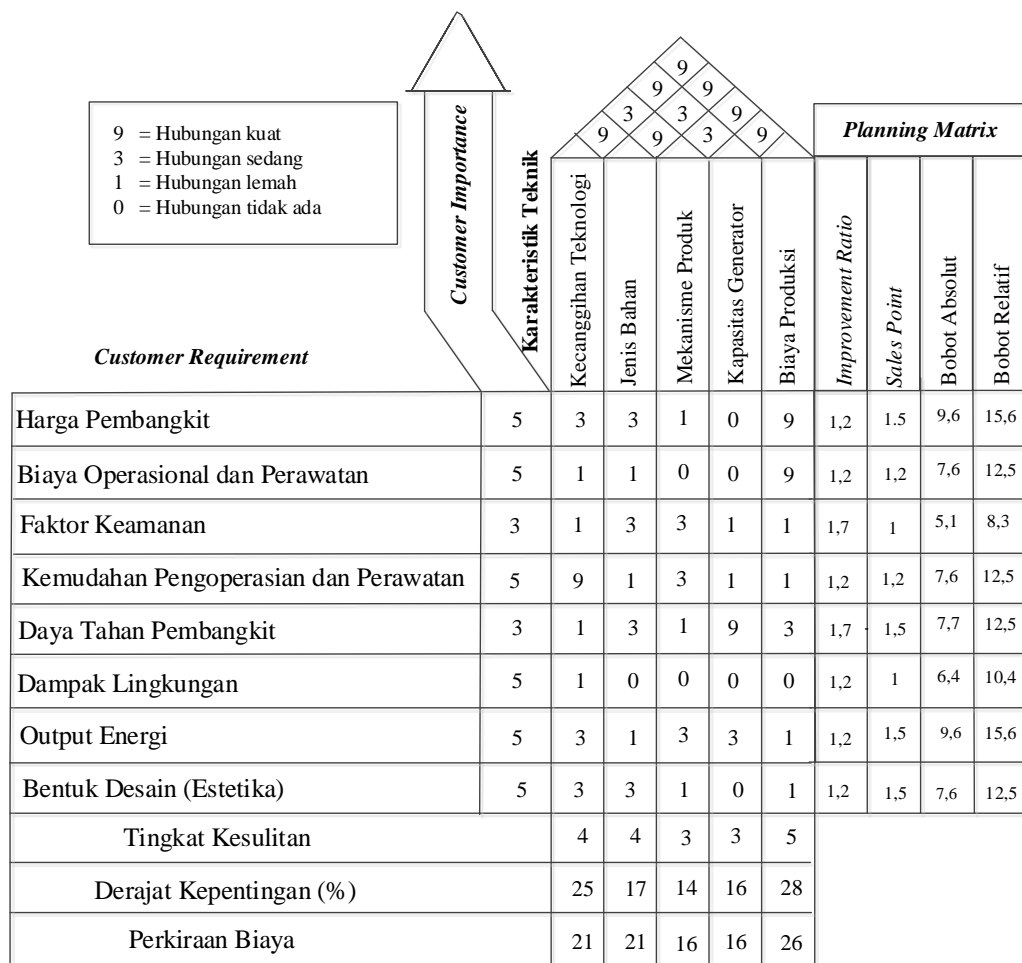
Besar nilai derajat kepentingan dapat dihitung dengan cara menghitung terlebih dahulu total bobot untuk masing-masing hubungan antara atribut produk dengan karakteristik teknis.

Perhitungan derajat kepentingan untuk atribut produk dengan karakteristik teknis menggunakan rumus :

$$\text{Derajat kepentingan} = \frac{\text{Bobot tiap karakteristik teknis dengan atribut}}{\text{Total bobot tiap karakteristik teknis dengan atribut}} \times 100\%$$

Faktor tingkat kesulitan dijadikan sebagai dasar perkiraan biaya karena semakin sulit suatu karakteristik teknik dibuat, akan semakin mahal pula alokasi biayanya. Perkiraan biaya dinyatakan dalam persen dan dipengaruhi berbagai pertimbangan dari si perancang sendiri [4].

Data yang telah didapatkan pada langkah-langkah sebelumnya, selanjutnya dibuat matriks HOQ. Adapun QFD Pemanfaatan Sumber Energi Listrik Alternatif .



Gambar QFD Fase I Pemanfaatan Sumber Energi Listrik Alternatif

Hasil QFD Fase I Pemanfaatan Sumber Energi Listrik Alternatif menunjukkan bahwa karakteristik yang paling penting untuk segera diperbaiki adalah Biaya Produksi, Kecanggihan Teknoogi dan Jenis Bahan dengan tingkat derajat kepentingan, tingkat kesulitan dan perkiraan biaya yang paling tinggi. Dari *planning matrix* diperoleh atribut produk berupa Harga Pembangkit dan Output Energi prioritas perbaikan karena memiliki bobot terbesar.

Karakteristik teknis yang memiliki derajat kepentingan tertinggi hingga terendah adalah Biaya Produksi, Kecanggihan Teknologi, Jenis Bahan, Kapasitas Generator, dan Mekanisme Produk.

D. STATUS LUARAN: Tuliskan jenis, identitas dan status ketercapaian setiap luaran wajib dan luaran tambahan (jika ada) yang dijanjikan. 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.

Draf Paten sederhana sedang direvisi. Draf Paper untuk jurnal internasional sedang dalam proses penyusunan dan editing sembari menunggu penyelesaian keseluruhan hasil penelitian. Paper untuk IEOM 2021 telah dipresentasikan pada 13 September 2021.

E. PERAN MITRA: Tuliskan realisasi kerjasama dan kontribusi Mitra baik *in-kind* maupun *in-cash* (untuk Penelitian Terapan, Penelitian Pengembangan, PTUPT, PPUPT serta KRUP). Bukti pendukung realisasi kerjasama dan realisasi kontribusi mitra dilaporkan sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Bukti dokumen realisasi kerjasama dengan Mitra diunggah melalui Simlitabmas.

Mitra yang adalah tokoh masyarakat setempat berperan menjembatani interaksi dengan warga desa pengguna dan percontohan. Kondisi bentang alam yang menyulitkan terkompensasi dengan kemampuan mitra untuk menjangkau warga di wilayah terpencil tersebut. Mitra juga mampu melibatkan para tokoh masyarakat lain dalam proses pengumpulan data, terutama para stakeholder lokal atau setempat. Mitra juga membantu untuk menemukan warga yang bersedia sebagai pengguna alat percontohan.

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.

Pemenuhan target submit jurnal hasil penelitian diperkirakan akan tertunda karena menunggu penyelesaian penelitian. Kendala Pandemi COVID-19 membatasi keleluasaan interaksi dengan responden.

G. RENCANA TAHAPAN SELANJUTNYA: Tuliskan dan uraikan rencana penelitian di tahun berikutnya berdasarkan indikator luaran yang telah dicapai, rencana realisasi luaran wajib yang dijanjikan dan tambahan (jika ada) di tahun berikutnya serta *roadmap* penelitian keseluruhan. Pada bagian ini diperbolehkan untuk melengkapi penjelasan dari setiap tahapan dalam metoda yang akan direncanakan termasuk jadwal berkaitan dengan strategi untuk mencapai luaran seperti yang telah dijanjikan dalam proposal. Jika diperlukan, penjelasan dapat juga dilengkapi dengan gambar, tabel, diagram, serta pustaka yang relevan. Jika laporan kemajuan merupakan laporan pelaksanaan tahun terakhir, pada bagian ini dapat dituliskan rencana penyelesaian target yang belum tercapai.

Pembuatan prototipe, penyelesaian draf paten serta penyelesaian draf jurnal.

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

1. Butdee S. Trakunsaranakom. (2010). QFDE Combined with VALUE ENGINEERING Framework to Formulate and Respond to Functional Design for a High Temperature Machine (HTM). C. Asian International Journal of Science and Technology in Production and Manufacturing Engineering. 3(4). Pp.77 – 84
2. C. H. Yeh., Jay C. Y., Huang., C. K. Yu. (2011). Integration of Four-Phase QFD and VALUE ENGINEERING in Product R&D: A Notebook Case Study. Research in Engineering Design. Vol. 22, Issue 3, pp 125 – 141
3. Eshan S. Jaiswal . (2012). A Case Study on Quality Function Deployment (QFD), IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE) Vol. 3, Issue 6 (Nov-Dec. 2012), Pp 27 – 35
4. Kao, H.-P., Su, E., & Wang, B. (2002). IQFD: A blackboard-based multiagent system for supporting concurrent engineering projects. International Journal of Production Research, 40(5), pp. 1235 – 1262
5. Nagamachi, M., (1997). KANO: The Framework And Methods. In: M. Nagamachi (Ed.), KANO 1. Kure: Kaibundo Publishing, 1–9

Daftar capaian Luaran Wajib belum diisi:

1. Paten produk, target: Terbit nomor pendaftaran paten sederhana

Daftar capaian Luaran Tambahan belum diisi:

1. Artikel di Jurnal Internasional Terindeks di Pengindeks Bereputasi, target: Accepted

PROTEKSI ISI LAPORAN KEMAJUAN PENELITIAN

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

LAPORAN KEMAJUAN PENELITIAN MULTI TAHUN

ID Proposal: 511ea777-9e72-4e0a-ba9b-7883f8768b9c
Laporan Kemajuan Penelitian: tahun ke-2 dari 2 tahun

1. IDENTITAS PENELITIAN

A. JUDUL PENELITIAN

Pengaruh Siklus Dry Steam, Flash Steam dan Binary Cycle di Geothermal Energy

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

Bidang Fokus RIRN / Bidang Unggulan Perguruan Tinggi	Tema	Topik (jika ada)	Rumpun Bidang Ilmu
Energi	Teknologi Konservasi Energi	Teknologi hybrid dalam pemanfaatan sumber energi terbarukan	Teknik Listrik Tenaga

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 Dasar	SBK Riset Dasar	SBK Riset Dasar	2	2

2. IDENTITAS PENGUSUL

Nama, Peran	Perguruan Tinggi/ Institusi	Program Studi/ Bagian	Bidang Tugas	ID Sinta	H-Index
YULIANTA SIREGAR Ketua Pengusul	Universitas Sumatera Utara	Teknik Elektro		6118694	2
SUHERMAN S.T, Ph.D Anggota Pengusul 1	Universitas Sumatera Utara	Teknik Elektro	studi lapangan	5973416	6

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

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>)
2	Artikel di Jurnal Internasional Terindeks di Pengindeks Bereputasi	Accepted	Bulletin of Electrical Engineering and Informatics

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>)
2	Artikel pada Conference/Seminar Internasional di Pengindeks Bereputasi	Terbit dalam Prosiding	ICIEE

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 2 Tahun Rp. 76,000,000

Tahun 1 Total Rp. 0

Tahun 2 Total Rp. 76,000,000

Jenis Pembelanjaan	Item	Satuan	Vol.	Biaya Satuan	Total
Bahan	ATK	Paket	1	4,390,000	4,390,000
Bahan	Barang Persediaan	Unit	1	8,610,000	8,610,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Biaya seminar internasional	Paket	1	24,000,000	24,000,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Publikasi artikel di Jurnal Internasional	Paket	1	9,000,000	9,000,000
Pengumpulan Data	HR Petugas Survei	OH/OR	3	2,500,000	7,500,000
Pengumpulan Data	HR Pembantu Peneliti	OJ	15	1,500,000	22,500,000

6. KEMAJUAN PENELITIAN

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

Technological developments in the use of renewable energy sources continue to grow today. This is to support the optimization of the potential of renewable energy that can be obtained from an area. So that the need for primary energy sources such as fossil fuels can slowly be abandoned. In addition to environmentally friendly energy, renewable energy also provides many other benefits. The potential for geothermal energy (geothermal) and solar energy (solar) needs to be developed considering the territory of the State of Indonesia which has many geothermal sources and is located on the equator. This study aims to determine the feasibility of geothermal energy potential and solar energy in Sipoholon

Village, North Tapanuli Regency with a hybrid system using RETScreen Expert software. Analysis was conducted to obtain feasibility based on technical and financial aspects. The simulation begins by entering the geothermal and solar plant parameters. The results of the analysis show that this hybrid system can produce 156.737 MWh of power and reduce greenhouse gas emissions by 93% per year, and is financially feasible. The conclusion obtained from this research is that the hybrid system of geothermal and solar power plants for Sipoholon Village, North Tapanuli Regency is feasible and profitable.

B. KATA KUNCI: Tuliskan maksimal 5 kata kunci.

Hybrid Renewable energy, RETScreen Expert

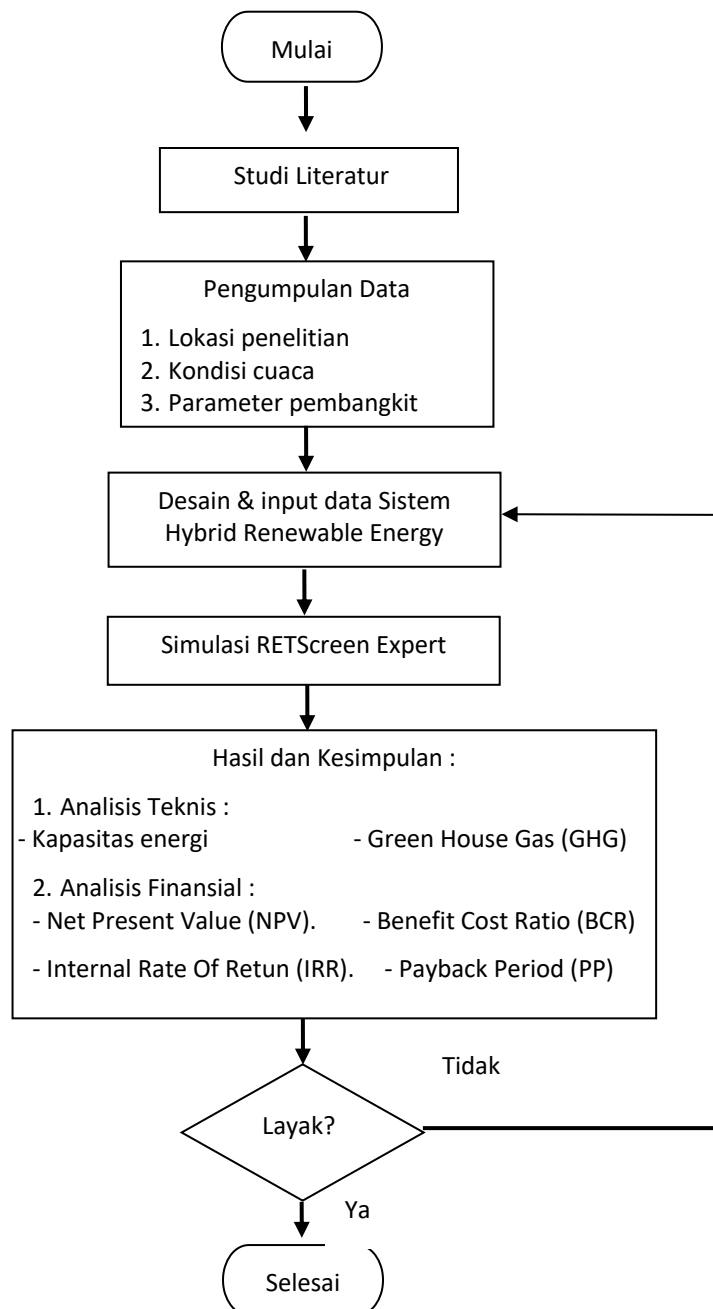
Pengisian poin C sampai dengan poin H mengikuti template berikut dan tidak dibatasi jumlah kata atau halaman namun disarankan ringkas mungkin. Dilarang menghapus/modifikasi template ataupun menghapus penjelasan di setiap poin.

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 meliputi 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.

Untuk mendapatkan hasil yang diharapkan maka penelitian ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :



Gambar 3.1. Tahapan Penelitian

3.3 Studi Literatur

Melakukan pencarian dan pembacaan referensi teori yang terkait seperti buku, jurnal yang telah dipublikasikan, artikel laporan penelitian, dan situs-situs di internet. Referensi teori berisi tentang sistem hybrid energi terbarukan, pembangkit listrik tenaga panas bumi, pembangkit listrik tenaga surya dan teori mengenai analisa perancangan pembangkit listrik energi terbarukan secara teknis dan finansial.

3.4 Pengumpulan Data

a. Lokasi Penelitian

Luas daerah yang dilakukan penyelidikan berkisar $16 \times 16 \text{ km}^2$, dengan posisi geografis antara $105^{\circ} 56' 00'' - 106^{\circ} 06' 00''$ lintang utara dan $98^{\circ} 54' 00'' - 99^{\circ} 01' 30''$ bujur timur atau $488.000 \text{ mT} - 504.000 \text{ mT}$ dan $215.600 \text{ mU} - 232.100 \text{ mU}$ pada sistem UTM zone 47, belahan bumi utara [18].

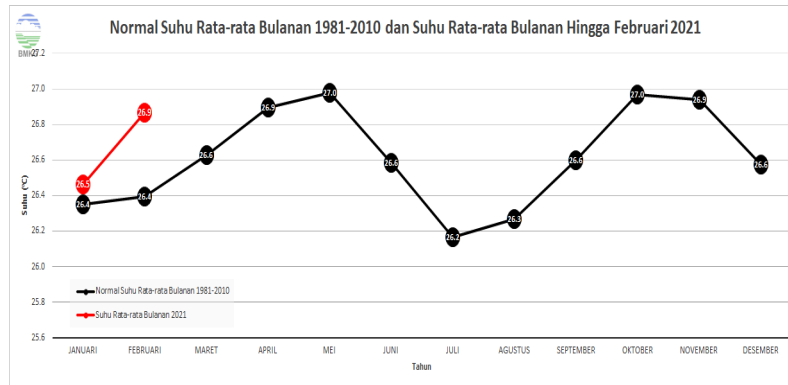


Gambar 3.2. Tampilan Lokasi Penelitian Melalui Perangkat Lunak

RETScreen Expert

b. Kondisi Cuaca

Berdasarkan data dari 79 stasiun pengamatan BMKG, normal suhu udara bulan Februari periode 1981-2010 di Indonesia adalah sebesar $26.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (dalam range normal $20.6 \text{ }^{\circ}\text{C} - 28.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$) dan suhu udara rata-rata bulan Februari 2021 adalah sebesar $26.9 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Berdasarkan nilai-nilai tersebut, anomali suhu udara rata-rata pada bulan Februari 2021 merupakan anomali positif dengan nilai sebesar $0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Anomali suhu udara Indonesia pada bulan Februari 2021 ini merupakan nilai anomali tertinggi ke-tujuh sepanjang periode data pengamatan sejak 1981 [18].



Gambar 3.3. Normal Suhu Rata-rata Bulanan 1981-2010 Hingga Februari 2021

c. Parameter Pembangkit

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini yaitu parameter pembangkit energi listrik yang diperoleh dari jurnal terkait dan data iklim dari perangkat lunak RETScreen Expert. Data iklim mengacu kepada hasil pengukuran satelit National Aeronautics and Space Administration (NASA) di Amerika Serikat dan dapat menampilkan data iklim pertahun pada beberapa tempat di seluruh dunia. Data iklim yang dimaksud adalah temperatur udara, kelembaban relatif, intensitas radiasi matahari perhari, tekanan udara, kecepatan dan angin.

d. Ketentuan Tarif

Sumber data lainnya adalah ketentuan tarif untuk Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLPB) dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), untuk wilayah Propinsi Sumatera Utara serta biaya pendukung lainnya.

3.5 Perancangan Pembangkit Hybrid Dengan Retscreen Expert

Pada penelitian ini dilakukan perancangan sistem hybrid pembangkit listrik tenaga panas bumi dan tenaga matahari menggunakan perangkat lunak RETScreen Expert. Perancangan sistem hybrid ini dengan memasukkan parameter - parameter yang akan dianalisis. Lokasi yang diusulkan dalam penelitian ini adalah Desa Sipoholon, Kabupaten Tapanuli Utara.

Spesifikasi panel surya dan inverter yang diusulkan dalam penelitian ini terdapat pada tabel 2.5 [16].

Tabel 3.1 Spesifikasi Panel Tenaga Surya dan Inverter yang Diusulkan

Panel Surya	
Type	Poly-Si

Kapasitas Daya	12,810 KW
Manufaktur	Yingli Solar
Model	Poly-Si - YGE - YL290P-35b
Efisiensi	14,90%
Suhu sel operasi nominal	45°C
Area cakupan matahari	86,152 m ²
Kerugian lain-lain	15%
Inverter	
Efisiensi	98%
Kapasitas	15000 KW
Kerugian lain-lain	0%

Dan untuk spesifikasi dan parameter pembangkit tenaga panas bumi yang diusulkan seperti pada tabel 2.6.

Tabel 3.2 Spesifikasi dan Parameter Pembangkit Panas Bumi yang Diusulkan

Parameter	Nilai	Referensi
Perusahaan Manufaktur	Siemens	RETScreen
Model	Geothermal Power Plants Sgeo	RETScreen
Kapasitas	5.000 kW	RETScreen
Aliran Uap	122.000 kg/jam	Estimasi
Tekanan Operasi	10 bar	ESDM
Suhu Uap	230 °C	ESDM
Tekanan Balik	8 kPa	[3]
Efisiensi Turbin Uap	77%	[3]
Kapasitas Minimum	40%	[3]

3.6. Analisis Hasil Simulasi Perancangan Sistem Hybrid

Perancangan pembangkit listrik sistem hybrid kemudian dianalisa untuk mengetahui kelayakan sistem berdasarkan aspek teknik dan finansial. Analisa berdasarkan hasil simulasi software RETScreen Expert meliputi hasil produksi listrik, emisi gas rumah kaca (GHG), sedangkan analisa berdasarkan aspek finansial dari software RETScreen Expert meliputi NPV (Net Present Value), IRR (Internal Rate of Return), Benefit Cost Ratio (BCR) dan PP (payback Period).

4.1 Analisis Teknis

4.1.1 Analisis Energi Yang Dihasilkan

Pembangkit tenaga matahari disimulasikan menggunakan perangkat lunak RETSceen Expert dalam 2 (dua) posisi pelacakan sel surya, yaitu posisi tetap dengan sudut kemiringan 45° dan posisi azimuth dengan kemiringan 45°. Jumlah panel surya yang digunakan sebanyak 1.000 unit.

Tabel. 4.1 Posisi pelacakan sel surya posisi Azimuth dengan sudut kemiringan 45°

Bulan	Radiasi matahari	Radiasi matahari	Harga ekspor listrik	Listrik yang diekspor ke jaringan
	harian-horizontal kWh/m ² /d	harian-miring kWh/m ² /d	\$/kWh	MWh
Januari	5,41	6,77	0,072	46,818
Februari	5,74	6,89	0,072	43,171
Maret	5,54	6,31	0,072	44,220
April	5,28	6,00	0,072	40,667
Mei	5,22	6,21	0,072	43,111
Juni	5,09	6,21	0,072	41,675
Juli	4,93	5,88	0,072	40,977
Agustus	4,85	5,51	0,072	38,645
September	4,91	5,42	0,072	37,180
Oktober	4,89	5,55	0,072	38,950
November	4,71	5,58	0,072	37,744
Desember	4,99	6,21	0,072	43,159
Tahunan	5,13	6,04	0,072	496,323

Berdasarkan simulasi juga diperoleh bahwa besarnya listrik yang dapat diekspor ke jaringan yaitu sebesar 496,323 MWh.

Tabel. 4.2 Posisi pelacakan sel surya posisi tetap dengan sudut kemiringan 45°

Bulan	Radiasi matahari	Radiasi matahari	Harga ekspor listrik	Listrik yang diekspor ke jaringan
	harian-horizontal kWh/m ² /d	harian-miring kWh/m ² /d	\$/kWh	MWh
Januari	5,41	5,67	0,072	39,223
Februari	5,74	5,47	0,072	34,258

Maret	5,54	4,63	0,072	32,449
April	5,28	3,79	0,072	25,704
Mei	5,22	3,25	0,072	22,525
Juni	5,09	2,93	0,072	19,682
Juli	4,93	2,99	0,072	20,796
Agustus	4,85	3,35	0,072	23,537
September	4,91	3,91	0,072	26,801
Oktober	4,89	4,44	0,072	31,200
November	4,71	4,73	0,072	31,979
Desember	4,99	5,31	0,072	36,894
Tahunan	5,13	4,20	0,072	345,052

Simulasi dengan pelacakan sel surya posisi tetap dengan sudut kemiringan 45° menunjukkan bahwa listrik yang dapat diekspor ke jaringan sebesar 34,504 MWh. Sehingga dalam penelitian ini dipilih pelacakan sel surya posisi azimuth dengan sudut kemiringan 45°. Hasil simulasi menunjukkan bahwa posisi pelacakan sel surya dengan posisi azimuth dengan kemiringan 45° memiliki nilai radiasi tahunan dan menghasilkan energi listrik yang lebih besar.

Dari data penelitian Kementerian ESDM diperoleh potensi energi panas bumi di Sipoholon, Kabupaten Tapanuli Utara sebesar 2 x 10 MW. Pembangkit tenaga panas bumi yang direncanakan menggunakan 4 (empat) buah generator kapasitas 5 MW. Dengan parameter pembangkit yang diusulkan diperoleh listrik yang bisa diekspor ke jaringan adalah sebesar 156.240 MWh. Sehingga total energi listrik yang dihasilkan dari simulasi pembangkit hybrid ini sebesar 156.737 MWh.

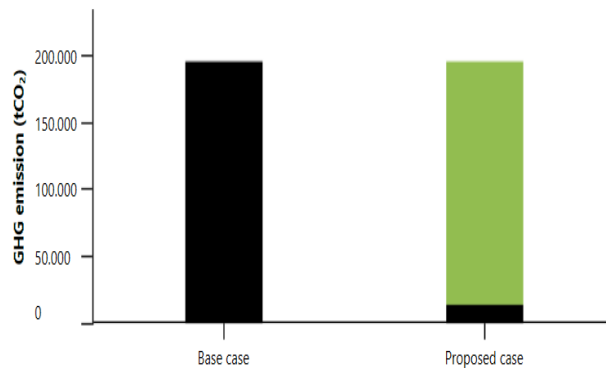
Tabel. 4.3 Energi Listrik yang dapat dihasilkan

Pembangkit	Kapasitas (MW)	Energi Listrik yang dihasilkan (MWh)
Tenaga Panas Bumi	19,8	156.240
Sel Surya	0,29	496
TOTAL	20,1	156.737

4.1.2 Analisis Emisi Gas Rumah Kaca

Pengurangan emisi gas rumah kaca (GRK) yang diperoleh dari simulasi ini yaitu 13.691,4 tCO₂ dari jumlah acuan 195.591,8 tCO₂ sehingga untuk penurunan emisi GRK per tahun menjadi 181,900 tCO₂ atau sekitar 93%. Hasil ini juga menunjukkan bahwa pembangkit hybrid ini layak untuk dilanjutkan dimana terdapat

pengurangan emisi gas rumah kaca yang signifikan dan dapat membantu kampanye global di dalam pengurangan polusi udara untuk menjaga keberlangsungan ekosistem lingkungan. Gambar grafik 4.1 memperlihatkan nilai acuan dan nilai yang diusulkan dalam pembangkit hybrid tenaga panas bumi dengan tenaga matahari.



Gambar. 4.1 Grafik pengurangan gas rumah kaca

4.2 Analisis Finansial

Analisis finansial dilakukan pada masing – masing pembangkit sesuai dengan data ekonomi terbaru tahun 2000 – 2021. Umur kedua pembangkit disimulasikan selama 30 (tiga puluh) tahun. Pemerintah Indonesia menetapkan kebijakan tarif (feed in tariff) untuk energi terbarukan yang memperhitungkan tarif transfer listrik ke PLN yang sebanding dengan biaya investasi untuk pembangkit ini. Untuk saat ini tarif transfer listrik (feed in tariff) ini adalah \$ 7,2 sen sampai \$ 10 sen per kWh.

Dengan asumsi biaya pembangunan pembangkit panas bumi adalah 5 juta US\$ per MW maka total biaya yang diperlukan adalah sebesar 99 juta US\$. Biaya lain yang akan dikeluarkan selama proyek berjalan yaitu biaya bahan bakar dan biaya operasi dan pemeliharaan.

Tabel. 4.4 Biaya pembangkitan Tenaga Panas Bumi

Uraian	Nilai	Keterangan
Biaya Pembangunan (US\$/kW)	5.000	Data Ekonomi Indonesia
Umur Operasi (Tahun)	30	Tipikal
Kapasitas (MW)	19,8	RETScreen
Biaya bahan bakar (US\$)	0,0225	Jurnal PLTP
Biaya O&M (US\$ / kW)	0,00342	Jurnal PLTP
Investasi (juta US\$)	99	Data Ekonomi Indonesia

Untuk pembangkit tenaga matahari biaya pembangunan yang diperlukan yaitu sebesar 3.000 US\$/kW, sehingga total investasi yang diperlukan untuk pembangkit ini yaitu 870 (ribu US\$).

Tabel .4.5 Biaya pembangkitan Tenaga Matahari

Uraian	Nilai	Keterangan
Biaya Pembangunan (US\$/kW)	3.000	Data Ekonomi Indonesia
Umur Operasi (Tahun)	30	Tipikal
Kapasitas (MW)	0,29	RETSscreen
Biaya O&M (US\$ / kW)	0,00342	Jurnal
Investasi (Ribu US\$)	870	Data Ekonomi Indonesia

Dari kedua uraian data finansial, diperoleh total biaya yang diperlukan untuk pembangunan pembangkit hybrid ini sebesar 119.153.793 US\$. Parameter keuangan yang diusulkan dalam studi ini adalah seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.6, dengan asumsi bahwa 70% proyek dibiayai oleh pinjaman dan tingkat inflasi adalah 0,32% (Juni 2021).

Tabel. 4.6 Parameter finansial pembangkit yang diusulkan

Parameter	Nilai	Catatan
Tingkat Inflasi	0,32%	Data Ekonomi Indonesia
Usia proyek	30 Tahun	Tipikal
Rasio Pinjaman	70%	Asumsi
Lama Hutang	15 Tahun	Asumsi
Suku Bunga Utang	4% & 6 %	Data Ekonomi Indonesia

4.2.1 Analisis Net Present Value (NPV)

Dengan usia pembangkit 30 tahun, faktor bunga sebesar 4% dan 6%, serta harga jual listrik/KWh, maka net present value dapat dihitung. Harga jual yang disimulasikan pada proyek ini sesuai dengan data yang diperoleh yaitu sebesar US\$7,2 sen per kWh.

Simulasi dengan RETScreen Expert menunjukkan nilai NPV yang diperoleh pada tingkat suku bunga 4% adalah sebesar 35.223.541 US\$ dan pada tingkat suku bunga 6% nilai NPV sebesar 27.879.245 US\$. Kedua hasil yang diperoleh bernilai positif sehingga proyek pembangkit tenaga panas bumi dan matahari yang diusulkan layak untuk dilanjutkan.

Simulasi suku bunga 4%, arus kas tahunan pada tahun ke-6 menunjukkan bahwa nilai kumulatif masih negatif. Arus kas bernilai positif mulai pada tahun ke-7.

Tahun	Sebelum pajak	Kumulatif
#	\$	\$
0	-29.987.122	-29.987.122
1	4.991.808	-24.995.314
2	4.991.807	-20.003.507
3	4.991.807	-15.011.700
4	4.991.807	-10.019.893
5	4.991.807	-5.028.086
6	4.991.807	-36.279
7	4.991.806	4.955.527
8	4.991.806	9.947.333
9	4.991.806	14.939.139
10	4.991.806	19.930.944
11	4.991.805	24.922.750
12	4.991.805	29.914.555
13	4.991.805	34.906.360
14	4.991.805	39.898.164
15	4.991.804	44.889.969
16	11.284.979	56.174.948
17	11.284.978	67.459.926
18	11.284.978	78.744.904
19	11.284.978	90.029.882
20	11.284.978	101.314.859
21	11.284.977	112.599.837
22	11.284.977	123.884.814
23	11.284.977	135.169.791
24	11.284.977	146.454.768
25	11.284.976	157.739.744
26	11.284.976	169.024.720
27	11.284.976	180.309.696
28	11.284.976	191.594.672
29	11.284.976	202.879.648
30	11.284.975	214.164.623

Gambar. 4.2 Arus kas tahunan pada suku bunga 4%

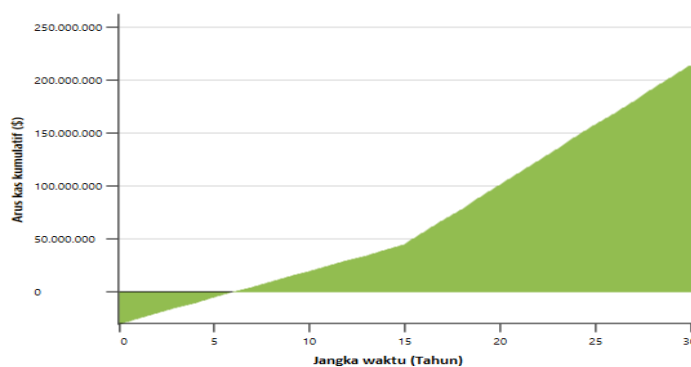
Pada suku bunga 4% juga diperoleh arus kas tahunan seperti pada gambar. 4.2, dimana arus kas bernilai positif dari tahun ke-7 sampai dengan sisa umur proyek.

Tahun	Sebelum pajak	Kumulatif
#	\$	\$
0	-29.987.122	-29.987.122
1	4.080.682	-25.906.439
2	4.080.682	-21.825.757
3	4.080.682	-17.745.075
4	4.080.682	-13.664.393
5	4.080.682	-9.583.712
6	4.080.681	-5.503.030
7	4.080.681	-1.422.349
8	4.080.681	2.658.332
9	4.080.681	6.739.012
10	4.080.680	10.819.693
11	4.080.680	14.900.373
12	4.080.680	18.981.053
13	4.080.680	23.061.733
14	4.080.680	27.142.412
15	4.080.679	31.223.092
16	11.284.979	42.508.070
17	11.284.978	53.793.048
18	11.284.978	65.078.027
19	11.284.978	76.363.004
20	11.284.978	87.647.982
21	11.284.977	98.932.960
22	11.284.977	110.217.937
23	11.284.977	121.502.914
24	11.284.977	132.787.890
25	11.284.976	144.072.867
26	11.284.976	155.357.843
27	11.284.976	166.642.819
28	11.284.976	177.927.795
29	11.284.976	189.212.770
30	11.284.975	200.497.746

Gambar. 4.3 Arus kas tahunan dengan suku bunga 6%

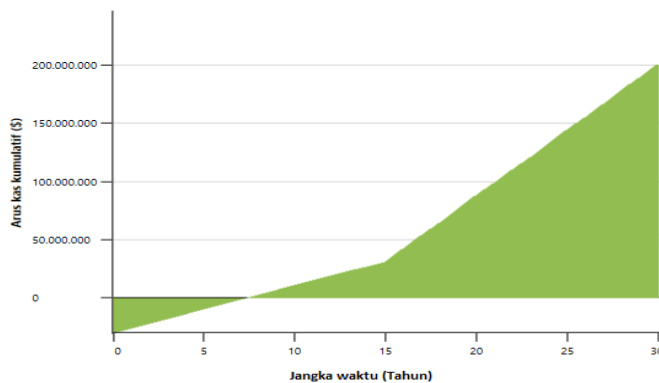
Sedangkan untuk tingkat suku bunga 6% diperoleh hasil arus kas tahunan akan bernilai negatif dari tahun pertama proyek sampai dengan tahun ke-7. Arus kas akan bernilai positif mulai dari tahun ke-8 sampai dengan sisa umur proyek.

Dari grafik gambar 4.3 terlihat jelas bahwa titik balik modal ekuitas pada suku bunga 6% adalah pada tahun ke 8 dan tahun selanjutnya aliran keuntungan meningkat pada tahun ke-15. Kemudian meningkat lagi dengan cepat sampai sisa umur proyek.



Gambar. 4.4 Grafik kumulatif cash flow suku bunga 4%

Sedangkan untuk suku bunga 6% diperoleh grafik pada gambar 4.5. Titik balik ekuitas terdapat pada tahun ke-7, setelah itu aliran keuntungan meningkat sampai tahun ke-15 dan meningkat dengan cepat sampai sisa umur proyek.



Gambar. 4.5 Grafik kumulatif cash flow pada suku bunga 6%

4.2.2 Analisis Payback Period (PP)

Dari hasil simulasi diperoleh bahwa lama waktu yang dibutuhkan agar nilai investasi yang diinvestasikan dapat kembali dengan utuh adalah 8 tahun dan 9 bulan untuk nilai suku bunga 4%, sedangkan dengan suku bunga 6% juga diperoleh hasil yang sama. Dengan kedua tingkat suku bunga yang telah ditentukan, proyek pembangkit layak untuk diinvestasikan.

4.2.3 Analisis Benefit Cost of Ratio (BCR)

Hasil simulasi finansial untuk BCR yaitu sebesar 2,2 untuk suku bunga 4% dan 1,9 untuk suku bunga 6%. Dengan demikian kedua tingkat suku bunga masih layak, karena nilai BCR lebih besar dari 1.

4.2.4 Analisis Internal Rate of Return (IRR)

Untuk IRR dengan kedua suku bunga yang disimulasikan juga menunjukkan hasil yang layak. Dimana kedua hasil lebih besar dari nilai suku bunga yang diusulkan. Simulasi dengan suku bunga 4% diperoleh IRR sebesar 18,1 % dan untuk suku bunga 6% sebesar 15,8%.

D. STATUS LUARAN: Tuliskan jenis, identitas dan status ketercapaian setiap luaran wajib dan luaran tambahan (jika ada) yang dijanjikan. 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.

Tahun ke 2 ini telah melibatkan mahasiswa pascasarjana Departement Teknik Elektro dan telah mengikuti seminar international ELTICOM 5th 2021 yang akan publish di IEEE Xplore, terindeks scopus.



E. PERAN MITRA: Tuliskan realisasi kerjasama dan kontribusi Mitra baik *in-kind* maupun *in-cash* (untuk Penelitian Terapan, Penelitian Pengembangan, PTUPT, PPUPT serta KRUP). Bukti pendukung realisasi kerjasama dan realisasi kontribusi mitra dilaporkan sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Bukti dokumen realisasi kerjasama dengan Mitra diunggah melalui Simlitabmas.

Tidak ada.

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 saat ini belum ada, Publikasi di Journal segera akan dilaksanakan.

G. RENCANA TAHAPAN SELANJUTNYA: Tuliskan dan uraikan rencana penelitian di tahun berikutnya berdasarkan indikator luaran yang telah dicapai, rencana realisasi luaran wajib yang dijanjikan dan tambahan (jika ada) di tahun berikutnya serta *roadmap* penelitian keseluruhan. Pada bagian ini diperbolehkan untuk melengkapi penjelasan dari setiap tahapan dalam metoda yang akan direncanakan termasuk jadwal berkaitan dengan strategi untuk mencapai luaran seperti yang telah dijanjikan dalam proposal. Jika diperlukan, penjelasan dapat juga dilengkapi dengan gambar, tabel, diagram, serta pustaka yang relevan. Jika laporan kemajuan merupakan laporan pelaksanaan tahun terakhir, pada bagian ini dapat dituliskan rencana penyelesaian target yang belum tercapai.

Renencana selanjutnya memenuhi keluaran yang belum tercapai seperti Artikel di Jurnal Internasional Terindeks di Pengeindeks Bereputasi.

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

1. Temitope Adefarati, Ramesh C. Bansal, "Application of Renewable Energy Resources in a Microgrid Power System", The 7th International Conference on Renewable Power Generation (IET 2018), Vol. 2019.
2. Branka B., Nataša G, "Hybrid Renewable Energy System Application for Electricity And Heat Supply of a Residential Building", Thermal Science, Vol.20, No.2, 2016.
3. Chih-Ta Tsai , Teketay Mulu Beza , Emiramye Minaye Molla, Cheng-Chien Kuo, "Analysis and Sizing of Mini-Grid Hybrid Renewable Energy System for Islands", IEEE Access, 2020.
4. Muhammad Yousaf Khan, Mudassar Ali, Saad Qaisar, Muhammad Naeem, Chrysostomos Chrysostomou, Muhammad Iqbal, "Placement Optimization for Renewable Energy Sources: Ontology, Tools, and Wake Models", IEEE Access, Vol. 8, 2020.
5. Boanerges Desryanto Siregar, Budi Sudiarto, Rudy Setiabudy, "Economic Analysis of Renewable Energy Power Plant in Sumatra, Indonesia", International Conference on Innovative Research and Development (ICIRD), 2019.
6. F.Z Kadda, Smail Zouggar, Mohamed El Hafyani, Abdelhamid Rabhi, "Contribution to the Optimization of the Electrical Energy Production from a Hybrid Renewable Energy System", The fifth International Renewable Energy Congress (IREC 2014).
7. Statistic of Tapanuli Utara Regency, "Tapanuli Utara in Figures", 2021
8. Meita Rumbayan, Ken Nagasaka, "Emission And Financial Analysis Of Geothermal Energy Resource (The Case Of Lahendong Site In Indonesia)", International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA), Vol. 2, Juli/Agustus 2012.
9. Arwin D.W. Sumari, Siti Mariani , Retno Gumilang Dewi, "Promoting Geothermal for Energy Security (A Case of Indonesia)", 2nd International Conference on Technology, Informatics, Management, Engineering & Environment, 2014.
10. Ardila Johan Erdiansyah, Xibeng Zhang, Abhisek Ukil, "Grid Integration and Demand Response Management of Geothermal Power Plant with Hybrid Energy Storage System in Indonesia", PES Innovative Smart Grid Technologies Asia (ISGT Asian), 2019.
11. R.. Horas Manahan Sinaga, Prihadi Setyo Darmanto, Andy Trirakhmadi, "Energy Optimization and Gas Removal Selection of Geothermal Power Plant", International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application (ICSEEA), 2017.
12. Direktorat Panas Bumi, Ditjen EBTKE Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara, dan Panas Bumi, Badan Geologi, "Potensi Panas Bumi Indonesia Jilid I", 2017.
13. Hermawan, Karnoto, "Design Analysis of Photovoltaic Systems as Renewable Energy Resource in Airport", 4th Int. Conf. on Information Tech., Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE), 2017.
14. Kashfia Naz Nikita, Sk Nazmul Islam, Md. Sarafat Islam, Mithun Saha, Md. Fayyaz khan, "Prospect of Solar PV based Power Generation in the Marshy Lands of Bangladesh: An Analysis Through RETScreen Software", 4th International Conference on the Development in the Renewable Energy Technology (ICDRET), 2016

Daftar capaian Luaran Wajib belum diisi:

1. Artikel di Jurnal Internasional Terindeks di Pengindeks Bereputasi, target: Accepted

Dokumen pendukung luaran Tambahan #1

Luaran dijanjikan: Artikel pada Conference/Seminar Internasional di Pengindeks Bereputasi

Target: Terbit dalam Prosiding

Dicapai: Submitted

Dokumen wajib diunggah:

1. Naskah artikel
2. Bukti submit

Dokumen sudah diunggah:

1. Naskah artikel
2. Bukti submit

Dokumen belum diunggah:

-

Peran penulis: first author

Nama Konferensi/Seminar: The 5th International Conference on Electrical, Telecommunication and Computer Engineering 2021

Lembaga penyelenggara: Department Teknik Elektro, Universitas Sumatera Utara

Tempat penyelenggara: Department Teknik Elektro, Medan

Tgl penyelenggaraan mulai: 15 September 2021 | Tgl selesai: 15 September 2021

Lembaga pengindeks: IEEE

URL website: <https://simlitabmas.ristekbrin.go.id/2/Main.aspx>

Judul artikel: Design of Geothermal and Solar Hybrid Renewable Energy in Sipoholon Village, North Tapanuli Regency, North Sumatera

Design of Geothermal and Solar Hybrid Renewable Energy in Sipoholon Village, North Tapanuli Regency, North Sumatera

Yulianta Siregar, Friady Hartono Siregar, Emerson Sinulingga, Suherman
Electrical Engineering Department
Universitas Sumatera Utara
Medan, Indonesia

*julianta_srg@usu.ac.id, friadysiregar23@gmail.com, emerson.sinulingga@usu.ac.id, suherman@usu.ac.id

Abstract— Technological developments in the use of renewable energy sources continue to grow today. This is to support the optimization of the potential of renewable energy that can be obtained from an area. So that the need for primary energy sources such as fossil fuels can slowly be abandoned. In addition to environmentally friendly energy, renewable energy also provides many other benefits. The potential for geothermal energy (geothermal) and solar energy (solar) needs to be developed considering the territory of the State of Indonesia which has many geothermal sources and is located on the equator. This study aims to determine the feasibility of geothermal energy potential and solar energy in Sipoholon Village, North Tapanuli Regency with a hybrid system using RETScreen Expert software. Analysis was conducted to obtain feasibility based on technical and financial aspects. The simulation begins by entering the geothermal and solar plant parameters. The results of the analysis show that this hybrid system can produce 156.737 MWh of power and reduce greenhouse gas emissions by 93% per year, and is financially feasible. The conclusion obtained from this research is that the hybrid system of geothermal and solar power plants for Sipoholon Village, North Tapanuli Regency is feasible and profitable.

Keywords- Hybrid Renewable energy, RETScreen Expert

I. INTRODUCTION

The increasing population and demand for a sustainable supply of electric power has prompted many countries to use fossil fuels. So that global economic growth requires more power demand. And failure to meet the power consumption needs of various consumers will have a negative impact on gross domestic product (GDP). This shows that the world economy is very dependent on the availability of power supplies. Currently, 75.5% of global electricity comes from fossil fuels while 24.5% comes from renewable energy sources. Conventional power plants are very expensive to run because of their high operating and maintenance costs and their impact on health. The key to meeting global energy sustainability is to encourage the use of renewable energy [1].

In 2011, the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) published a study report that almost 80% of the world's energy supply can be met by renewable energy sources by 2050. Theoretically, the best scenario is that renewable energy sources can meet the world's energy needs [2].

Weaknesses in using renewable energy that are the main focus in optimizing energy conversion are power quality, stability, and reliability that can change according to unpredictable natural conditions, seasonal and depending on certain times [3]. Therefore, it is necessary to optimally place renewable energy in the power system to maximize power generation and minimize losses [4].

As an archipelagic country, the territory of Indonesia has many potential sources of renewable energy, including hydro, geothermal, wind, biomass and solar energy sources. North Tapanuli Regency is geologically an area that is quite rich in geothermal resources, especially the Sarulla, Tarutung and Sipoholon areas. Geothermal manifestations in North Tapanuli Regency are the appearance of hot springs. Sipoholon Village is one of the areas with geothermal potential that has been designated as a Mining Work Area (WKP) by the Ministry of Energy and Energy Resources of the Republic of Indonesia.

Indonesia as one of the countries that has a very large renewable energy potential of up to 443 GW, but its use is still relatively small, which is around 8 GW [5]. Based on Table I, solar energy has the greatest potential compared to several other renewable energy potentials, which is 207,898 MW.

TABLE. I Renewable Energy Potential in Indonesia

No.	Types Of Renewable Energy	Potency (MW)
1	Geothermal	29,544
2	Hydro	94,476
3	Bioenergy	32,654
4	Wind	60,647
5	Solar	207,898
6	Oceant Current	17,989
	TOTAL	443,208

A hybrid system consists of two or more renewable energy sources used together to increase system efficiency as well as a greater balance in energy supply. In this study, the potential of a hybrid renewable energy system with geothermal energy (geothermal) with solar power will be analyzed in Sipoholon Village, North Tapanuli Regency using Retscreen Expert software.

By combining several energy sources, the installed load is also divided into several parts, so that the existing sources can contribute maximally to these parts. [6]. Some of the benefits that can be obtained from renewable energy hybrid systems are:

1. Reducing emissions and global warming.
2. Cost savings due to reduced production and purchase of fossil fuels.
3. The diversity of energy sources and unlimited.

From North Tapanuli data in Figures for 2021, it is stated that the number of customers for North Tapanuli Regency is

37.526 customers with a sold power capacity of 55.721.435 kWh [7].

II. PROPOSED HYBRID SYSTEM DESIGN

The area under investigation is 16 x 16 km², with a geographical position between 1°56' 00" - 2°06' 00" north latitude and 98° 54' 00"- 99°01'30" east longitude or 488,000 mT -504,000 mT and 215,600 mU – 232,100 mU in the UTM zone 47 system, Northern Hemisphere. A screenshot of the RETScreen Expert software for the research site is shown in Fig.1.

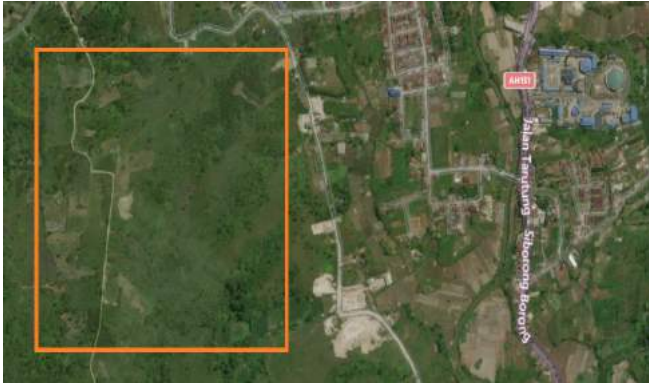


Fig.1 Research Location In Sipoholon Village

RETScreen Expert software will analyze the technical and financial aspects of the proposed power plant project. RETScreen Expert itself was developed by the Canadian Ministry of Natural Resources, where this software uses climate data around the world NASA (National Aeronautics and Space Administration) as one part of the analysis tool.

A. Geothermal Power Plant

Geothermal sources in the form of hot steam or liquid are available for about a quarter to a third of the planet's surface [8]. Compared to other renewable energies, geothermal is a renewable resource that is resistant to the risk of climate change, is clean, so it needs support from the government in a country that is blessed with geothermal potential [9]. Indonesia is one of the countries with the largest geothermal potential in the world, with an installed capacity of about 28 GW [10].

The conversion efficiency of geothermal power plants is influenced by several factors, including system design, non-condensable gas, heat loss from efficiency of equipment, turbines and generators and parasitic load power plants, weather and other factors. The worldwide average conversion efficiency of geothermal power plants is 12% while the highest conversion efficiency is 20.7% in Indonesia [11]. Table II shows the parameters of the geothermal power plant that will be simulated in this study. Several parameters are available in RETScreen Expert software such as manufacturer, model and capacity. Some are based on journals or related research data. The development of geothermal power plants in Sipoholon Village, North Tapanuli Regency can reach 2 x 10 MW [12].

TABLE. II Proposed Geothermal Power Plant Parameters

Parameter	Description	Referensi
Manufacturing company	Siemens	RETScreen
Model	Geothermal Power Plants Sgeo	RETScreen
Capacity	5.000 kW	RETScreen
Steam Flow	122.000 kg/hour	Estimation
Operating Pressure	10 bar	Ministry of Energy and Mineral Resources data
Steam Temperature	230 °C	Ministry of Energy and Mineral Resources data
Back Pressure	8 kPa	[8]
Steam Turbine Efficiency	77%	[8]
Minimum Capacity	40%	[8]

Table III describes the required geothermal generation costs. Assuming the cost of building a geothermal power plant is US\$ 5 million per MW, the total cost required is US\$ 99 million. Other costs that will be incurred during the project are fuel costs and operating and maintenance costs.

TABLE. III Geothermal Financial Parameters Used

Description	Value	Remark
Development Cost (US\$/kW)	5.000	Indonesian Economic Data
Project life (Year)	30	Typically
Capacity (MW)	19,8	RETScreen Expert
Fuel cost (US\$)	0,0225	Assumption
O&M Fee (US\$ / kW)	0,00342	Assumption
Investment (million US\$)	99	Indonesian Economic Data

B. Solar Power Plant

The simple concept of photovoltaic (PV) technology is convert sunlight into electrical energy. Where in the work process requires semiconductor materials. One of the commonly used materials is silicone. There are 2 types of PV cells, namely mono or multi-crystalline and amorphous or commonly called microcrystalline thin film. Commercial PV cells typically have efficiencies from 5 to 15% [13].

Based on data from 79 observation stations of the Meteorology, Climatology and Geophysics Agency, the normal air temperature in February for the 1981-2010 period in Indonesia was 26.4°C (within the normal range of 20.6°C - 28.2°C) and the average air temperature in February 2021 was 26.9°C. Based on these values, the average air temperature anomaly in February 2021 is a positive anomaly with a value of 0.5°C. The anomaly of Indonesian air temperature in February 2021 is the seventh highest anomaly value throughout the observation data period since 1981.

The solar panel model proposed in this study is Azimuth with an angle of 45. This degree of inclination was chosen because it has the highest solar radiation value compared to other degree values as shown in Fig.2.

The solar project model on RETScreen can be used efficiently. Evaluation can be done for 3 (three) basic applications of solar power, namely: on-grid, off-grid, and water pump systems [14].

Month	Daily solar radiation		Electricity export rate \$/kWh	Electricity exported to grid MWh
	horizontal kWh/m ² /d	tilted kWh/m ² /d		
January	5,41	6,77	0,07	46,818
February	5,74	6,89	0,07	43,171
March	5,54	6,31	0,07	44,220
April	5,28	6,00	0,07	40,668
May	5,22	6,21	0,07	43,111
June	5,09	6,21	0,07	41,675
July	4,93	5,88	0,07	40,978
August	4,85	5,51	0,07	38,646
September	4,91	5,42	0,07	37,181
October	4,89	5,55	0,07	38,951
November	4,71	5,58	0,07	37,745
December	4,99	6,21	0,07	43,160
Annual	5,13	6,04	0,07	496,323

Fig.2 Daily Solar Radiation From RETScreen Expert

In this study, 1000 units of solar panels with a capacity of 29.000 W per unit were used, a total power of 290 KW. The solar generator parameters proposed for this study are as shown in table IV.

TABLE. IV Proposed Solar Generator Parameters

Panel Surya	
Type	Poly-Si
Power Capacity	290 KW
Manufactur	Yingli Solar
Model	Poly-Si - YGE - YL290P-35b
Efficiency	14,90%
Nominal operating cell temperature	45°C
Sun coverage area	86,152 m ²
Miscellaneous Losses	15%
Inverter	
Efficiency	98%
Capacity	300 KW
Miscellaneous Losses	0%

The financial parameters considered in this study are as shown in Table V, assuming the required construction cost is 3,000 US\$/kW, so the total investment required for this power plant is 870 (thousand US\$). US\$ where 70% of projects are financed by loans and the inflation rate is 0.32% (June 2021).

TABLE. V Solar Power Plant Financial Parameters Used

Description	Value	Remark
Development Cost (US\$/kW)	3.000	Indonesian Economic Data
Project life (Year)	30	Typically
Capacity (MW)	0,29	RETScreen Expert
O&M Fee (US\$ / kW)	0,00342	Assumption
Investment (Thousand US\$)	870	Indonesian Economic Data

III. METHODOLOGY

The method used in this research consists of 3 stages, namely: the proposed power plant project, emission analysis and financial analysis. All steps are carried out in the RETScreen Expert software by entering the required parameters. In this research, several things cannot be done directly in the field because: limited time and conditions that do not allow, the authors seek and collect materials and data in the form of journals from related researchers.

IV. RESULT AND DISCUSSION

A. Technical Analysis

The simulation results using RETScreen Expert software show that from the proposed project, a power plant with a capacity of 20.1 MW is obtained and the electricity that can be exported to the network is 156.737 MWh.

Greenhouse gas (GHG) emissions obtained from this simulation are 8,948.1 tCO₂ from the reference amount of 127,830.1 tCO₂ so that the annual GHG emission reduction is 118,882 tCO₂ or around 93%. The graph is shown in Fig. 3.

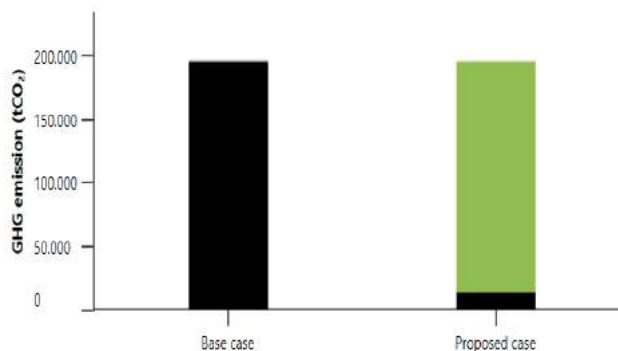


Fig.3 Greenhouse gas (GHG) reduction graph.

B. Financial Analysis

With the age of the generator 30 years, interest factors of 4% and 6%, and the selling price of electricity/KWh, the net present value can be obtained. The simulated selling price in this project is in accordance with the data obtained, which is US\$7.2 cents per kWh.

Based on the simulation performed using RETScreen Expert software for financial feasibility, the results are shown in table VI.

TABLE. VI Simulation results for financial feasibility

Parameter	Interest Rate	
	4%	6%
NPV (Net Present Value)	35.223.541 US\$	27.879.245 US\$
PP (Payback Period)	8,9 Year	8,9 Year
BCR (Benefit Cost of Ratio)	2,2	1,9
IRR (Internal Rate of Return)	18,1%	15,8%

From table VI the simulation with interest rates of 4% and 6% the project is feasible to continue, where the NPV shows a positive value, PP is smaller than the life of the project, BCR is greater than 1 and IRR is greater than the simulated interest rate.

Figure 4 shows the cumulative cash flow at an interest rate of 4% will start to have a positive value in year 7.

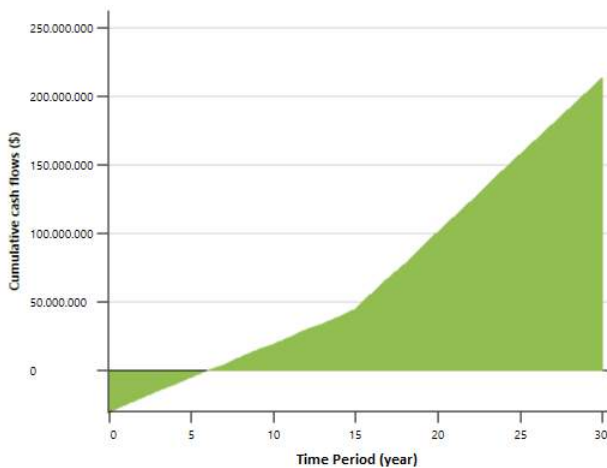


Fig.4 Cummulative Cash Flows with 4% interest rate

In Figure 5, with an interest rate of 6%, the cumulative cash flow starts to have a positive value entering the 8th year.

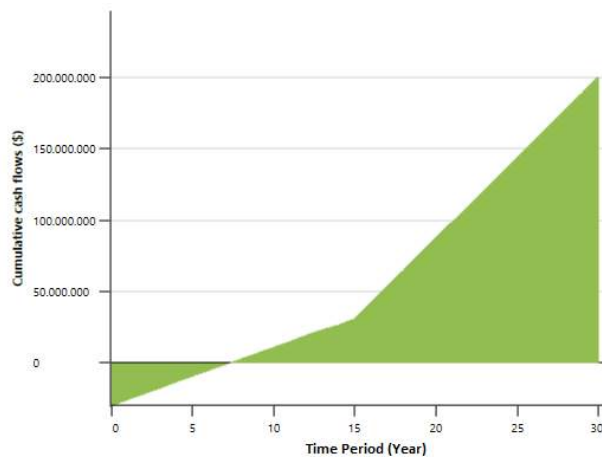


Fig.5 Cummulative Cash Flows with 6% interest rate

V. CONCLUSION

Sipoholon village is an area that has the potential for renewable energy sources, where several locations of geothermal manifestations are found. This must be used to meet the needs of electrical energy sources in the area along with the increasing population

A case study of hybrid geothermal and solar energy generation in Sipoholon Village, North Tapanuli Regency has been carried out in this work. It was found that the proposed power plant project with the input characteristics given in the RETScreen worksheet, Sipoholon Village Location can generate 156.737 MWh of electrical energy per year. This project can be said to be a renewable energy project activity with an emission reduction of 93 % per year.

Likewise with the results of the financial analysis for IRR, BCR, NVP and Payback Period, it was found that this project was worthy of consideration.

REFERENCES

- [1]. Temitope Adefarati, Ramesh C. Bansal, "Application of Renewable Energy Resources in a Microgrid Power System", The 7th International Conference on Renewable Power Generation (IET 2018), Vol. 2019.
- [2]. Branka B., Nataša G, "Hybrid Renewable Energy System Application for Electricity And Heat Supply of a Residential Building", Thermal Science, Vol.20, No.2, 2016.
- [3]. Chih-Ta Tsai , Teketay Mulu Beza , Emiramyew Minaye Molla, Cheng-Chien Kuo, "Analysis and Sizing of Mini-Grid Hybrid Renewable Energy System for Islands", IEEE Access, 2020.
- [4]. Muhammad Yousaf Khan, Mudassar Ali, Saad Qaisar, Muhammad Naeem, Chrysostomos Chrysostomou, Muhammad Iqbal, "Placement Optimization for Renewable Energy Sources: Ontology, Tools, and Wake Models", IEEE Access, Vol. 8, 2020.
- [5]. Boanerges Desryanto Siregar, Budi Sudiarto, Rudy Setiabudy, "Economic Analysis of Renewable Energy Power Plant in Sumatra, Indonesia", International Conference on Innovative Research and Development (ICIRD), 2019.
- [6]. F.Z Kadda, Smail Zouggar, Mohamed El Hafyani, Abdelhamid Rabhi, "Contribution to the Optimization of the Electrical Energy Production from a Hybrid Renewable Energy System", The fifth International Renewable Energy Congress (IREC 2014).
- [7]. Statistic of Tapanuli Utara Regency, "Tapanuli Utara in Figures", 2021
- [8]. Meita Rumbayan, Ken Nagasaka, "Emission And Financial Analysis Of Geothermal Energy Resource (The Case Of Lahendong Site In Indonesia)", International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA), Vol. 2, Juli/Agustus 2012.
- [9]. Arwin D.W. Sumari, Siti Mariani , Retno Gumilang Dewi, "Promoting Geothermal for Energy Security (A Case of Indonesia)", 2nd International Conference on Technology, Informatics, Management, Engineering & Environment, 2014.
- [10]. Ardila Johan Erdiansyah, Xibeng Zhang, Abhisek Ukil, "Grid Integration and Demand Response Management of Geothermal Power Plant with Hybrid Energy Storage System in Indonesia", PES Innovative Smart Grid Technologies Asia (ISGT Asian), 2019.
- [11]. R.. Horas Manahan Sinaga, Prihadi Setyo Darmanto, Andy Trirakhmadi, "Energy Optimization and Gas Removal Selection of Geothermal Power Plant", International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application (ICSEEA), 2017.
- [12]. Direktorat Panas Bumi, Ditjen EBTKE Pusat Sumber Daya Mineral,Batubara, dan Panas Bumi, Badan Geologi, "Potensi Panas Bumi Indonesia Jilid I", 2017.
- [13]. Hermawan, Karnoto, "Design Analysis of Photovoltaic Systems as Renewable Energy Resource in Airport", 4th Int. Conf. on Information Tech., Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE), 2017.
- [14]. Kashfia Naz Nikita, Sk Nazmul Islam, Md. Sarafat Islam, Mithun Saha, Md. Fayyaz khan, "Prospect of Solar PV based Power Generation in the Marshy Lands of Bangladesh: An Analysis Through RETScreen Software", 4th International Conference on the Development in the Renewable Energy Technology (ICDRET), 2016.

ELTICOM 2021

CERTIFICATE

This to certify that

Yulianta Siregar, Friady Hartono Siregar, Emerson P. Sinulingga, Suherman

with paper's title

Design Of Geothermal and Solar Hybrid Renewable Energy In Sipoholon Village, North Tapanuli Regency, North Sumatera

to contribute as

Author

**The 5th International Conference on Electrical,
Telecommunication and Computer Engineering 2021**

General Chair



ELTICOM 2021

Dr. Ali Hanafah Rambe, ST, MT

