

BAB III

PELAKSANAAN KERJA MAGANG

3.1 Analisis Kegiatan Umum

3.1.1 Analisis Kegiatan Toray Secara Umum

Selama proses magang, penempatan yang dilakukan adalah sebagai Auditor Energi pada bagian *Spinning* di *Departemen Staple Fiber*, yang berada dibawah coordinator *Manager Spinning*. *Manager Spinning* bertanggung jawab atas pelaksanaan pemetaan energi secara menyeluruh di area tersebut. Dalam peran sebagai Auditor Energi, tugas yang dijalankan meliputi sebagai asistensi kepada *Manajer Spinning* dalam kegiatan pemetaan konsumsi energi serta pengumpulan data terkait penggunaan energi selama proses operasional mesin produksi. Untuk mendapatkan data primer yang diperlukan dalam proses audit energi, dilakukan observasi langsung serta wawancara dengan operator atau penanggung jawab mesin *Spinning* di area pabrik.

Koordinasi sangat penting selama proses magang untuk mencapai target yang diinginkan. Koordinasi dilakukan melalui pertemuan rutin minimal sekali seminggu, baik secara daring maupun luring. Pertemuan ini melibatkan karyawan, operator mesin, penanggung jawab, dan *Manager Spinning*. Dalam pertemuan tersebut, dibahas tentang pemetaan energi pada mesin spinning, pembagian tugas saat pengambilan data di lapangan, serta pemantauan konsumsi energi mesin spinning.

Selama pelaksanaan kegiatan magang, mahasiswa mengamati bahwa di area drawing masih banyak digunakan lampu jenis TL Neon Gas, yang menunjukkan bahwa proses penggantian ke lampu TL LED belum sepenuhnya dilakukan. Padahal, area drawing merupakan salah satu area dengan jumlah penggunaan lampu terbanyak di lingkungan perusahaan. Penggunaan lampu TL LED dinilai lebih efisien dalam konsumsi energi dan dapat menurunkan biaya operasional penerangan. Dengan adanya tren kenaikan harga listrik secara global yang mencapai rata-rata 7% per tahun, serta di Indonesia diperkirakan meningkat sebesar 6% setiap empat bulan, efisiensi energi menjadi hal yang

penting untuk diperhatikan. Salah satu faktor penyebab kenaikan tarif ini adalah pembangunan pembangkit listrik baru guna memenuhi kebutuhan konsumsi listrik yang terus meningkat. Oleh karena itu, penggantian lampu ke jenis TL LED diharapkan dapat memberikan kontribusi penghematan energi sebesar 5–10% bagi perusahaan [9]. Dengan adanya penghematan ini dilakukan dapat memberikan keuntungan pada semua pihak.

3.1.2 Analisis Divisi Toray

Selama magang, tugas utama yang diberikan adalah sebagai audit energi untuk melakukan pemetaan dan pemantauan konsumsi energi pada mesin spinning. Proses audit energi dilakukan sesuai dengan peraturan perusahaan yang merujuk pada ISO 9001 dan ISO 14001:2004. Peraturan ini mengharuskan seluruh karyawan PT Indonesia Toray Synthetics untuk menerapkan Sistem Manajemen Lingkungan dan Sistem Manajemen Mutu, serta mengutamakan keselamatan, mencegah kecelakaan, dan pencemaran lingkungan, dengan menjaga dan memelihara kesehatan serta keselamatan karyawan, pelanggan, masyarakat, dan lingkungan sekitarnya.

Selama pelaksanaan kegiatan magang berlangsung pada PT. Indonesia Toray Synthetics, mahasiswa mendapatkan pengalaman langsung dan pemahaman tentang proses kerja di beberapa department. Department yang dikunjungi selama waktu magang, diantaranya: *Departemen Staple Fiber*, *Polymer*, dan *Utility*. Pada *Department Staple Fiber* mahasiswa melakukan pembelajaran proses produksi serat pendek berbahan dasar polyester yang mencakup tahapan chip, ekstrusi, pendinginan, crimping (pemberian gelombang), hingga pemotongan sesuai ukuran yang telah ditentukan. Selain mengetahui proses-proses yang terjadi pada bagian produksi, mahasiswa harus memahami pentingnya pada penggunaan pada mesin dan pemantauan penggunaan energi yang digunakan untuk menghasilkan kualitas produk secara berkala untuk menjaga standar mutu yang telah ditetapkan. *Department Polymer* mahasiswa mempelajari dengan proses pembuatan bahan baku serat sintetis, khususnya tahapan polimerisasi yang melibatkan reaksi kimia antara

monomer dalam kondisi suhu dan tekanan tertentu untuk menghasilkan polimer yang berkualitas tinggi dan melakukan pengamatan proses yang ketat. Pada *Department Utility* mahasiswa berfokus pada pengenalan pada sistem pendukung operasional pabrik seperti pengelolaan batubara, air, udara, tekanan udara, dan sistem pendingin. Mahasiswa mempelajari peran *boiler, chiller, compresor, water treatment, dan waste water* dalam menunjang proses produksi, serta penting melakukan pemeliharaan berkala guna untuk memastikan efisiensi dan kontinuitas operasional. Dalam melalui rangkaian kegiatan yang diterapkan pada proses magang mahasiswa dapat memperoleh pemahaman yang komprehensif mengenai keterkaitan antar unit kerja dan pentingnya koordinas teknis dalam mendukung keberlangsungan proses produksi industry berbasis teknologi modernisasi.

Selanjutnya, mahasiswa juga diperkenalkan dengan konsep perencanaan dan pengendalian produksi yang merupakan salah satu aspek yang penting dalam menjaga kelancaran operasional industri. Dalam pembahasan terakit perencanaan produksi yang mencakup penjadwalan kegiatan produksi, kapasitas mesin, ketersediaan bahan baku, dan permintaan konsumen. Dalam pembahasan pengendalian produksi yang berfungsi untuk memastikan bahwa proses berjalan sesuai rencana, baik dari segi waktu, kualitas, dan kuantitas. Pemahaman diberikan untuk mengenai terkait strategi produk disusun agar efisien dan adaptif terhadap perubahan operasional, termasuk dalam penerapan sistem *monitoring* dan evaluasi yang terintegrasi.

3.1.3 Perencanaan dan Pengendalian Produksi

1. Perencanaan produksi

Perencanaan produksi merupakan suatu kegiatan yang mengenai penentuan dan penetapan proses-proses produksi yang dilaksanakan untuk mencapai suatu tujuan. Bagian merencanakan suatu produksi bertugas untuk merencanakan seluruh kegiatan produksi dan melakukan koordinasi seluruh pihak yang terlibat dalam proses pemesanan, produksi, dan pengiriman [10].

Untuk mendapatkan perencanaan produksi yang optimal, bagian perencanaan produksi harus menguasai dan memperlihatkan aspek-aspek yang berkaitan dengan proses yang berlangsung dan kapasitas produksi, diantaranya adalah:

1. Waktu pengerjaan produksi
2. Kemampuan mesin-mesin produksi
3. Bahan baku yang dibutuhkan
4. Waktu pengiriman produk
5. Kualitas dan kuantitas produk
6. Biaya produksi

Sebelum membuat perencanaan produksi, bagian *Production Planning Kontrol* (PPC) melakukan *sales meeting* yang melibatkan pihak *sales*, pihak produksi *Technical Service*. Kegiatan *sales meeting* dilakukan untuk menyesuaikan antara permintaan produk dengan kapasitas yang dimiliki. Selain itu, *sales meeting* ditunjukkan sebagai memastikan pemesanan produk yang semula masih berbentuk peramalan (*forecasting*) dari pembelian di bulan-bulan sebelumnya [10].

POLYESTER STAPLE FIBER
PRODUCTION PLAN TABLE

Month: **OCTOBER 2017**

LADAPUSDA
Pimpinan Adhara

S. Rahmatulloh, S.
Pimpinan Manajer

M1	M2	M3	M4	Date																														
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1.1	1.2	1.3	1.4	Production Data																														
2.1	2.2	2.3	2.4	Production Data																														
3.1	3.2	3.3	3.4	Production Data																														
4.1	4.2	4.3	4.4	Production Data																														

Production Plan	Budget	Comparison	
		Diff	%Diff
Production Plan	885.0	1,023.3	115.0
Budget	885.0	1,023.3	115.0
Diff	0.0	138.3	15.6
%Diff	0.0	15.6	1.8

Gambar 3. 1 Contoh production plan table P-SF Section

Sumber: (Bagian PPC P-SF *Section*, Polyester Departemen)[10].

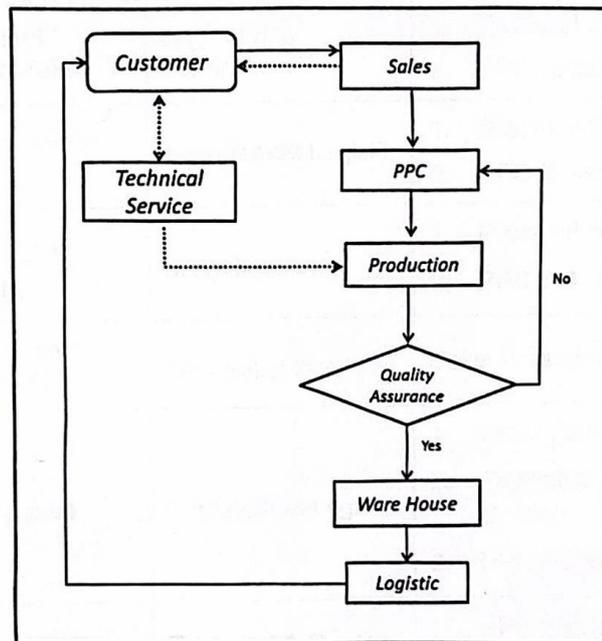
Keterangan Gambar 3.1:

1. Jadwal produksi unit *Spinning Countinous* dalam satu bulan sesuai waktu, jumlah produksi, dan tipe produksi.
2. Kuantitas produksi unit *Spinning Countinous* dalam satu bulan per tipe produksi.

Proses pemesanan produksi yang memerlukan tingkat koordinasi yang baik antara pihak-pihak yang terlibat di dalamnya. Untuk itu, bagian PPC dengan seksi *Polyester Staple Fiber* melakukan tugasnya sesuai dengan koordinasi yang dibuat diawal. Proses pemesanan produk *Polyester Staple Fiber* berawal dari permintaan *Customer* dengan pihak *sales* PT ITS. Pemesanan dikendalikan oleh pihak *sales* agar penjualan dapat berjalan dengan lancar sesuai yang diharapkan. Pihak *sales* kemudian menyampaikan informasi pemesanan ke pihak PPC untuk dibuat perencanaan produksi yang sesuai dengan kapasitas produksi yang dimiliki dan pihak PPC berkoordinasi dengan pihak Produksi untuk merencanakan teknis pelaksanaan produksi [10].

Pihak Produksi selanjutnya memulai produksi dengan terus berkoordinasi dengan pihak *Quality Assurance (QA)* untuk memastikan apakah produk yang dihasilkan sudah sesuai dengan standar. Apabila produk yang dihasilkan tidak sesuai dengan standar maka pihak QA berkoordinasi dengan pihak PPC, sehingga pihak PPC mengatur proses klasifikasi produk yang tidak sesuai dengan standar tersebut. Produk yang dihasilkan dari unit *Spinning Countinius* yang berada diluar batas standar dapat diklasifikasikan kembali menjadi produk *grade B* sebelum menjadi limbah. Setelah selesai proses produksi, produk langsung dikirimkan ke gudang untuk melakukan proses *Aging* (Proses penuaan dengan cara mendinginkan produk selama dua hari di gudang) dan pengiriman. Produk yang sesuai dengan standar kualitas dan jumlahnya sudah sesuai dengan jumlah yang dipesan dikirim oleh pihak

Logistik. Setelah sampai pada pihak *Customer*, pihak *Technical Services* mendampingi pihak *Customer* membutuhkan saran mengenai produk yang dibeli pada proses produksi atau menemukan masalah dengan produk yang telah dibeli [10].



Gambar 3. 2 Alur pemesanan produk

Sumber: (Bagian PPC P-SF Section, Polyester Departemen) [10].

UNIVERSITAS
MULTIMEDIA
NUSANTARA

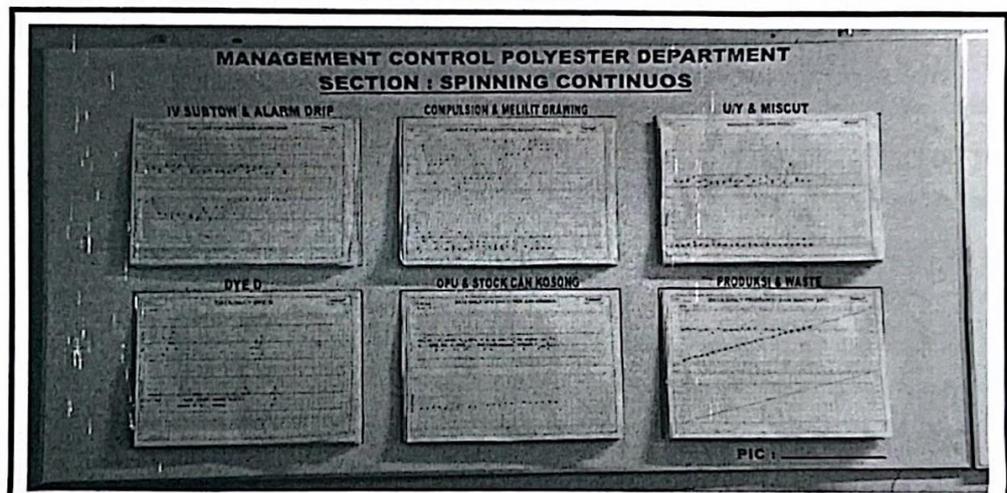
Tabel 3. 1 Bisnis proses unit Spinning Countinuous, seksi P-SF

Jenis Pekerjaan	Pihak Bertanggung Jawab	Pihak Terlibat
Pemesan Produk Dari <i>Customer</i>	<i>Sales Deprartement</i>	PPC Seksi P-SF
Pembuatan Rencana Produksi	PPC Seksi P-SF	Produksi Seksi P-SF
Proses Produksi	Produksi Seksi P-SF	1. PPC Seksi P-SF 2. <i>Quality Assurance Section</i> 3. <i>Engineering Departemen</i>
Penyediaan Keperluan Produksi	<i>Purchase Departemen</i>	1. PPC Seksi P-SF 2. Departemen Logistik 3. Produksi Seksi P-SF
Pemasok Bahan Baku Produksi	<i>Polymer Section</i>	1. PPC P-SF 2. <i>Engineering Departemen</i>
Penyedia Energy Penunjang Produksi	Engineering Departemen	1. Produksi Seksi P-SF 2. PPC Seksi P-SF
Pengelolaan Gudang Produksi	Departemen Logistik	1. Produksi Seksi P-SF 2. PPC Seksi P-SF
Pengelolaan Limbah Produksi (Cair)	<i>Utility Section</i>	1. Produksi Seksi P-SF 2. Ppc Seksi P-SF
Pengelolaan Limbah Produksi (Padat)	PPC Seksi P-SF	Seksi Personalia Umum
Pengiriman Produk	Departemen Logistik	1. Sales Departemen 2. Technical Services Section 3. PPC Seksi P-SF
Penanganan Keluhan Produk	<i>Technical & Quality Assurance Departemen</i>	1. PPC Seksi P-SF 2. Produksi Seksi P-SF 3. Sales Departemen

2. Pengendalian Produksi

Proses pengendalian produksi dilakukan untuk menghindari penyimpangan dari rencana produksi yang telah dibuat. Pengendalian produksi merupakan suatu kegiatan untuk mengkoordinasi segala kegiatan dan aktivitas pada saat proses produksi berjalan. Dengan dilaksanakannya proses pengendalian produksi, waktu, tenaga, kerja, penggunaan bahan baku dan bahan pendukung lainnya dapat dikelola dengan efektif dan efisien [10].

Pengendalian produksi di seksi P-SF, department polyester, PT ITS dilakukan dengan cara memantau dan menata pelaksanaan proses produksi yang meliputi semua proses. Proses pengendalian produksi yang dilakukan seluruh karyawan yang bertugas dan diawasi langsung oleh kepala seksi. Salah satu bentuk dari pengendalian produksi di seksi P-SF adalah tersedianya *check sheet* untuk diisi oleh setiap operator di setiap *shift*. *Check Sheet* digunakan untuk memantau kelancaran produksi dan dapat dilaporkan pada rapat rutin harian oleh kepala *shift*. Pendataan performa proses produksi, kualitas produk dan jumlah produksi dalam grafik haria yang terpasang pada *Kontrol Board* [10].



Gambar 3. 3 Grafik manajemen kontrol unit Spinning Countinous.

Sumber: (Unit *Spinning Countinous*, Seksi P-SF, Department Polyester) [10].

Dalam proses pengendalian produksi, manajemen sedang melakukan upaya menekan jumlah limbah yang terbentuk untuk mencapai produktivitas dan efisiensi produksi. Usaha ini dinamakan *Gentan-I project*, yaitu misi untuk menekan potensi terbentuknya limbah dengan cara melakukan analisis data performa proses produksi. Setelah ditemukan penyebab terbentuknya limbah yang paling tinggi, maka penyebabnya akan menjadi prioritas untuk di perkecil frekuensinya. Untuk mengecilkan frekuensinya maka dilakukan perbaikan, peningkatan pemeliharaan maupun penggantian peralatan yang mampu memperkecil frekuensi terjadinya masalah yang mengakibatkan terbentuknya limbah tersebut [10].

3. Jenis dan Jumlah Produksi

Produk yang dihasilkan oleh PT Indonesia Toray Synthetics, Departemen Polyester adalah polyester chip, polyester filament yarn, dan polyester staple fiber. Produksi polyester chip dilakukan oleh seksi polymer. Benang filament atau polyester filament yarn diproduksi oleh seksi *Polyester Filament Yarn* (P-FY). Serat buatan *Polyester* atau *Polyester Staple Fiber* di produksi oleh seksi *Polyester Staple Fiber* (P-SF). Seksi P-SF terbagi menjadi dua bagian, yaitu *Spinning Batch* dan *Spinning Countinous* [10].

Unit *Spinning Countinous* memproduksi *staple fiber* dalam 2 tipe. Produk yang dihasilkan dari Unit *Spinning Countinous* dikemas bale seberat 300 kg yang dibungkus menggunakan plastik atau dikenal dengan *pp-cloth*. Tipe produksi tersebut dikemas dengan warna *pp-cloth* yang berbeda. Pada setiap kemasan diberikan label sesuai dengan waktu, tipe, dan nama produksi. Tipe produksi Unit *Spinning Countinous* dikelompokan berdasarkan proses selanjutnya. Tipe produksi yang dibuat antaranya adalah T-403 1.3d dan T-402 1.3d, dimana kode T adalah Teoteron, yaitu nama dagang serat dari polyester yang di produksi PT ITS, 403 adalah kode serat polyester yang disesuaikan untuk dicampur dengan serat kapas, 402 adalah kode serat polyester yang disesuaikan untuk di campurkan dengan serat rayon. 1.3d adalah kode dari

kehalusan serat polyester tersebut, yaitu 1.3 denier, dimana 9000 m serat polyester memiliki berat 1,3 gram [10].



Tabel 3. 2 Jenis produk dan jumlah produksi Polyester Departemen

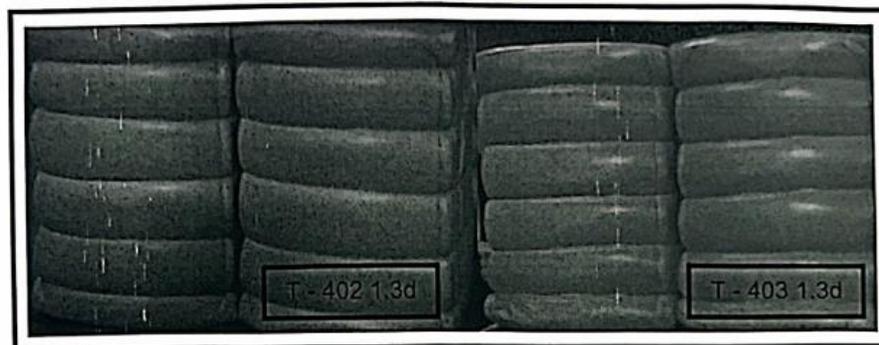
No	Jenis produk	Jumlah produksi (Ton/Bulan)
1	<i>Polyester Chip</i>	2100
2	<i>Polyester Staple Fiber (Spinning Countinous)</i>	4080
3	<i>Polyester Staple Fiber (Spinning Batch)</i>	1020
4	<i>Polyester Fillament Yarn</i>	1233

Sumber: Departemen Polyester PT ITS [10].

Tabel 3. 3 Jenis produk dan jumlah produksi unit Spinning Countinous

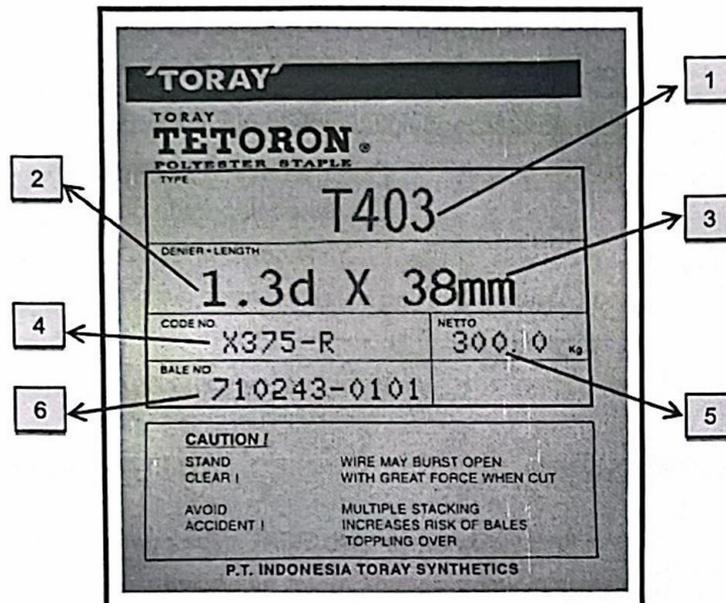
No	Jenis produk	Jumlah produk (Ton)	
		Oktober	November
1	T. 402 1.3d x 44 mm	700	680
2	T. 403 1.3d x 38 mm	3036	2950
3	T. 403 1.3d x 44 mm	480	450
4	T. 402 1.3d x 38 mm	-	
Jumlah		4216	4080

Sumber: Departemen Polyester PT ITS [10].



Gambar 3. 4 Bale, produk unit Spinning Countinous, P-SF Section

Sumber: Departemen Polyester PT ITS [10]



Gambar 3. 5 Label produksi unit Spinning Countinuous

Keterangan Gambar 3.5, yaitu:

1. Tipe produksi, digunakan untuk pencampuran dengan serat kapas.
2. Kehalusan serat. 1,3 gram dan panjang 9000 m
3. Panjang potongan serat
4. Kode *Oil* yang digunakan
5. Berat bersih poliesteri *polyester staple fiber*
6. Nomor bale '71024' produk dibuat pada tanggal 24 Oktober 2017, '3' *line* produksi yang digunakan, '0101' nomor produksi *bale*.

Menghasilkan produk *Staple Fiber* yang sesuai dengan standar kualitas, Unit *Spinning Continuous* dalam menjalankan proses produksi yang terstruktur dan didukung oleh penggunaan mesin-mesin yang berteknologi yang canggih. Tahap proses produksi dimulai dari pencairan *Chip Polyester* hingga proses pembentukan *Filament* yang selanjutnya akan diproses menjadi serat *Staple*. Setiap proses ini dilakukan secara kontinu dilakukan dengan pengawasan super

ketat dari operator, seperti suhu, tekanan, dan kecepatan putaran mesin. Pengguna mesin *Spinning* yang tepat dan terkalibrasi dengan baik dapat menentukan faktor penentu dalam menghasilkan kehalusan serat, kekuatan, dan Panjang serat yang konsisten. Oleh karena itu, setelah melakukan pembahasan tentang pemahaman mengenai alur produksi dan spesifikasi teknis dari mesin *Spinning* sangat penting dalam mendukung efisiensi serta kestabilitas suatu produk yang dihasilkan.

3.1.4 Proses produksi dan mesin spinning

1. Jenis Proses Produksi *Spinning*

Proses *Spinning* ialah langkah di mana polimer yang meleleh disalurkan secara konsisten melalui gear pump atau matering pump dan manifold dengan penjagaan temperature untuk di tetap di 275°C ke dalam komponen pack. Di dalam pack, polimer yang masuk melalui beberapa tahap penyaringan untuk menghindari kontaminasi oleh partikel kotor. Pack ini terdiri dari komponen yang bertujuan untuk meratakan tekanan keluaran polimer, memastikan bahwa *filament* yang dihasilkan sudah sesuai dengan standar yang ditetapkan. *Filament* yang muncul dari lubang spinneret kemudian dikompres dengan bantuan aliran udara yang dihasilkan oleh *Cooling Chimey*. Udara ini memiliki suhu 22°C hingga 26°C dan kecepatan alirannya 1,50 meter/detik juga *Static Preasure* sebesar 450 mm H₂O. Sirkulasi ini angina terdapat pula komponen exhaust dengan *Static Preasure* sebesar 140-155 mm H₂O [11].

Setelah terbentuk, *filament* kemudian melewati oiling rol yang berfungsi untuk memberikan pelumasan pada permukaan filamen. Tujuanya adalah untuk menghindari terjadinya gaya statis saat *filament* bersentuhan dengan elemen mesin yang terbuat dari logam, dengan kecepatan 60 rpm. Proses selanjutnya adalah melalui godet rol yang digunakan untuk mengubah arah penarikan filamen. Setelah melewati godet rol, ada skuid guide yang berfungsi untuk mengatur jumlah minyak berlebih yang mungkin masih menempel pada *filament* juga menahan *filament* agar merata [11].

Lalu filamen-filamen tersebut dihubungkan dengan alat *pack up* selanjutnya, sebanyak 2700 filamen yang muncul dari spindle kemudian digabungkan dengan filamen yang berada dari spindle lain, membentuk suatu struktur yang disebut '*subtow*'. Selanjutnya, *subtow* ini dimasukkan kedalam *twister*, suatu perangkat yang berperan dalam memisahkan filamen-filamen tersebut. Tujuannya adalah untuk mencegah filamen-filamen saling menempel atau menjadi kusut satu sama lain dengan memutar filamen sekaligus mengecilkan ekor bekas penyambung filamen. Setelah melewati *twister* dan *skid shower*, *subtow* kemudian dijalankan melalui *capstan rol* dengan 1400 m/s, lalu dialirkan ke *gear whell* yang bertujuan untuk memasukannya ke dalam wadah *can*. Pengisian satu wadah *can* melibatkan proses yang berlangsung selama 95 menit, dengan berat *subtow* sekitar 4,5 ton [11].

2. Proses produksi *After Treatment*

Proses produksi *After Treatment*, hasil *spinning* berupa *sub-tow* akan meliputi 4 tahapan yaitu: penarikan (*drawing*), pemberian lekukan (*crimp*), pemotongan, dan pengepakan. Proses *after treatment* pada proses *batch* maupun kontinu melewati tahapan-tahapan yang sama, berikut merupakan uraian proses yang terjadi pada proses *after treatment*:

1. Proses Awal

Sub-tow yang terletak pada tiap *can* akan dialirkan melalui alat *creel* untuk proses penarikan. *Creel* bekerja dengan cara mengubah 90° arah pada *sub-tow* yang menggunakan *fix-guide*. Setelah *sub-tow* akan masuk ke dalam *stand guide* yang dapat merubah posisi *sub-tow* dengan cara melakukan pemutaran sebanyak 360° . Pemutaran ini dilakukan dengan sebagai bentuk penyesuaian untuk menghindari terjadinya kondisi kusut atau tidak merata pada *sub-tow* [11].

Selanjutnya, *sub-tow* akan diberi tegangan awal pada *pre-tensioner* kemudian masuk ke alat *processing oil batch (PO Bath)* yang berfungsi untuk memberikan kerataan pada *oil* serta meminimalisirkan tingkat melilit pada *sub-tow* dengan memberikan *pure water*. *Sub-tow* yang terdapat *oil* secara

berlebih akan dikendalikan oleh rol pemeras yang terletak pada bagian keluaran alat *PO bath* [11].

2. Proses Penarikan (*Drawing*)

Setelah kandungan *oil* dari *sub-tow* diratakan, proses penarikan dimulai dengan *sub-tow* memasuki alat *draw box* 1. Selanjutnya, *sub-tow* akan melalui *hot shower bath* (*HS bath*) untuk mempermudah proses pemegangan *sub-tow* menggunakan media pemanasan air. Lalu, *sub-tow* akan memasuki *draw box* 2 untuk kembali ditarik dengan kecepatan yang lebih tinggi. Kemudian *sub-tow* akan memasuki bagian alat *first steam bath* (*FS bath*) untuk dipanaskan menggunakan media pemanas steam dengan *sub-tow* akan kembali ditarik menggunakan alat *draw box* 3 [11].

Setelah proses penarikan utama selesai, *sub-tow* akan melewati alat *hot drum* yang berisi 13 rol besi dengan pemberian steam MPS pada rol 1 hingga rol 4 dan steam HPS pada rol 5 hingga rol 13. Adanya peningkatan tekanan pada rol dimaksudkan agar *sub-tow* tidak mengalami putus pada ditengah proses berjalan. Proses yang dilakukan pada *hot drum* dapat menentukan sifat fisik untuk *staple fiber* yaitu terhadap gaya serap, elongasi, dan *tenacity*. Selanjutnya, *sub-tow* akan masuk ke dalam alat *cooling shower* untuk melewati proses pendinginan agar sifat elektrositas hilang dan mencegah terjadinya penelitan. Kemudian *sub-tow* akan memasuki *draw box* 4 untuk ditarik kembali dengan penarikan yang kecil sehingga dampaknya tidak terlalu terlihat [11].

Selanjutnya, *sub-tow* akan memasuki *u-roll* untuk menata posisinya dan akan masuk ke *stacker roll* untuk mengatur kesejajaran rol dengan bantuan 4 *lane* yang berbeda. Kemudian, *sub-tow* akan memasuki alat *pullroll* yang berfungsi untuk menyatukan 4 *lane* dari *stacker roll* menjadi 2 *lane*. Lalu, *sub-tow* akan memasuki *dance roll* yang berfungsi mengatur keseimbangan kondisi penarikan di *drawing* dan *crimper* yang berhubungan dengan posisi *dancer roll* yang ada diantara kedua alat proses tersebut [11].

Pada proses *after treatment batch*, tipe *conjugate* (28P) tidak melewati *hot drum* karena keperluan untuk pembalut dan popok tidak membutuhkan tingkat kemularan yang tinggi. Selain itu, pada *lane 1P* terjadi penarikan sebanyak 1 kali (*draw box 1 draw box 2*) dan *lane 2P* terjadi penarikan sebanyak 2 kali (*draw box 1 draw box 2* dan *draw box 2 draw box 3*) [11].

3. Proses Pemberian Lekukan (*Crimp*)

Setelah proses penarikan selesai, *sub-tow* akan masuk ke dalam alat *steam conditioner* untuk mempermudah proses *crimping* dengan cara dipanaskan dengan menggunakan steam pada bagian atas dan bawah *sub-tow*. Kemudian, *sub-tow* akan berubah menjadi *tow* dengan metode penjepitan *tow* pada bagian atas dan bawah agar terbentuk efek keriting yang bisa disebut dengan sebagai *crimp* dengan *moisture content* sebesar 3%. Selanjutnya, *tow* yang masih bersuhu tinggi akan memasuki alat *heat setter* untuk dilakukan pengeringan agar *moisture content* sebesar 0,6%. Metode pengeringan pada *heat setter* menggunakan aliran *conveyor* yang berada pada bagian atasnya terdapat *fan* dan bagian bawahnya terdapat steam LPS [11].

4. Proses pemotongan

Tow yang sudah melewati proses pendinginan melalui *heat setter* akan dialirkan dengan mesin *cutter* menggunakan motor karena ditarik kelantai 3 dasar. Selanjutnya, *tow* akan diberikan tegangan awal dan melalui *spray box* untuk diberikan *oil* tipe X-375 dengan cara disemprotkan menggunakan *nozzle*. Kemudian, *tow* akan melewati *drip detector* lalu melewati rotor untuk menjadi proses *staple fiber*. Untuk proses *batch*, terdapat 3 macam ukuran pemotongan, yaitu 38 mm, 41 mm, dan 51 mm. Sedangkan, pada proses proses kontinu terdapat 2 macam ukuran pemotongan, yaitu 38 mm dan 41 mm [11].

5. Proses pengepakan

Staple fiber yang sudah dipotong, selanjutnya akan dialirkan melalui *conveyor* dan ditimbang. Berat dari *staple fiber* untuk proses *batch* adalah 250 kg, sedangkan pada proses kontinu adalah 320 kg. Alat pengepakan atau *billing* memiliki 2 sisi, dimana sisi pertama untuk menimbang *staple fiber* dan sisi kedua untuk serta menekan *staple fiber* untuk masuk ke dalam kemasan [11].

Durasi selama pengepakan berlangsung untuk proses *batch*, berlangsung selama 15 menit, sedangkan proses kontinu berlangsung selama 4 menit. Terdapat perbedaan antara mesin pemotong *staple fiber* pada proses *batch* memiliki ukuran yang lebih kecil dibandingkan dengan proses kontinu. Setelah proses *billing* selesai dilakukan, akan dilakukan proses penimbangan ulang secara manual untuk memastikan kesesuaian berat dari kemasan tipe *staple fiber* yang akan dijual [11].

Perbedaan yang ditemukan antara kedua jenis proses yang berjalan tidak hanya terletak pada waktu proses pengepakan dan ukuran mesin pemotong, tetapi juga berpengaruh dengan konsumsi energi yang digunakan selama proses operasional berlangsung. Proses yang terjadi pada *polymer batch* cenderung sangat membutuhkan waktu yang sangat lama dan menggunakan proses intervensi manual yang sangat banyak, sementara proses *polymer continuous* lebih efisien secara waktu dan lebih terstruktur secara otomatis. Efisiensi ini turut mempengaruhi penggunaan jumlah energi listrik yang dikonsumsi oleh peralatan dan mesin-mesin pendukung di semua tahapan produksi. Oleh karena itu, untuk melakukan pemahaman sejauh mana efisiensi energi yang dicapai di *Departemen Staple Fiber*, sangat diperlukan untuk melakukan analisis penggunaan energi yang komprehensif berdasarkan sesuai dengan karakteristik dari masing-masing proses yang dilakukan.

3.2 Analisis Penggunaan Energi Pada Departemen Staple Fiber

3.2.1 Jumlah penggunaan energi pada Departemen Staple Fiber

Department staple fiber merupakan salah satu bagian penting dalam produksi tekstil yang memerlukan konsumsi energi cukup besar. Proses produksi serat staple melibatkan berbagai tahapan seperti pencampuran bahan baku, pemanasan, penarikan, pemotongan, hingga pendinginan. Setiap proses memerlukan dukungan energi listrik dan energi panas secara terus menerus untuk menjaga kelancaran mesin dan efisiensi suatu produk.

Konsumsi energi yang berada di *Department staple fiber* yang paling besar penggunaan didominasi oleh penggunaan listrik untuk mengoperasikan mesin-mesin besar, seperti *extruder*, *crimper*, dan *cutter*. Energi panas yang berasal dari boiler juga digunakan untuk melakukan proses pengeringan pada serat. Berdasarkan data internal, menunjukkan rata-rata konsumsi energi listrik per satu bulan mencapai 1.000.000 kWh, sementara untuk bahan bakar boiler dalam waktu 1 bulan bisa mencapai 6000 Ton/Steam. Jumlah penggunaan energi listrik dan boiler bisa berubah tergantung volume produksi dan jumlah mesin yang berjalan pada saat proses produksi berlangsung.

Pola konsumsi energi yang berada pada *Department staple fiber* lebih kelihatan meningkat pada saat kapasitas produksi memiliki nilai yang tinggi. Pada saat permintaan pasa yang tinggi, mesin-mesin produksi akan berpotensi dalam waktu yang lebih lama sehingga penggunaan energi meningkat. Hal ini menjadi salah satu tantangan tersendiri bagi manajemen energi lingkungan pabrik, terutama menjaga keseimbangan antara target produksi dan efisiensi penggunaan energi.

Dalam upaya untuk mengatasi suatu tantangan tersebut, *Department staple fiber* harus mulai menerapkan berbagai langkah sebuah efisiensi energi, audit energi rutin, pelatihan bagi operator mesin listrik terkait masalah hemat energi, dan pemanfaatan teknologi inverter pada motor-motor listrik. Selain itu, sistem pemantauan energi berbasis digital wajib diterapkan dan dijalankan yang

digunakan untuk menganalisis tren konsumsi secara real time, sehingga tindakan korektif dapat dilakukan dengan cepat jika terjadi pemborosan energi.

Pengelolaan energi yang lebih baik, maka langkah yang perlu di tingkatkan pada *Department staple fiber* tidak hanya dapat menekan biaya operasional, tetapi mendukung juga inisiatif perusahaan menuju produksi yang lebih berkelanjutan. Proses ini bisa dilakukan dengan cara pengurangan emisi karbon, peningkatan efisiensi, dan kesadaran lingkungan menjadi nilai tambah dalam proses produksi serat yang lebih ramah bagi lingkungan sekitar.

3.2.2 Penggunaan energi pada *Departemen Staple Fiber*

Department Staple Fiber merupakan bagian penting dalam dunia industry tekstil yang menggunakan beragam jenis energi untuk menjalankan seluruh proses produksinya. Energi listrik menjadi sumber utama yang digunakan untuk mengoperasikan berbagai peralatan produksi, seperti mesin *extruder, spinneret, drawing machine, crimper, dan cutting*. Dalam *Departemen Staple Fiber* energi listrik bukan hanya digunakan sebagai penggerak suatu mesin produk, energi listrik juga dibutuhkan dalam sistem kontrol otomatis, pencahayaan fasilitas, serta pendingin ruangan yang menjaga kestabilan suhu mesin dan material. Pemanfaatan energi listrik yang efisien tidak hanya berdampak pada kelancaran operasional, tetapi juga pada pengurangan biaya produksi dan peningkatan daya saing industri.

Di samping penggunaan energi listrik, energi termal menjadi salah satu peran penting dalam proses pembuatan serat staple. Energi ini umumnya berasal dari uap panas (*steam*) yang dihasilkan oleh boiler berbahan bakar batu bara, gas alam, dan solar. Pengelolaan tersebut menghasilkan uap yang digunakan dalam berbagai tahap produksi, pemanasan bahan baku polymer, pengeringan serat (*drying*), dan proses heat setting yang bertujuan untuk menetapkan sifat fisik serat dengan sesuai standar kualitas yang dibuat. Efisiensi penggunaan energi termal sangat menentukan keberhasilan proses produksi secara keseluruhan, karena suhu dan tekanan yang tepat dapat meningkatkan kualitas produk akhir dan mengurangi jumlah limbah. Oleh karena itu, pengelolaan

energi yang cermat menjadi kunci penting dalam mendukung keberlanjutan operasional *Departemen Staple Fiber*.

Tabel 3.4 adalah tabel yang menyajikan informasi data penggunaan konsumsi energi pada tahun 2024 di *Departemen Staple Fiber* dalam proses yang terjadi pada *Polyester Staple Fiber (PSF)*, yang dapat diklasifikasikan berdasarkan jenis penggunaan energi. Data ini digunakan sebagai acuan untuk dilakukan evaluasi terkait efisiensi energi serta perencanaan untuk pencapaian target penghematan energi pada tahun 2025 sebesar 6,7%. Angka tersebut telah dibuat dan ditetapkan oleh sekretariat perusahaan yang sudah sesuai dengan standar ISO 50001 dan target penghematan energi tersebut telah mulai dijalankan sejak tahun-tahun sebelumnya, tidak hanya di fokuskan pada *Departemen Polyester Staple Fiber*. Selain itu juga, digunakan sebagai acuan dalam upaya efisiensi energi di departemen lainnya. Penghematan konsumsi energi yang dilakukan merupakan standar internasional mengenai “Sistem Manajemen Energi”.

Tabel 3. 4 Data Biaya Tagihan Energi Polyester Staple Fiber (PSF)

NO	ITEM	STAPLE FIBER DEPARTEMEN (USD)		SF TOTAL
		POLYMER (USD)	PSF (USD)	
1	ELECTRICAL	0	0	0
2	INDUSTRIAL WATER	35,117	31,882	66,990
3	STEAM	1,164,791	1,963,795	3,128,586
4	PLN	534,047	858,082	1,329,129
5	PURE WATER	2,552	44,771	47,323
6	COMPRESOR	88,475	170,552	259,027
7	REFRIGRATOR	248,929	365,018	613,948
8	NITROGEN	54,871	9,004	53,875
TOTAL OF ENERGY CONSUME		2,128,791	3,443,195	5,571,886
TARGET FOR SAVING ENERGY YEAR 2024 (DOWN 6,7%)		373,316		

Target penghematan energi yang dilakukan pada PT. Indonesia Toray Synthetics menggunakan satuan biaya dalam dolar Amerika Serikat (USD). Tabel 3.4 mencantumkan jenis sumber energi dan utilitas yang digunakan,

antara lain *Electrical, Industrial Water, Steam. Pln, Pure Water, Compressor, Refrigerator, dan Nitrogen*, yang masing-masing diklasifikasikan berdasarkan penggunaan pada bagian *Polymer* dan *PSF (Polyester Staple Fiber)*. Total konsumsi energi untuk *Departemen Staple Fiber* mencapai 5.571.886 USD. Rincian total penggunaan konsumsi energi pada bagian *Polymer* sebesar 2.128.781 USD dan bagian *PSF* sebesar 3.443.105 USD. Berdasarkan data tersebut perusahaan berhasil menetapkan target penghematan energi sebesar 373.316 USD atau setara dengan penurunan sebesar 6,7% dari total konsumsi energi sebelumnya. Hal ini bisa dijadikan bentuk berkomitmen dalam meningkatkan efisiensi energi dalam mendukung operasional yang berkelanjutan.

Perlu adanya penghematan energi di area *Drawing* karena ini merupakan salah satu proses inti dalam produksi serat stapel polyester yang mengonsumsi energi dalam jumlah besar. Terutama pada penggunaan konsumsi listrik, salah satunya adalah penggunaan lampu di area *Drawing*. Efisiensi pada tahap ini sangat berpotensi memberikan kontribusi signifikan terhadap pencapaian target penghematan energi perusahaan. Selain itu, optimalisasi pada mesin-mesin *Drawing*, seperti penyesuaian kecepatan motor atau penerapan sistem kontrol otomatis yang dapat menurunkan konsumsi daya tanpa mengorbankan kualitas produk. Penghematan energi di PT Indonesia Toray Synthetics tidak hanya mendukung pencapaian target efisiensi sebesar 6,7%, tetapi juga mencerminkan upaya berkelanjutan dalam mewujudkan sistem produksi yang lebih ramah lingkungan dan hemat biaya.

Langkah awal untuk melakukan penghematan energi dengan cara dilakukan mengidentifikasi area-area potensial yang memiliki konsumsi energi yang tinggi namun masih dapat untuk mengoptimalkan tanpa mengganggu proses produksi yang berlangsung. Salah satu area yang menjadi fokus utama dalam penghematan konsumsi energi adalah area *Drawing*, yang merupakan bagian dari proses produksi di *Departemen Staple Fiber*. Area *Drawing* diketahui memiliki jumlah peralatan penerangan yang sangat banyak dengan

total 358 lampu dan waktu beroperasi dalam durasi waktu sepanjang 24 jam setiap harinya. Oleh karena itu, penghematan energi pada sistem pencahayaan di area ini dinilai memiliki dampak yang signifikan terhadap total konsumsi energi dan biaya operasional. Dengan mempertimbangkan efisiensi lampu yang digunakan, waktu operasional, dan pengaturan pencahayaan yang lebih optimal. Langkah awal yang perlu dilakukan oleh *Departemen Staple Fiber* adalah mulai melakukan penyusunan rencana analisis penghematan lampu yang ditujukan khususnya untuk area *Drawing*.

3.3 Analisis Penghematan Lampu Area *Drawing*

3.3.1 Analisis upaya penghematan energi pada Area *Drawing*

Area Drawing merupakan bagian penting dalam proses produksi serat *Polyester Staple Fiber* dengan konsumsi energi listrik yang cukup tinggi, terutama pada sistem pencahayaan. Berdasarkan pemetaan lampu, terdapat 358 lampu yang tersebar di berbagai bagian seperti *Storage Can, Creel, Cantrauver, Heat Setter, Dan Baling*. Komposisi lampu terdiri dari 30% lampu TL Neon Gas (107 lampu) dan 70% lampu TL LED (251 lampu), yang beroperasi selama 24 jam. Beberapa lampu sudah mengalami penurunan intensitas akibat usia dan kurangnya perawatan, serta penumpukkan debu yang menurunkan efisiensi. Hasil pemetaan menunjukkan arus listrik berkisar antara 2,74-3,36 ampere dan tegangan 220 volt. Oleh karena itu, penggantian lampu TL Neon Gas menjadi TL LED dan penambahan titik lampu di area yang kurang penerangan untuk meningkatkan efisiensi energi, keselamatan, dan produktivitas kerja.

Salah satu potensi penghematan yang dapat dilakukan di area *Drawing* adalah melalui optimalisasi sistem pencahayaan. Saat ini, penggunaan lampu di area *Drawing* sebagian masih menggunakan jenis lampu TL Neon Gas yang boros energi. Penggantian lampu jenis LED akan hemat energi dapat menjadi solusi yang efektif, mengingat LED memiliki umur lebih panjang dan konsumsi daya yang lebih rendah. Langkah ini tidak hanya berdampak pada efisiensi energi, tetapi juga mendukung terciptanya lingkungan yang lebih ramah lingkungan.

Untuk mengetahui potensi penghematan energi secara lebih terukur perlu dilakukan perhitungan konsumsi energi di area *Drawing*. Dibawah ini perhitungan konsumsi energi:

$$1. \text{Lampu TL Neon Gas} : 358 \text{ Lampu} \times 36 \text{ Watt} \times 24 \text{ jam} \\ = 309.312 \text{ Watt} \quad (1)$$

$$\frac{309.312 \text{ Watt}}{1000} = 309,312 \text{ kWh}$$

$$\text{Bulan} = 309,312 \text{ kWh} \times 30 \text{ hari} = 9.280 \text{ kWh/bulan}$$

$$2. \text{Lampu TL LED} : 107 \text{ Lampu} \times 18 \text{ Watt} \times 24 \text{ jam} \\ = 46.224 \text{ Watt}$$

$$\frac{46.224 \text{ Watt}}{1000} = 46,224 \text{ kWh}$$

$$\text{Month} = 46,224 \text{ kWh} \times 30 = 1.386 \text{ kWh/bulan}$$

Berdasarkan perhitungan konsumsi daya, penggunaan 358 lampu TL Neon Gas sebesar 36 W selama 24 jam menghasilkan konsumsi energi sebesar 309.312 kWh/hari atau sekitar 9.280 kWh/bulan. Setelah melakukan penggantian menjadi lampu TL LED sebesar 18 W selama 24 jam menghasilkan penggunaan konsumsi energi lampu turun menjadi 46,224 kWh/hari atau sekitar 1.386 kWh/bulan. Penggantian jenis lampu ini sangat berdampak pada penghematan listrik dan biaya operasional.

$$3. \text{TL Neon Gas} - \text{TL LED} = 9.280 \frac{\text{kWh}}{\text{bulan}} - 1.386 \frac{\text{kWh}}{\text{bulan}} \\ = 7.894 \text{ kWh/bulan}$$

Penggunaan 358 lampu TL Neon Gas menghasilkan 9.280 kWh/bulan. Setelah melakukan penggantian lampu TL LED menghasilkan 1.386 kWh/bulan, yang dimana penggantian ini memberikan dampak yang signifikan dalam melakukan penghematan listrik dan biaya operasional.

$$4. \text{Biaya penghematan dollar: } 7.894 \frac{\text{kWh}}{\text{bulan}} \times 0,06702 \frac{\text{kWh}}{\text{USD}} \quad (2)$$

$$= \text{USD}530/\text{bulan}$$

5. Investasi LED: 1 LED = Rp. 300.000

$$\text{USD} = \text{USD}17,78$$

$$\text{Investasi LED} = 107 \text{ lampu} \times \text{USD}17,78 = \text{USD}1902 \text{ atau Rp. } 31.523.748$$

Penggunaan 358 lampu TL Neon Gas sebesar 36 W selama 24 jam menghasilkan konsumsi energi sekitar 7.894 kWh/bulan dan setelah diganti dengan lampu TL LED 18 W selama 24 jam, konsumsi energi turun menjadi 1.386 kWh/moth. Selisih konsumsi ini menghasilkan penghematan sebesar 7.894 kWh/bulan. Dengan harga listrik sebesar USD0,06702/kWh. Total penghematan biaya listrik dalam satu bulan mencapai USD530 atau Rp8.612.500. Adapun investasi awal untuk penggantian lampu LED adalah Rp. 300.000 atau USD17,78. Maka total biaya investasi untuk 107 lampu adalah USD1.902 atau sekitar Rp.31.523.748. Penggantian ini menunjukkan potensi penghematan energi dan biaya yang signifikan dalam jangka Panjang.

$$6. \text{Waktu Buy Back: } \frac{\text{USD } 1902}{\text{USD } 530/\text{bulan}} = 3,5 \text{ bulan}$$

Penggunaan 358 lampu TL Neon Gas sebesar 36 W selama 24 jam menghasilkan konsumsi energi sekitar 9.280 kWh/bulan dan setelah diganti dengan lampu TL LED 18 W selama 24 jam, konsumsi energi turun menjadi 1.386 kWh/moth. Selisih konsumsi ini menghasilkan penghematan konsumsi energi sebesar 7.894 kWh/bulan. Dengan asumsi harga listrik USD0,06702/kWh, maka

penghematan biaya listrik per bulan mencapai USD530. Investasi yang perlu disiapkan awal penggantian ke lampu LED adalah USD17,78/unit atau USD1.902 untuk 107 lampu. Dengan demikian, waktu *payback* dari investasi tersebut adalah sekitar 3,5 bulan. Perhitungan ini diharapkan menjadikan proyek ini efisien secara ekonomi dan berkelanjutan dalam jangka Panjang.

3.3.2 Analisis Penghematan Energi Lanjutan

Pada area area *drawing Department Staple Fiber* salah satu yang paling harus diperhatikan adalah pencahayaan. Pencahayaan yang cukup dan stabil sangat berpengaruh dalam aksivitas yang pembacaan gambar teknis, pengecekan data, dan pengambilan keputusan penting dalam proses produksi. Sebelumnya, pencahayaan pada area *drawing* menggunakan lampu TL Neon yang sering mengalami masalah yang tidak stabil, cahaya redup, dan konsumsi listrik tinggi. Hal ini yang dapat menyebabkan terjadinya mengganggu aksivitas kerja dan membuat suasana ruangan menjadi terasa panas serta kurang nyaman dalam kondisi bekerja. Oleh karena itu, dapat diberikan rekomendasi dengan dilakukannya penggantian lampu TL Neon dengan lampu TL LED yang dapat meningkatkan kualitas pencahayaan dan penghematan energi.

Penerangan pada area Drawing menggunakan sebanyak 358 lampu yang berfungsi untuk menunjang aktivitas operasional di area tersebut. Dari jumlah tersebut, sekitar 30% merupakan lampu TL Neon Gas yang masih digunakan sebagai sumber pencahayaan konvensional, sementara 70% sisanya telah digantikan dengan lampu LED yang lebih hemat energi dan memiliki usia pakai yang lebih panjang. Komposisi ini mencerminkan upaya efisiensi energi serta peningkatan kualitas pencahayaan di lingkungan kerja.

Pada area *drawing Department Staple Fiber* tata cara pergantian lampu TL Neon menjadi TL LED dilakukan dengan secara hati-hati dan sesuai dengan prosedur keselamatan kerja. Langkah-langkah yang dilakukan meliputi:

1. Persiapkan alat dan bahan yang digunakan untuk melakukan pergantian lampu TL Neon menjadi TL LED, seperti: obeng, tang potong atau tang kombinasi, kabel, isolasi listrik, Lampu TL LED sesuai spesifikasi, dan alat pelindung diri (sarung tangan, sepatu safety, dan helm)
2. Matikan sumber listrik lampu pada area *drawing Department Staple Fiber* agar tidak menyebabkan konsleting dan kesetrum, seperti: pastikan MCB pada panel listrik dalam posisi *OFF* untuk area yang akan dikerjakan.
3. Lepaskan lampu TL Neon menjadi lampu TL LED, dengan cara seperti: lepaskan tabung lampu TL Neon dari fitting dan lepaskan stater dan ballast, karena lampu LED tidak membutuhkan.
4. Modifikasi koneksi kabel pada rangkain lampu, dengan cara seperti:
 - untuk TL LED tipe *single ended*, hubungkan kabel fase dan netral ke dalam satu sisi.
 - untuk TL LED tipe *double ended*, hubungkan kabel fase dan netral ke masing-masing ujung fitting, dan yang terakhir adalah rapihkan isolasi kabel sambungan dengan rapi dan aman.
5. Pasang lampu TL LED dan lakukan uji coba *finishing*, dengan cara dilakukan seperti: pasang tabung lampu LED ke fitting yang telah dimodifikasi, nyalakan kembali MCB/listrik, dan periksa kembali dengan cara memperhatikan kondisi lampu seperti lampu menyala dengan baik dan tidak berkedip

Untuk melakukan perhitungan persentase lampu LED, maka dibutuhkan data jumlah lampu LED dan jumlah lampu keseluruhan area *Drawing*. Perhitungan persentase lampu LED menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\frac{\text{Jumlah lampu LED}}{\text{Jumlah total lampu}} \times 100\% \quad (3)$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas menunjukkan jumlah penggunaan lampu LED pada area *Drawing* sekitar 70% atau berjumlah 251 lampu. Kemudian dari perhitungan yang telah dilakukan, maka juga dapat ditemukan total pembiayaan investasi penggunaan lampu LED dan waktu *Buy Back*. Perhitungan tersebut menggunakan rumus sebagai berikut:

1. *lampu TL Neon Gas* : 251 *lampu* × 18 *watt* × 24 *jam*

$$= 108.432 \text{ watt}$$

$$\frac{108.432 \text{ Watt}}{1000} = 108,432 \text{ kWh}$$

$$\text{Month: } 108,432 \text{ kWh} \times 30 = 3.252 \text{ kWh/bulan}$$

2. *lampu TL LED* : 107 *lampu* × 18 *watt* × 24 *jam*

$$= 46.224 \text{ watt}$$

$$\frac{46.224 \text{ watt}}{1000} = 46,224 \text{ kWh}$$

$$\text{Bulan: } 46,224 \times 30 \text{ hari} = 1,386 \text{ kWh/bulan}$$

Berdasarkan perhitungan konsumsi daya, penggunaan 251 TL LED sebesar 18 W selama 24 jam menghasilkan konsumsi energi sebesar 108,432 kWh/hari atau sekitar 3.252 kWh/bulan. Setelah melakukan penggantian menjadi lampu 107 TL LED sebesar 18 W selama 24 jam menghasilkan penggunaan konsumsi energi lampu turun menjadi 46,224 kWh/hari atau sekitar 1,386 kWh/bulan. Penggantian ini menghasilkan efisiensi energi yang signifikan, yang berdampak pada penghematan listrik dan biaya operasional. (4)

$$\begin{aligned} 3. \text{TL Neon Gas} - \text{LED} &= 3,252 \frac{\text{kWh}}{\text{bulan}} - 1,386 \frac{\text{kWh}}{\text{bulan}} \\ &= 1,886 \text{ kWh/bulan} \end{aligned}$$

Penggunaan 251 lampu TL LED memiliki daya sebesar 18 W selama 24 jam menghasilkan konsumsi energi sekitar 3,252 kWh/bulan. Setelah diganti menjadi TL LED daya yang dihasilkan sebesar 18 W, konsumsi turun menjadi 1,386 kWh/bulan. Dengan demikian, terdapat penghematan konsumsi energi sebesar 1.886 kWh/bulan, yang menunjukkan perubahan efisiensi energi yang signifikan dan berpotensi mengurangi biaya operasional.

$$4. \text{ Biaya penghematan dollar: } 1,886 \frac{\text{kWh}}{\text{bulan}} \times 0,06702 \frac{\text{kWh}}{\text{USD}}$$

$$= \text{USD } 125/ \text{ bulan}$$

$$5. \text{ Investasi LED: } 1 \text{ LED} = \text{Rp. } 300.000$$

$$\text{USD} = \text{USD}17,78$$

$$\text{Investasi LED} = 251 \text{ lampu} \times \text{USD}17,78 = \text{USD } 4,462 \text{ atau Rp. } 72,520,175$$

Penggunaan 251 lampu TL LED sebesar 18 W selama 24 jam menghasilkan konsumsi energi sekitar 3,252 kWh/bulan dan penggunaan 107 lampu TL LED 18 W selama 24 jam, konsumsi energi turun menjadi 1.386 kWh/moth. Selisih konsumsi ini menghasilkan penghematan sebesar 1,886 kWh/bulan. Dengan asumsi harga listrik sebesar USD0,06702/kWh. Total penghematan biaya listrik dalam satu bulan mencapai USD 125 atau Rp2,031,250. Adapun investasi awal untuk penggantian lampu LED adalah Rp. 300.000 atau USD17,78. Maka total biaya investasi untuk 251 lampu adalah USD4,462 atau sekitar Rp72,520,175. Penggantian ini menunjukkan potensi penghematan energi dan biaya yang signifikan dalam jangka Panjang. (5)

$$6. \text{ Waktu Buy Back: } \frac{\text{USD } 4,462}{\text{USD } 125/ \text{ bulan}} = 35 \text{ bulan}$$

Penggunaan 251 lampu TL LED sebesar 18 W selama 24 jam menghasilkan konsumsi energi sekitar 3,252 kWh/bulan dan penggunaan 107 lampu TL LED 18 W selama 24 jam, konsumsi energi turun menjadi 1.386 kWh/moth. Selisih konsumsi ini menghasilkan penghematan konsumsi energi sebesar 1,886 kWh/bulan. Dengan asumsi harga listrik USD0,06702/kWh, maka penghematan biaya listrik per bulan mencapai USD125. Investasi yang perlu disiapkan awal penggantian ke lampu LED adalah USD17,78/unit atau USD4,462 untuk 251 lampu. Dengan

demikian, waktu *payback* dari investasi tersebut adalah sekitar 35 bulan. Perhitungan ini diharapkan menjadikan proyek ini efisien secara ekonomi dan berkelanjutan dalam jangka Panjang.

Melihat keberhasilan penghematan energi dari program penggantian lampu TL Neon Gas menjadi lampu TL LED, perusahaan mulai mempertimbangkan penerapan solusi energi terbarukan sebagai langkah yang berkelanjutan. salah satu alternatif yang memiliki potensi besar adalah pemanfaatan energi surya melalui pemasangan sistem panel surya. Inisiatif yang dilakukan tidak hanya bertujuan untuk menekan biaya penggunaan listrik, tetapi mendukung komitmen perusahaan terhadap operasional yang berjangka panjang dan ramah lingkungan. Untuk melakukan evaluasi potensi dan kelayakan sistem dapat digunakan perangkat lunak simulasi PVsyst. Aplikasi PVsyst digunakan untuk membantu menganalisis produksi energi, efisiensi sistem, dan proyeksi manfaat ekonomis yang hanya diperoleh dari implementasi panel surya yang berada di lingkungan perusahaan.

3.4 Analisis Kajian Energi Panel Surya

3.4.1 Kajian Energi Panel Surya

Kajian pemanfaatan energi surya yang bertujuan untuk melakukan evaluasi potensi, efektivitas, dan relevansi panel surya sebagai sumber energi terbarukan. Teknologi ini dapat mengubah sinar matahari menjadi listrik melalui proses fotovoltaik. Kajian ini mencakup aspek teknis seperti efisiensi dan konservasi energi, serta mempertimbangkan kondisi geografis dan intensitas cahaya matahari sebagai indikator kelayakan. Dengan adanya penjelasan ini, diharapkan dapat memperoleh gambaran secara menyeluruh mengenai kapasitas teknis dan potensi pemanfaatan energi surya yang berada pada tingkat lokal maupun nasional [12].

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dengan Nadhillah Reyseliani dan Widodo Wahyu Purwanto diperoleh bahwa simulasi untuk mencapai Indonesia 2050 dapat menggunakan 100% energi terbarukan. Salah satu penggunaan energi terbarukan adalah PLTS. Penggunaan PLTS dapat

menggantikan peran energi sebesar 70% dari total produksi. Dalam penelitian tersebut bahwa penggunaan PLTS dapat menurunkan produksi emisi CO₂ sebesar 215 juta ton. Penggunaan PLTS menjadi pembangkit utama listrik dapat peran yang penting dalam pembangkit listrik nasional sekaligus memiliki peran keuangan dengan pengurangan produksi emisi karbon yang besar. Hal ini juga dikemukakan oleh Zeeshan Fareed dan Ugur Korkut Pata yang menyatakan bahwa energi terbarukan juga dapat menjadi pendorong pertumbuhan ekonomi merujuk pada data konsumsi sepuluh negara selama tahun 1970-2019 [13].

3.4.2 Cara Kerja Panel Surya

Energi surya dipilih sebagai sumber energi alternatif karena ketersediannya yang melimpah dan dipilih sebagai pemanfaatan energi terbarukan yang memiliki bebas polusi, ramah lingkungan, dan kemudahan dalam pemasangan dan perawatan. Energi ini dihasilkan melalui panel surya, yang tersusun dari sel-sel surya. Sel surya bekerja dengan mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik secara langsung melalui efek fotovoltaik. Panel surya memiliki sel tersebut dari bahan semikonduktor silikon, yang terdiri dua jenis: tipe-n (bermuatan negative) dan tipe-p (bermuatan positif). Konduktivitas silikon dapat ditingkatkan dengan menambahkan unsur dopan, sehingga meningkatkan kemampuan menghantarkan panas atau listrik dari semikonduktor [14].

Pemasangan lampu tenaga surya memanfaatkan prinsip konversi energi cahaya matahari menjadi listrik melalui panel surya. Panel surya ini dipasang di area terbuka yang digunakan untuk menangkap langsung sinar matahari dan mengubahnya menjadi arus searah (DC) yang menggunakan sel fotovoltaik. Listrik yang dihasilkan untuk dialirkan ke dalam *Solar Charge Controller* untuk mengatur pengisian daya ke dalam baterai, mencegah terjadinya kelebihan muatan energi, dan menjaga efisiensi baterai. Energi yang tersimpan dalam baterai kemudian digunakan untuk menyalakan lampu pada malam hari atau saat cahaya matahari yang tidak mencukupi [15].

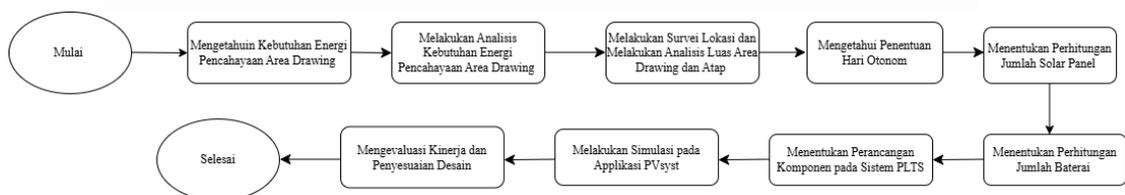
Sistem lampu tenaga surya dirancang agar dapat beroperasi secara otomatis dengan adanya bantuan dari sensor cahaya atau pengatur waktu untuk mengatur nyala dan mati pada lampu. Pada beberapa aplikasi, inverter dalam Panel Surya dapat digunakan untuk mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak balik (AC) agar sesuai dengan berbagai jenis lampu. Keunggulan utama pada sistem panel surya adalah kemampuannya beroperasi mandiri tanpa bergantung pada jaringan listrik (PLN), sehingga pemasangan ini cocok untuk diterapkan di area *Drawing* pada *Departmen Staple Fiber*. Penggunaan panel surya selain ramah lingkungan, tenaga surya ini mendukung efisiensi energi dan pengurangan emisi karbon secara signifikan [16].

Efisiensi penggunaan panel surya sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca, terutama perbedaan antara musim kemarau dan musim hujan. Pada musim kemarau nilai intensitas cahaya matahari tinggi dan stabil, sehingga panel surya dapat beroperasi pada nilai efisiensi 80%-100% dari kapasitas maksimal. Sebaliknya, pada musim hujan nilai efisiensi pada panel surya menurun secara signifikan, berkisar antara 10%-30%, bahkan bisa mencapai penurunan hingga 70% jika dibandingkan musim kemarau. Penurunan ini disebabkan akibat awan tebal dan curah hujan tinggi yang dapat mengurangi intensitas cahaya. Oleh karena itu, pentingnya untuk merancang sistem yang mempertimbangkan variabilitas cuaca, seperti penggunaan baterai penyimpanan atau integritas dengan sumber energi cadangan pasokan listrik tetap terjaga [17].

Dengan mempertimbangkan adanya pengaruh yang signifikan kondisi cuaca terhadap kinerja panel surya, diperlukan adanya sebuah pendekatan perencanaan yang matang untuk selalu memastikan sistem dapat beroperasi secara optimal sepanjang tahun. Salah satu langkah awal yang dapat dilakukan adalah melakukan simulasi teknis dan ekonomis menggunakan aplikasi khusus, yaitu aplikasi PVsyst. Aplikasi PVsyst adalah aplikasi ini memungkinkan dalam perancangan sistem panel surya berdasarkan data iklim setempat, orientasi panel, kapasitas sistem, dan serta kebutuhan beban listrik. Melalui proses

simulasi ini, perusahaan dapat memperoleh gambaran yang akurat mengenai potensi produksi energi, efisiensi dalam berbagai kondisi cuaca, dan estimasi pemasangan dan pengembalian investasi. Dengan demikian, hasil simulasi PVsyst menjadi dasar penting dalam pengembalian keputusan sebelum sistem panel surya diimplementasikan secara nyata.

Dalam proses yang akan dilakukan perancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya yang bersifat *Off-Grid*, diperlukan adanya pendekatan sistem atis yang mempertimbangkan kondisi nyata di lapangan dengan melakukan pemanfaatan menggunakan perangkat lunak simulasi, seperti aplikasi PVsyst. Pada kegiatan magang ini, Perancangan PLTS ini difokuskan untuk mendukung kebutuhan energi pencahayaan di area *Drawing*. Total konsumsi energi yang sebesar 201 kWh/hari. Proses ini mempertimbangkan luasan atap yang tersedia sebesar 1920 m² dan mempertimbangkan kondisi aktual yang berada di lapangan, dilakukan pemetaan teknis secara guna memastikan bahwa Perancangan sistem dapat berfungsi secara optimal dan efisien sesuai kebutuhan [18]. Perancangan sistem PLTS akan dibuat dalam bentuk flowchart dibawah ini:



Gambar 3. 6 *Flowchart* Sistem dan Perancangan PLTS

Gambar 3.6 merupakan *Flowchart* Sistem dan Perancangan untuk sistem PLTS. Gambar tersebut dimulai dari analisis kebutuhan energi hingga ke tahap evaluasi dan implementasi sistem PLTS secara menyeluruh. Proses ini dimulai dari penentuan jumlah baterai yang dibutuhkan, jumlah panel yang dibutuhkan, kelayakan lokasi, dan simulasi pada aplikasi PVsyst untuk mendapatkan proyeksi energi secara akurat. Flowchart ini menjadi panduan

utama dalam melakukan perancangan sistem PLTS dan memastikan bahwa sistem PLTS yang dirancang mampu bekerja optimal.

Untuk memenuhi kebutuhan energi harian sebesar 201 kWh/hari, data efisiensi panel dan intensitas rata-rata penyinaran matahari dalam per hari (*Peak Sun Hour* atau PSH) diperlukan untuk simulasi. Dalam hal ini, penulis ingin mengetahui perhitungan dasar mengenai jumlah panel sebesar 192 yang dihasilkan oleh aplikasi PVsyst dan menemukan nilai PSH yang sesuai agar sistem dapat bekerja dengan optimal [19]. Berikut dibawah ini merupakan perhitungan jumlah panel dan nilai *Peak Sun Hour* yang sesuai dengan kinerja sistem :

- Diketahui: Kebutuhan Energi: 201 kWh/hari menjadi 201,000 Wh/hari. Nilai Efisiensi Panel: 20% menjadi 0,20. Luas Panel: 2173,6 m².

Rumus Mencari PSH

$$H_{PSH} = \frac{Eload}{N \times \eta \times A \times 1000} \quad (6)$$

$$H_{PSH} = \frac{201.000 \text{ Wh/hari}}{192 \text{ Panel} \times 0,20 \times 2173,6 \text{ m}^2 \times 1000}$$

$$H_{PSH} = \frac{201,000 \text{ Wh/hari}}{83,7 \text{ Wh/hari}}$$

$$H_{PSH} = 2,4 \text{ Jam}$$

Rumus Penentuan Jumlah Panel

$$\text{Jumlah Panel} = \frac{Eload}{\eta \times A \times HPSH \times 1000} \quad (7)$$

$$\text{Jumlah Panel} = \frac{201.000}{0,20 \times 2,1736 \text{ m}^2 \times 2,4 \text{ jam} \times 1000}$$

$$\text{Jumlah Panel} = \frac{201.000 \text{ Wh/hari}}{1.043 \frac{\text{Wh}}{\text{hari}} \text{ per panel}}$$

$$\text{Jumlah Panel} = 192 \text{ Panel}$$

Untuk memastikan baterai bisa menyuplai listrik selama beberapa hari saat tidak ada sinar matahari, terlebih dahulu dihitung total energi yang dibutuhkan berdasarkan jumlah hari cadangan (*autonomy*). Setelah itu, jumlah baterai ditentukan berdasarkan kapasitas nyata tiap baterai, dengan memperhitungkan batas pengisian (*SOC*) dan batas pengosongan (*DoD*) [20]. Berikut dibawah ini rumus untuk menghitung jumlah baterai yang sebenarnya digunakan dan jumlah baterai berdasarkan simulasi di aplikasi PVsyst:

1. Hitung Energi Total yang Diperlukan

$$\begin{aligned}
 E_{Load} &= E_{\text{harian}} \times \text{Autonomy} \\
 &= 201 \frac{\text{kWh}}{\text{hari}} \times 2.6 \text{ hari} \\
 &= 522.6 \text{ kWh}
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

2. Hitung Kapasitas Usable per Unit Baterai

- Energi Total Tiap Unit:

$$E_{\text{unit}} = V_{\text{nom}} \times Ah = 48 \text{ V} \times 50 \text{ Ah} = 2,400 \text{ Wh} = 2,4 \text{ kWh}$$

- Energi yang Bisa Digunakan (Termasuk *DoD* 90 %):

$$E_{\text{usable}} = E_{\text{unit}} \times \text{DoD} = 2,4 \text{ kWh} \times 0,9 = 2.16 \text{ kWh}$$

3. Hitung Jumlah Baterai yang Diperlukan

$$N_{\text{needed}} = \frac{E_{\text{total}}}{E_{\text{usable}}} = \frac{522.6 \text{ kWh}}{2.16 \text{ kWh/unit}} = 240 \text{ Unit}$$

3.5 Analisis Simulasi Panel Surya Menggunakan Aplikasi PVsyst

3.5.1 Simulasi PVsyst

Pada simulasi ini menggunakan perangkat lunak PVsyst. PVsyst merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk proses pembelajaran, pengukuran (*sizing*), dan analisis data dari sistem PV secara lengkap. PVsyst dikembangkan oleh Universitas Genewa yang memiliki fitur simulasi sistem terinterkoneksi jaringan (*grid connected*), sistem berdiri sendiri (*stand-alone*), sistem pompa (*pumping*), dan jaringan arus searah untuk transportasi publik (*DC-grid*). PVsyst juga dilengkapi database dari sumber data meteorologi yang luas dan beragam, serta data komponen-komponen PV. Beberapa contoh

sumber data meteorologi yang dapat digunakan PVsyst yaitu bersumber dari MeteoNorm V7.1 (interpolasi 1960-1990 atau 1981-2000) NASA-SSE (1983-2005), PVGIS (untuk Eropa dan Afrika), Satel-Light (untuk Eropa), TMY2/3 dan sistem Perancangan solar PV, SolarAnywhere (untuk USA), EPW (untuk Kanada), RetScreen, Helioclim dan Solar GIS (berbayar). Di dalam praktik simulasi ataupun praktik dalam PLTS [21].

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang memiliki sistem *Off-Grid* dipilih sebagai solusi penyediaan energi listrik karena mampu memberikan energi listrik tanpa ketergantungan pada jaringan listrik PLN. sistem *Off-Grid* beroperasi secara mandiri dengan mengandalkan energi matahari sebagai sumber utama dan baterai sebagai tempat penyimpanan energi, sehingga mampu menjamin kebutuhan pasokan listrik tanpa ketergantungan jaringan luar [22].

Sisi ekonomi pada pemasangan sistem PLTS bersifat *Off-Grid* juga menawarkan efisiensi jangka panjang. Meskipun investasi awal relatif tinggi, biaya operasionalnya sangat rendah karena tidak memerlukan genset dan tidak terkena tarif dasar listrik dari PLN. Selain itu, sistem ini dapat mengurangi emisi karbon karena sistem ini berbasis energi terbarukan. Pemasangan sistem *Off-Grid* sangat menguntungkan untuk area industri karena dapat menjamin keandalan dalam operasional, meminimalkan waktu henti akibat gangguan listrik, dan meningkatkan produktivitas jangka panjang [23].

Dalam menentukan kelayakan lokasi pembangunan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) bersifat *Off-Grid*, maka perlu dilakukannya visit lapangan yang bertujuan untuk mengumpulkan data teknis dan lingkungan secara langsung di lapangan. Parameter utama yang diamati meliputi koordinat geografis, kontur dan kemiringan lahan, orientasi permukaan panel. Serta potensi *shading* dari bangunan atau vegetasi sekitar yang dapat mempengaruhi intensitas radiasi matahari. Selain itu, mengetahui kondisi iklim seperti suhu rata-rata harian, kelembaban, dan durasi penyinaran matahari. Seluruh

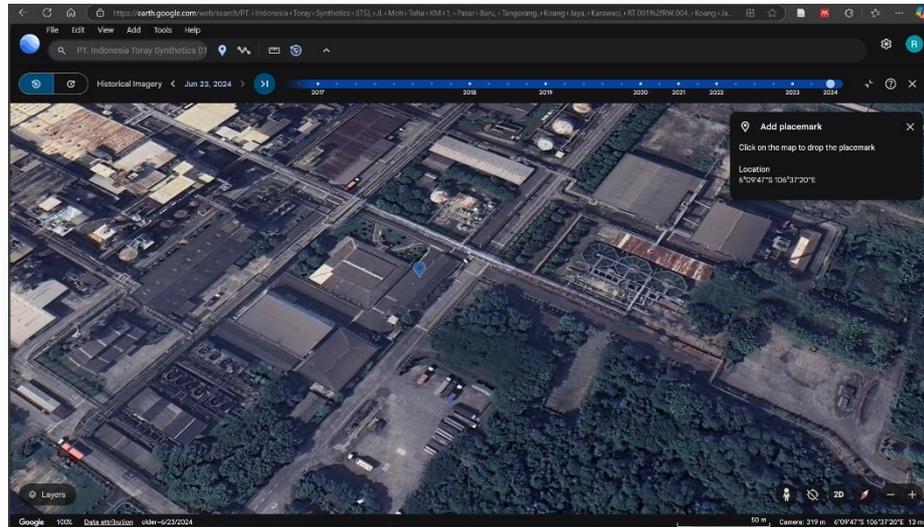
parameter digunakan untuk memastikan sistem PLTS yang dibangun layak secara teknis, ekonomis, dan berkelanjutan [24].

Sebelum memasuki tahapan simulasi teknis menggunakan perangkat lunak seperti PVsyst, proses awal yang dapat dilakukan adalah melakukan kunjungan lapangan untuk mendapatkan data aktual dari tempat yang akan dilakukan pemasangan sistem PLTS. Data lapangan yang dibutuhkan ini mencakup kondisi geografis, luas area, orientasi permukaan, kebutuhan energi, dan kemungkinan adanya *shading* dari lingkungan sekitar. Informasi ini menjadi dasar penting untuk memastikan bahwa sistem yang akan dibangun mampu beroperasi secara optimal dan efisien. Data yang sudah didapatkan akan digunakan dalam tahap simulasi PVsyst, yang bertujuan dapat memodelkan dan mengevaluasi performa sistem fotovoltaik secara virtual. Dengan demikian, adanya hubungan yang relevan antara observasi lapangan dan pemodelan teknis ini menjadi pondasi utama dalam merancang sistem PLTS yang berkelanjutan.

Simulasi PVsyst pada pengerjaan Panel Surya pada area drawing dilakukan sebagai langkah awal yang digunakan untuk memastikan Perancangan sistem fotovoltaik yang optimal sebelum proses instalasi fisik dilakukan. Dalam tahap ini, perlu dilakukan mengetahui luas area drawing, intensitas radiasi matahari, dan jenis jumlah panel surya yang dipasang. Hasil tersebut akan menunjukkan informasi mengenai estimasi produksi energi, efisiensi sistem, serta mengetahui potensi kehilangan energi akibat *shading* atau orientasi panel yang kurang ideal. Dengan demikian, simulasi ini dilakukan menjadi acuan penting dalam pengambilan keputusan teknis dan perancangan layout Panel Surya tepat di area drawing yang digunakan untuk memaksimalkan output energi serta efisiensi keseluruhan sistem. Berikut dibawah ini adalah langkah-langkah dalam melakukan simulasi pada PVSyts. Diantaranya:

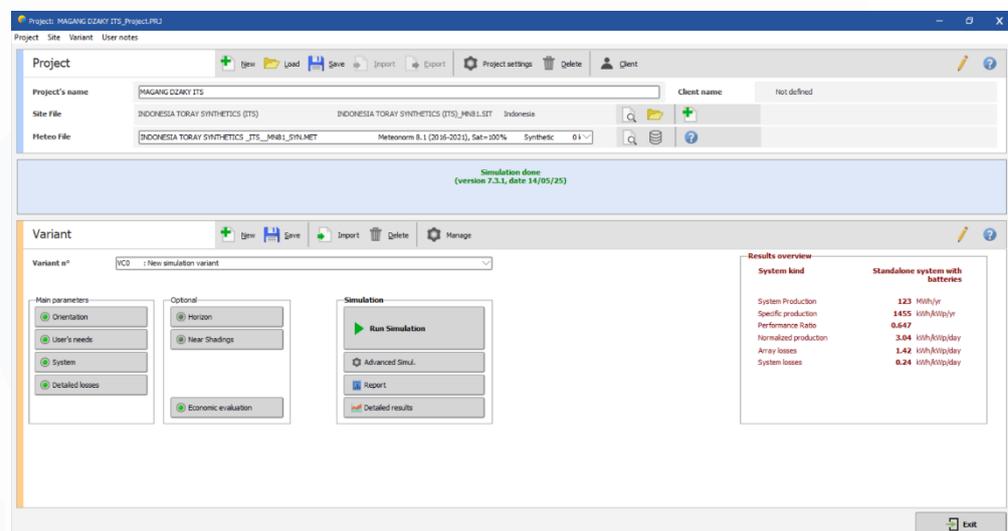
1. Penentuan wilayah di sekitar PT Indonesia Toray Synthetics sebagai lokasi perancangan merupakan tahap awal proses perencanaan.

2. Aplikasi *Google Earth Pro* dapat digunakan sebagai sumber untuk memperoleh titik koordinat lokasi wilayah.



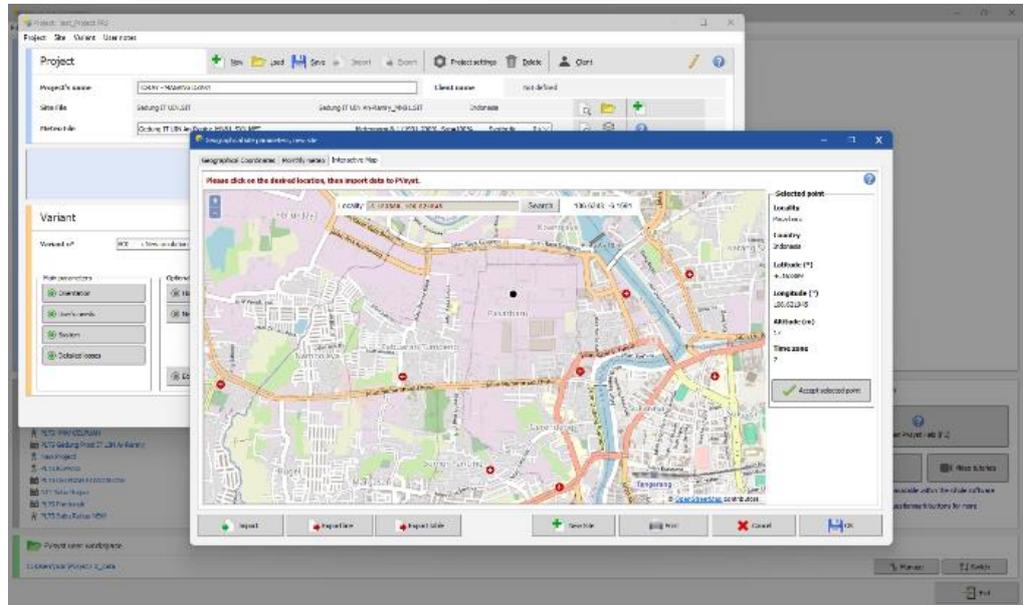
Gambar 3. 7 *Google Earth Pro*

3. Pembuatan proyek baru pada perangkat lunak PVsyst dilakukan dengan menambahkan nama proyek yang relevan sesuai dengan perencanaan.



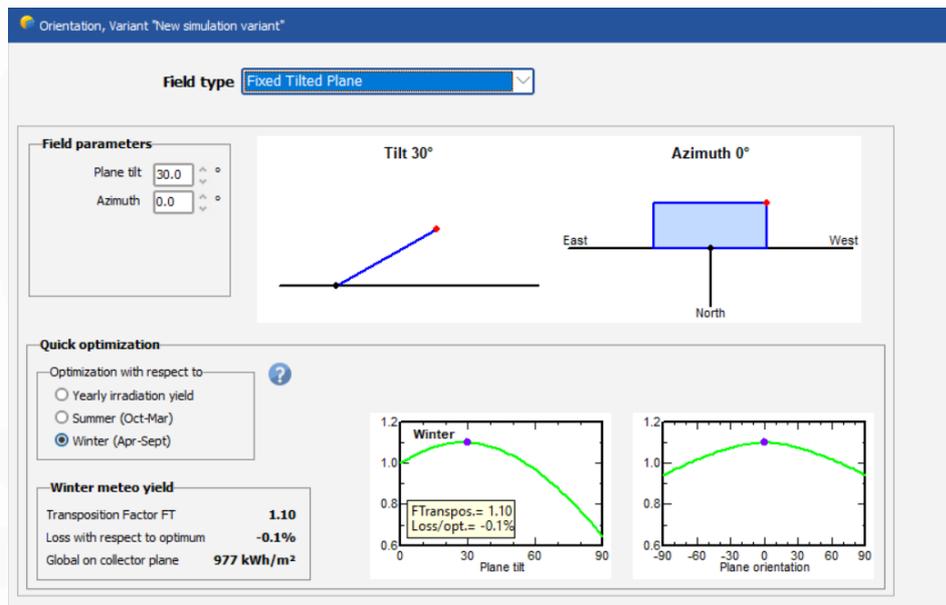
Gambar 3. 8 *New Project Software PVsyst*

4. Pada tahap ini, lokasi baru dapat ditambahkan dengan memilih situs geografis dan memasukkan titik koordinat dalam format decimal ke kolom 'locality' di tab "Interactive Map".



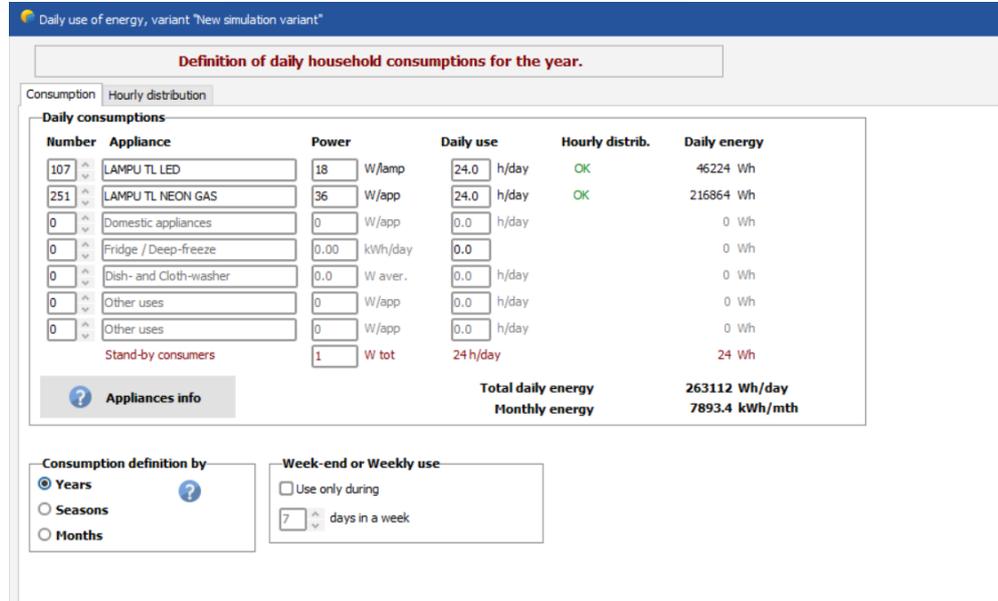
Gambar 3. 9 Tempat Pemasangan Panel Surya

5. Pengamatan terhadap sudut kemiringan atap pada area *Drawing* diperlukan untuk menentukan orientasi dan posisi pemasangan panel surya.



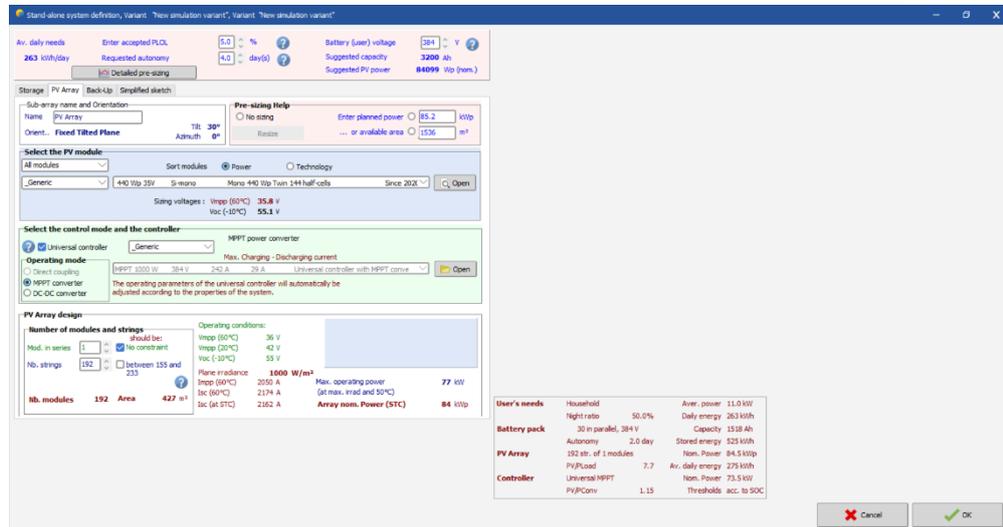
Gambar 3. 10 Sudut Kemiringan Panel Surya

- Identifikasi konsumsi energi sebelum pemasangan panel surya merupakan langkah awal yang penting untuk memahami kebutuhan daya secara aktual.



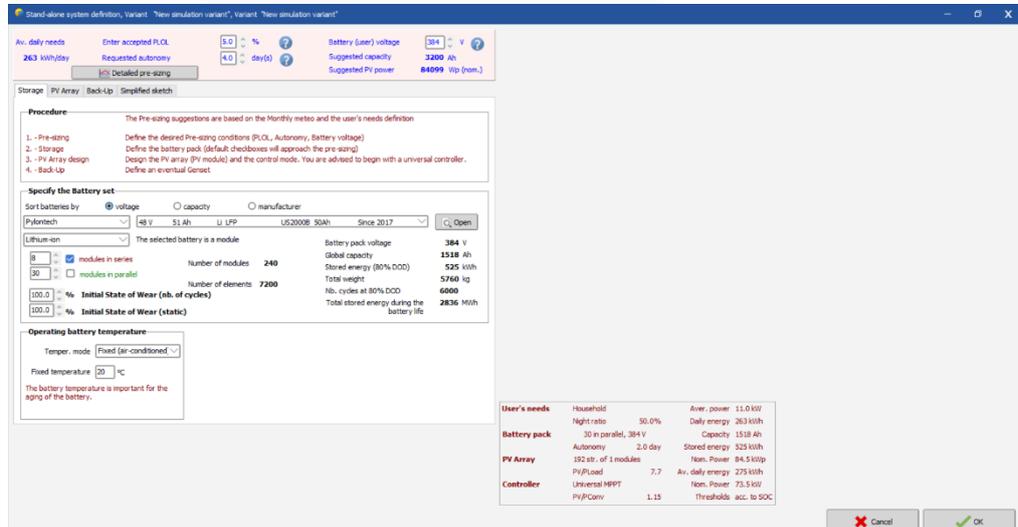
Gambar 3. 11 Consumption Hourly Distribution

- Jenis baterai yang digunakan ditentukan berdasarkan spesifikasi teknis dan kebutuhan energi dari sistem panel surya yang direncanakan.



Gambar 3. 12 Merk Jenis Baterai

8. Jenis panel surya yang digunakan ditentukan berdasarkan analisis terhadap area yang ditampilkan pada *Drawing*



Gambar 3. 13 Jenis Panel Surya

9. Proses simulasi pada aplikasi PVsyst dilakukan untuk mengetahui estimasi kinerja dari sistem panel surya yang dirancang



3.5.2 Analisis Hasil Simulasi

3.5.2.1 Ringkasan Hasil Simulasi PVsyst

Pada tabel 3.5 merupakan tabel yang menunjukkan informasi umum terkait melakukan simulasi pada aplikasi PVsyst untuk melakukan perancangan pemasangan panel surya.

Tabel 3. 5 Ringkasan Hasil Simulasi PVsyst

Ringkasan Hasil		
<i>Geographical Site</i>	<i>Latitude (°)</i>	-6,16
	<i>Longitude (°)</i>	106,63
	<i>Altitude (m)</i>	20
	<i>Time Zone</i>	UTC+7
	<i>Albedo</i>	0,20
<i>System Summary</i>	<i>Azimuth (°)</i>	30
	<i>User's Needs(kWh/Day)</i>	201
	Daya Per Panel (Wp)	440
	Total Panel (Unit)	192
	Total Daya Panel (kWp)	84,5
	Total Baterai (Unit)	240
	Hari Otonom Baterai (Day)	2,6
	Tegangan Baterai (V)	384
	Kapasitas Baterai (Ah)	1518
<i>Result Summary</i>	<i>Availabel Energy (kWh/Year)</i>	123820
	<i>Used Energy (kWh/Year)</i>	73330
	<i>Specific Production (kWh/kWp/Year)</i>	1446
	<i>Ratio PR (%)</i>	50,59
	<i>Solar Fraction (%)</i>	100

Pada tabel 3.5 merupakan ringkasan dari simulasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya yang menggunakan tipe *Standalone (Off-Grid)* yang menggunakan baterai penyimpanan yang tidak terhubung dengan jaringan listrik (PLN). Lokasi simulasi yang dilakukan menggunakan aplikasi PVsyst berada di PT. Indonesia Toray Synthetics (ITS) yang secara geografis terletak pada koordinat -6,16° Lintang Selatan dan 106,63° Bujur Timur. *Altitude*

merupakan ketinggian tempat sebesar 20 meter diatas permukaan laut menandakan lokasi berada di dataran rendah. Nilai albedo merupakan ukuran reflektivitas permukaan terhadap sinar matahari. Nilai sebesar 0,20 memiliki arti 20% cahaya matahari dipantulkan oleh permukaan tanah.

sistem tenaga surya yang disimulasikan memiliki 192 panel surya dengan kapasitas total 84,5 kWp, yang nantinya akan dipasang pada bidang tetap (*Fixed Plan*) dengan kemiringan 30°. Energi yang dibutuhkan rata-rata perhari adalah 201 kWh, yang akan dibantu oleh sistem panel dan didukung oleh baterai yang mempunya teknologi Lithium-ion LFP sebanyak 240 baterai dengan tegangan 384 V dan kapasitas total 1518 Ah. Energi yang tersedia dari sistem selama satu tahun sebesar 123,820 kWh, sementara energi yang akan digunakan dalam setahun adalah 73,330 kWh/tahun. Selanjutnya hasil ini menunjukkan bahwa sistem dapat memenuhi 100% kebutuhan energi pengguna.

Solar Fraction digunakan untuk menunjukkan seberapa besar sistem tenaga surya mampu memenuhi kebutuhan energi total pengguna, yang dimana nilai 100% menunjukkan bahwa semua kebutuhan energi pengguna terpenuhi sepenuhnya dari sistem tenaga surya. *Performance Ratio* adalah indikator yang menunjukkan seberapa efisien sistem tenaga surya mengubah energi matahari menjadi listrik yang bisa digunakan. Nilai 50,59% berarti hanya setengah dari potensi yang akan berhasil dikonversi karena adanya faktor-faktor kerugian suhu, kabel, dan efisiensi konversi inverter.

Hari otonom adalah jumlah hari sistem PLTS *Off-Grid* dapat menyuplai energi ke beban tanpa bantuan energi dari panel surya, misalnya saat cuaca mendung atau hujan. Hari otonom 2,6 hari adalah sistem mampu memenuhi beban selama 2,6 hari tanpa cahaya matahari. Nilai 2,6 hari ditentukan melalui pembagian antara kapasitas energi baterai dengan kebutuhan energi harian. *Specific Production* sebesar 1446 kWh/kWp/tahun yang berarti setiap 1 kWp kapasitas panel surya mampu menghasilkan energi listrik sebesar 1446 kWh dalam satu tahun.

Proses mendukung pemasangan sistem ini akan dilakukan dibagian atap area *Drawing*. Area *Drawing* memiliki total luas sebesar 1536 m^2 , terdiri dari panjang 64 m dan lebar 24 m. Untuk menghitung luas atap efektif yang dapat digunakan, maka dilakukan perhitungan dengan rumus dibawah ini:

$$1. \text{Luas atap} = \text{Luas Area Drawing} + (\text{Luas Area Drawing} \times \text{Kemiringan}) \quad (9)$$

Dengan menggunakan koefisien kemiringan = 0,25 m²

$$1536 \text{ m}^2 \times 0.25 = 384 \text{ m}^2$$

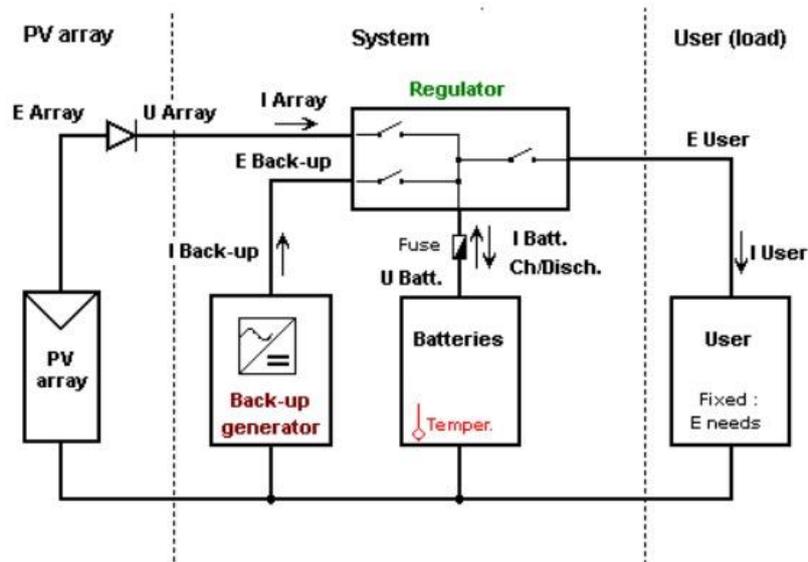
$$2. \text{Total luas atap} = 1536 \text{ m}^2 + 384 \text{ m}^2 = 1920 \text{ m}^2 \quad (10)$$

Sehingga luas ini dianggap ideal untuk mendukung suatu proses pemasangan panel surya sebanyak 192 modul panel surya, karena mencukupi dari sisi dimensi dan kapasitas lahan yang tersedia. Terdapat beberapa hal yang akan dijabarkan dibagian selanjutnya yang dapat dirangkum sebagai berikut.

- Diagram Skematik PVsyst: Skema Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) hibrida.
- Spesifik Baterai dan PV Array: Panel Surya menggunakan “Sankelux” Mono 440 Wp Twin 144 half-cells dan Baterai menggunakan US2000B_50Ah Lithium-ion,LFP Panel Surya ID.
- Analisis Hasil Simulasi Potensi Energi: Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang dirancang menghasilkan energi sebesar 123,820 kWh/tahun.
- Loss Diagram Energi: Kehilangan energi intensitas radiasi yang tidak optimal sebesar 3,24%, kehilangan karena suhu tinggi sebesar 7,70%, dan lain sebagainya.
- Biaya Pemasangan Sistem : Total biaya pemasangan yang perlu disiapkan oleh perusahaan dengan biaya sebesar Rp2,164,900,000 atau USD 132,693.
- Analisis Keuangan: Periode pengembalian modal (*Payback Period*) diperkirakan selama 5,1 tahun.

3.5.2.2 Diagram Skematik PVsyst

Pada gambar 3.14 merupakan gambar dari skematik diagram hasil simulasi pada PVsyst.



Gambar 3. 14 Diagram Skematik Simulasi PVsyst

Pada gambar 3.14 ditunjukkan diagram skematik simulasi PVsyst. Skema Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang dirancang untuk menjamin kontinuitas suplai energi listrik secara efisien. Sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama, di antaranya: PV array (panel surya), regulator, baterai, *back-up generator*, dan beban pengguna (*user/load*). Panel surya memiliki fungsi sebagai sumber energi utama yang mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik searah (DC). Energi listrik yang dihasilkan oleh PV array kemudian akan dialirkan ke regulator. Regulator ini bertugas untuk mengatur dan mendistribusikan energi tersebut ke tiga arah. Arah tersebut di antaranya: beban pengguna, baterai untuk melakukan pengisian daya, dan generator cadangan bila diperlukan.

Baterai dalam sistem ini berperan sebagai penyimpan energi yang akan digunakan saat energi PV tidak mencukupi, misalnya terjadi pada cuaca mendung dan malam hari. Untuk menjaga keseimbangan sistem, digunakan komponen fuse sebagai pelindung jika kelebihan arus, serta sensor suhu yang

digunakan untuk mengetahui kondisi suatu baterai. Jika daya yang dihasilkan dari PV array dan baterai tidak mampu memenuhi kebutuhan pengguna, maka *backup* generator akan menyuplai energi listrik sebagai cadangan. Generator ini hanya diaktifkan pada saat terjadinya kekurangan suplai energi dari sumber utama. Pada akhirnya, sistem ini akan menyalurkan energi listrik ke beban sesuai kebutuhan, dengan pengaturan aliran listrik yang dilakukan secara bertahap agar sesuai dengan jumlah energi yang dibutuhkan.

Secara keseluruhan, sistem PLTS *Off-Grid* ini memprioritaskan penggunaan energi terbarukan dari panel surya dan hanya mengandalkan generator cadangan saat benar-benar diperlukan. Dengan adanya baterai dan dilakukannya pengaturan pada regulator, sistem ini dapat memberikan suplai energi yang stabil dan efisien.

3.5.2.3 Spesifikasi Baterai dan PV Array

Tabel 3.6 merupakan tabel yang menunjukkan tentang spesifikasi penggunaan baterai dan panel surya yang disimulasikan pada aplikasi PVsyst.

Tabel 3. 6 Spesifikasi Baterai dan PV Array

<i>PV Array dan Baterray Characteristics</i>		
<i>General System</i>	<i>Azimuth (°)</i>	30
	<i>Sheds</i>	No 3D Scene
	<i>User's Needs (kWh/Day)</i>	201
<i>PV Array Characteristic (PV Modul)</i>	<i>Model</i>	Mono 440 Wp Twin 144 half-cells
	<i>Power (Wp)</i>	440
	<i>Modul PV (Units)</i>	192
	<i>Nominal STC (kWp)</i>	84,5
<i>Operating Cond (50°C)</i>	<i>P_{mpp} (kWp)</i>	76,7
	<i>U_{mpp} (V)</i>	37
	<i>I_{mpp} (A)</i>	2048
<i>Controller</i>	<i>Technology</i>	MPPT converter
	<i>Temp (°C)</i>	-5,0
	<i>Converter (%)</i>	97,0/95,0

<i>Total PV Power</i>	<i>Nominal STC (kWp)</i>	84
	<i>Total Modul PV</i>	192
	<i>Moduls Area (m²)</i>	427
	<i>Cells Area (m²)</i>	382
<i>Battery</i>	<i>Manufacturer</i>	Pylotech
	<i>Model</i>	US2000B_50Ah
	<i>Technology</i>	Lithium-ion,LFP
	<i>Nb Units</i>	30 Parallel x 8 series
	<i>Discharging (%)</i>	10
	<i>Stored Energu (kWh)</i>	524,6
<i>Battery Characteristic</i>	<i>Voltage (V)</i>	384
	<i>Nominal Capacity (Ah)</i>	1518
	<i>Temperature (°C)</i>	20
<i>Battery Management Controller</i>	<i>Charging</i>	SOC (0,96/0,80)
	<i>Discharging</i>	SOC (0,10/0,35)
<i>Array Losses</i>		
<i>Thermal Loss Factor</i>	<i>Uc (W/m²K) Const</i>	29,0
	<i>Uv (W/m²K/m/s) Wind</i>	0,0
<i>DC Wiring Losses</i>	<i>Global array res (mΩ)</i>	0,31
	<i>Loss Fraction (%)</i>	1,5
<i>Serie Diode Loss</i>	<i>Voltage Drop (V)</i>	0,7
	<i>Loss Fraction (%)</i>	1,7
<i>Modul Quality Loss</i>	<i>Strings Mismatch Loss (%)</i>	0,1

Tabel 3.6 merupakan tabel hasil simulasi dari perangkat lunak PVsyst yang menggambarkan spesifikasi PV Array dan PV batteray. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang dirancang merupakan Sistem (*Standalone*). Sistem yang digunakan tidak terhubung dengan PLN, sehingga sistem ini didukung dengan baterai sebagai unit penyimpanan energi. Sistem ini tidak menggunakan konfigurasi *shading* 3D. Sistem ini dirancang untuk

memenuhi kebutuhan energi area *Drawing* sebesar 201 kWh/hari, secara konstan sepanjang tahun.

Modul fotovoltaik (PV) yang digunakan bertipe Mono 440 Wp Twin 144 half-cells sebanyak 192 unit. Panel surya Mono 440 Wp Twin 144 half-cells adalah panel surya tipe monokristalin dengan daya maksimum 440 Wp. Panel ini menggunakan menggunakan 144 sel tipe half-cells, yaitu teknologi dimana setiap sel surya dipotong menjadi dua bagian atas dan bawah untuk mengurangi resistensi dan efisiensi. Twin design membuat panel menjadi efisien dan tahan panas. Panel surya disusun dalam 192 string tunggal (satu modul per panel) dengan kapasitas total daya nominal sebesar 84,5 kWp. Pada kondisi operasi 50°C, daya output yang dihasilkan sistem menurun menjadi 76,7 kWp, dengan tegangan maksimum (U_{mpp}) 37 V dan arus (I_{mpp}) yang dihasilkan sebesar 2084 A. Pengaturan daya dilakukan dengan menggunakan converter tipe MPPT (*Maximum Power Point Tracking*). Koefisien suhu sebesar $-5,0^{\circ}\text{C}$ adalah koefisien suhu tegangan panel surya, yang menunjukkan penurunan tegangan ketika kenaikan suhu 1°C pada setiap panel surya. Artinya, dimana setiap kali suhu naik sebesar 1°C , tegangan dari satu sel surya akan turun. Nilai Converter sebesar (97%/95%) menunjukkan tingkat efisiensi inverter pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Efisiensi ini menggambarkan seberapa efektif inverter melakukan konversi arus searah (DC) yang dihasilkan oleh panel surya menjadi arus bolak balik (AC) yang kemudian digunakan untuk kebutuhan sistem penerangan.

Sistem PLTS dirancang dan disimulasikan untuk memenuhi kebutuhan energi harian area *Drawing* sebesar 201 kWh/hari secara konstan sepanjang tahun. Hasil simulasi menunjukkan penggunaan panel surya yang akan dipasang berjumlah 192 unit, dengan masing-masing panel surya memiliki kapasitas 440 Wp (*Watt peak*). Dengan demikian, dibawah ini akan diperlihatkan rumus untuk menghitung total kapasitas yang terpasang sistem adalah:

1. Total Daya Terpasang (P) = $Jumlah\ Panel \times Kapasitas\ Panel$ (11)
2. Total Daya Terpasang (P) = $192\ Panel \times 440\ Wp = 84.480\ Wp$

3. Ubah menjadi (kWh) = $84.480 \div 1000 = 84,5 \text{ kWp}$

Kapasitas 84,5 kWp ini menunjukkan bahwa daya maksimum yang dapat dihasilkan panel surya dalam kondisi ideal, yakni pada radiasi matahari (STC). Untuk menghitung lama waktu operasional harian (t) yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi sebesar 201 kWh, maka akan digunakan rumus:

1. Kebutuhan Energi (E) = Daya (p) \times Waktu Operasional (t) (12)

2. Waktu Operasional (t) = $\frac{E}{P} = \frac{201 \text{ kWh/hari}}{84,5 \text{ kWp/Jam}}$

3. Total Waktu Operasional (t) = 2,37 jam/hari

Secara teoritis panel surya hanya membutuhkan waktu sekitar 2,37 jam per hari untuk menghasilkan energi sebesar 201 kWh, dengan catatan kondisi matahari berada pada kondisi puncaknya (*Full Sun*) selama durasi tersebut. Namun dalam kondisi secara nyata, efisiensi sistem yang dihasilkan tidak mencapai 100% karena adanya beberapa faktor kehilangan seperti suhu tinggi, debu, *shading*, dan kerugian sistem lainnya. Oleh karena itu, perlu digunakannya nilai *Average Peak Sun Hour* (PSH) yang mewakili rata-rata durasi penyinaran efektif harian. Negara Indonesia, nilai PSH secara umum berkisar antara 4 hingga 5 jam per hari. Dengan mempertimbangkan nilai PSH, maka sistem ini dapat mencukupi kebutuhan energi harian 201 kWh dengan operasi penuh pada waktu puncak matahari selama 4-5 jam dan didukung oleh penyimpanan baterai untuk menjamin kontinuitas penyimpanan energi yang di luar waktu penyinaran.

Tabel 3.7 merupakan tabel yang memberikan informasi tentang spesifikasi panel surya dan vendor panel surya yang kemungkinan akan digunakan. Panel surya yang digunakan berasal dari vendor Sankelux. Spesifikasi panel surya antara lain panjang 2094 mm, lebar 1038 mm, ketebalan 40 mm, bobot 26 kg, dan daya maksimum 440 Wp. Tegangan *Open Circuit* mencapai 48,09 V, dengan efisiensi konversi energi sebesar 20,70 % dan tegangan maksimum hingga 1500 VDC. Untuk harga setiap panel mencapai Rp2,200,000 atau USD 130,10 dan memiliki garansi seluruh panel dengan jangka waktu 25 tahun, untuk performa panel 10 tahun garansi fisik. Panel akan

dipasangkan luas area *Drawing* 1536 m² dan luas atap area *Drawing* 1920 m². Kebutuhan lahan untuk melakukan pemasangan 192 panel surya membutuhkan seluas 427 m², maka seluruh panel dapat dipasangkan secara optimal.

Tabel 3. 7 Spesifikasi dan Vendor Panel Surya

Vendor Panel Surya (Sankelux)	
Spesifikasi Panel Surya	
Lebar Panel (mm)	1038
Panjang Panel (mm)	2094
Tebal Panel (mm)	40
Berat Panel (kg)	26
Power (Pmax) (Wp)	440
Open Voltage (V)	48,09
Effisiensi (Eff) (%)	20,70
Max System Voltage (VDC)	1500
Harga Panel (Rp)	2.200.000
Garansi Panel (Tahun)	25
Garansi Fisik (Tahun)	10

Sistem penyimpanan energi dalam simulasi panel surya menggunakan aplikasi PVsyst, simulasi ini menggunakan baterai merek *Pylontech type US2000B_50Ah* berbasis teknologi *Lithium-ion LFP*. Baterai ini disusun sebanyak 240 baterai dalam konfigurasi 30 paralel dan 8 seri, yang menghasilkan tegangan sistem sebesar 384 V, kapasitas nominal 1518 Ah, total energi yang dihasilkan sebesar 524,6 kWh. Pengelolaan baterai ini dilakukan melalui *Battery Management Control*, dengan batas pengisian (*State of Charge*). Nilai SOC merupakan tingkat isi baterai dalam sistem PLTS yang dapat dinyatakan dalam bentuk persentase. Nilai SOC = 0,96/0,80 merupakan angka yang menunjukkan bahwa baterai diisi dimulai dari 80% hingga nilai maksimum sebesar 96% kapasitasnya. Nilai 96% digunakan untuk mencegah terjadinya *Overcharge*, sementara nilai 80% digunakan untuk titik awal pengisian ulang. Pengisian dalam rentang ini dirancang untuk memperpanjang umur baterai dan menjaga kestabilan sistem. Nilai SOC = 0,10/0,35 merupakan baterai dikosongkan dari 35% hingga minimal 10% kapasitasnya. Batas bawah

(0,10) digunakan untuk *Over discharge* yang bisa merusak baterai, batas atas (0,35) digunakan untuk menjadi titik sistem mulai mengambil daya baterai.

Kerugian energi pada sistem dibagi dalam beberapa kategori. Kerugian termal akibat suhu modul sebesar $29 \text{ W/m}^2\text{K}$, dengan penurunan kualitas modul $-0,4\%$. Kerugian kabel DC sebesar $1,5\%$ dengan resistansi yang dihasilkan sebesar $0,31 \text{ m}\Omega$, sementara kerugian pada *Diode Seri* disebabkan oleh penurunan tegangan $0,7 \text{ V}$, menghasilkan kehilangan energi sebesar $1,7\%$. Tidak ada kerugian dari *Mismatch String* 0% dan *Mismatch* antara *String* sangat kecil $0,1\%$.

Tabel 3.8 merupakan spesifikasi dan vendor baterai yang nantinya bisa digunakan dalam pemasangan panel surya dan sudah disesuaikan dengan hasil simulasi menggunakan aplikasi PVsyst. Spesifikasi tambahan baterai pendukung berasal dari vendor Panel Surya ID, dengan tegangan 12 V dan kapasitas 50 Ah , yang dapat menyimpan energi hingga 600 Wh/unit . Ukuran penampang baterai sebesar $0,185 \text{ m}^2$, berat $15,5 \text{ kg}$, dan mampu menghantarkan arus maksimum 600 A . Baterai ini dirancang untuk masa pakai hingga 10 tahun, cocok digunakan sebagai sistem penyimpanan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

Tabel 3. 8 Spesifikasi dan Vendor Baterai

Vendor Baterai Panel Surya (Panel Surya ID)	
Spesifikasi Baterai Panel Surya	
Dimensi (m^2)	0,185
Nominal Voltage (V)	12
Nominal Kapasitas (Ah)	50
<i>Design Life</i> (Tahun)	10
Berat (Kg)	15,5 (34,2 lbs)
Tegangan (A)	600
Harga Baterai (Rp)	7.250.000

Secara keseluruhan, sistem ini telah mempertimbangkan karakteristik teknis dari modul PV dan baterai secara menyeluruh. Hal ini menunjukkan pentingnya orientasi dan kemiringan panel untuk memperoleh radiasi maksimum secara langsung. Dengan demikian, analisis ini menunjukkan bahwa

sistem ini memiliki performa teknis yang cukup efisien dan siap digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi pencahayaan di area *Drawing* melalui pemanfaatan energi surya sumber energi terbarukan.

3.5.2.4 Analisis Hasil Simulasi Potensi Energi

Tabel 3.9 merupakan hasil pengerjaan simulasi menggunakan perangkat lunak PVsyst untuk mengetahui potensi energi yang dapat dihasilkan dari sistem fotovoltaik (PV).

Tabel 3. 9 Hasil Simulasi Potensi Energi

<i>Main Results</i>		
<i>System Production</i>	<i>Available Energy (kWh/year)</i>	123.820
	<i>Used Energy (kWh/year)</i>	73.330
	<i>Excess (Unused) (kWh/year)</i>	47.560
<i>Loss of Load</i>	<i>Time Fraction (%)</i>	0
	<i>Missing Energy (kWh/year)</i>	0
	<i>Performance Ratio PR (%)</i>	50,59
	<i>Solar Fraction SF (%)</i>	100
<i>Battery Aging (State of Wear)</i>	<i>Cycles SOW (%)</i>	97,7
	<i>Static SOW (%)</i>	90
	<i>Battery lifetime (year)</i>	10
<i>Economic Evaluation</i>		
<i>Invesment</i>	<i>Global (IDR)</i>	2.164.900.000
	<i>Spesific (IDR/Wp)</i>	25.626
<i>Yearly Cost</i>	<i>Annuities (IDR/year)</i>	0
	<i>Run Cost (IDR/Year)</i>	110.417.079
	<i>Payback Period (year)</i>	5,1
LCOE	Energy cost (IDR/kWh)	1364

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan menggunakan perangkat lunak PVsyst, Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang dirancang menghasilkan energi sebesar 123.820 kWh/tahun. Dari jumlah total penggunaan energi yang dihasilkan oleh PLTS dalam setahun, energi yang digunakan oleh sistem sebesar 73.330 kWh/tahun, sedangkan sistem PLTS

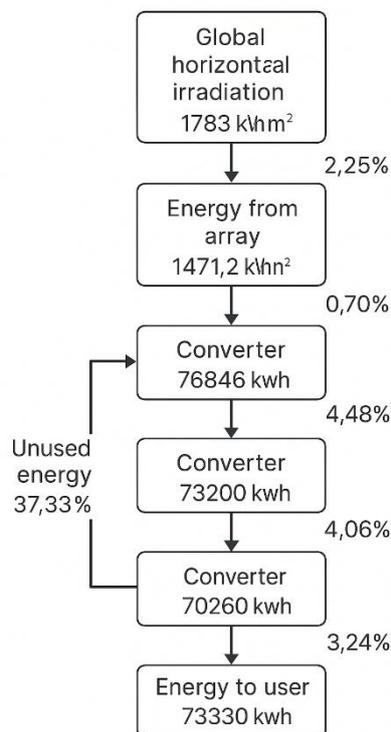
masih memiliki energi yang tidak terpakai (*Excess Energy*) jumlah energi mencapai 47.650 kWh/tahun. Sistem ini tidak terdapat kehilangan energi (*Missing Energy*), sehingga *load fraction* sistem ini bisa mencapai 100%, yang menandakan bahwa seluruh kebutuhan energi pengguna dapat terpenuhi secara optimal selama sepanjang tahun.

Evaluasi performa sistem menunjukkan bahwa *Performance Ratio (PR)* berada pada 50,59%, yang mencerminkan efisiensi keseluruhan sistem dari total radiasi matahari yang diterima menjadi energi listrik yang digunakan. *Solar fraction (SF)* tercatat 100% yang menandakan bahwa seluruh kebutuhan energi pengguna dipenuhi dari sumber energi surya. Sistem ini dilengkapi dengan baterai penyimpanan yang menunjukkan umur pakai selama 10 tahun, dengan kondisi kerusakan berdasarkan siklus *State of Wear (Cycle SOW)* sebesar 97,7% dan statis sebesar 90%.

Kelayakan ekonomi, total investasi untuk sistem PLTS sebesar Rp2.164.900.000 atau USD 132.67, dengan biaya operasional tahunan mencapai Rp110.417.079 atau USD 6.766. Biaya energi *Levelized Cost of Energy (LCOE)* tercatat sebesar 1.364 kWh, dengan periode pengembalian investasi (*Payback Period*) selama 5,1 tahun. Melalui data produksi selama per bulan yang tertera pada hasil analisis simulasi potensi energi produksi energi relative stabil dalam sepanjang tahun, dengan suplai energi yang selalu mencukupi kebutuhan pada area *Drawing (E_User = E_Load)* pada seluruh bulan, serta *Solar Fraction* yang konsisten pada nilai 1000.

3.5.2.5 Loss Diagram Energi

Pada gambar 3.15 merupakan hasil *Loss Diagram* yang diperoleh dari simulasi menggunakan perangkat lunak PVsyst. Simulasi ini dilakukan untuk menganalisis berbagai jenis kehilangan energi (*Losses*) pada sistem yang dipasang.



Gambar 3. 15 *Loss Diagram* PVsyst

Pada gambar 3.15 merupakan diagram alir (*flowchart*) yang menggambarkan proses aliran energi dan kehilangan energi dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya berdasarkan hasil simulasi menggunakan perangkat lunak PVsyst. Proses ini dimulai dari *global horizontal irradiation* sebesar 1783 kWh/m², yang merupakan total radiasi matahari yang jatuh secara horizontal. Namun, terdapat kehilangan awal sebesar 2,25% akibat efek sudut datang sinar matahari (*incident angle modifier*) yang menyebabkan hanya 1471,20 kWh yang dapat dimanfaatkan oleh panel surya.

Tiga bagian converter pada diagram menunjukkan tahapan-tahapan perubahan energi dalam sistem PLTS. Tahap pertama adalah saat listrik (DC) panel surya diubah menjadi listrik (AC) oleh inverter, dengan kehilangan energi sebesar 0,70%. Tahap kedua menggambarkan proses penyimpanan energi ke baterai atau pengaturan distribusi daya, dimana terjadi kehilangan energi sebesar 4,48%. Tahap ketiga menunjukkan proses perubahan kembali energi dari baterai menjadi listrik sebelum digunakan oleh beban, dimana kehilangan energi sebesar 4,06%. Masing-masing tahapan converter memiliki fungsi dan tingkat efisiensi yang berbeda.

Tahap selanjutnya, akan membahas tentang beberapa kerugian lainnya yang mempengaruhi hasil konservasi energi. Terdapat kehilangan energi intensitas radiasi yang tidak optimal sebesar 3,24%, kehilangan karena suhu tinggi sebesar 7,70%, serta kehilangan kualitas modul dan *Mismatch string* masing-masing sebesar 0,43% dan 2,18%. Setelah melalui proses ini, daya listrik bersih dari PV yang dihasilkan sebesar 78,648 kWh akan diteruskan ke komponen sistem penyimpanan. Namun, sebelum mencapai beban day ini kembali mengalami kehilangan sebesar 0,70% akibat *External Transformer Loss*, 4,48% dari konversi energi oleh inverter, dan 4,06% sebagai hasil *Unused Battery Energy*, yaitu energi yang tidak dapat dimanfaatkan dari baterai meskipun tersedia.

Seluruh tahapan dan kerugian energi tersebut, energi yang benar-benar digunakan oleh beban pengguna adalah sebesar 73,330 kWh. Meskipun terdapat jumlah kerugian energi yang tidak dapat dihindari, sistem ini tetap menunjukkan performa yang sangat baik dalam bekerja, karena tidak memiliki kehilangan energi dalam bentuk *Missing Energy* (0,00%), yang dimana seluruh kebutuhan beban energi telah terpenuhi. Hal ini menjadikan indikator bahwa sistem PLTS ini telah dirancang dan disimulasikan dengan baik, sehingga mencakup efisiensi komponen utama serta pengelolaan energi melalui baterai, inverter, dan sistem distribusi dapat mendukung operasional area *Drawing*

secara optimal dan dalam rangka mengoptimalkan pemanfaatan energi terbarukan sumber daya yang berkelanjutan.

3.5.2.6 Biaya Pemasangan Sistem

Tabel 3.10 merupakan gambar rincian biaya pemasangan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak PVsyst.

Tabel 3. 10 Biaya Pemasangan Sistem

<i>Cost of the System</i>			
<i>Item</i>	<i>Quantity Units</i>	<i>Cost (IDR)</i>	<i>Total (IDR)</i>
<i>PV Modules (Mono 440 Wp Twin 144 half-cells)</i>	192	2,200,000	422.400.000
<i>Batteries</i>	240	7,250,000	1.740.000.000
<i>Controlles</i>	1	25,000,000	25.000.000
		Total	2.164.900.000
		Depreciable asset	2.164.900.000
<i>Operating Costs</i>			
<i>Item</i>	<i>Total (IDR/year)</i>		
<i>Total (OPEX)</i>	100.000.000		
<i>Including Inflation (1.03%)</i>	110.417.079		

Tabel 3.10 merupakan tabel yang menyajikan biaya sistem dari pemasangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berdasarkan hasil simulasi PVsyst. Biaya pemasangan terdiri dari tiga komponen utama, yakni modul PV sebanyak 192 panel surya dengan total biaya sebesar Rp422.400.000 atau sebesar USD 25.890, baterai dengan berjumlah 240 baterai dengan total biaya sebesar Rp1.740.000.000 atau sebesar USD 106.650, dan untuk harga *Controller* dengan biaya sebesar Rp25.000.000 atau USD 1.532. Total biaya pemasangan yang perlu disiapkan oleh perusahaan dengan biaya sebesar Rp2.164.900.000 atau USD 132.693. Biaya-biaya tersebut ini merupakan kebutuhan investasi awal dalam membangun sistem PLTS secara lengkap.

Selain biaya pemasangan, biaya operasional tahunan yang wajib dikeluarkan dengan biaya sebesar Rp100.000.000 atau USD 6.129, yang mencakup komponen seperti pemeliharaan sistem dan perbaikan sistem. Ketika inflasi sebesar 1,03%/tahun diperhitungkan selama masa operasional (diasumsikan selama 10 tahun), total operasional meningkat menjadi Rp110.417.079 atau USD 6.767. Hal ini menggambarkan pentingnya dalam mempertimbangkan faktor inflasi dalam perencanaan jangka panjang, agar biaya pemasangan tetap realistis terhadap kondisi ekonomi yang berubah.

Pada bagian bawah tabel merupakan ringkasan sistem yang mencatat bahwa total energi matahari yang dimanfaatkan sebesar 73,3 MWh/tahun, dengan energi yang dapat digunakan mencapai 7,13 MWh/tahun. Menunjukkan efisiensi sistem yang tinggi, dengan biaya energi per kWh mencapai Rp2.890. Informasi ini berguna dalam membandingkan biaya energi terhadap sumber energi lainnya dalam aspek perekonomian.

Dalam simulasi ini, perhitungan biaya operasional tahunan memperhitungkan efek inflasi sebesar 1,03% setiap tahunnya. Biaya operasional tidak hanya ditambahkan satu kali dengan inflasi. Melainkan selama masa pemasangan berlangsung (dengan asumsi standar biasanya adalah 10 tahun). Maka total biaya operasional yang diperhitungkan adalah nilai sekarang (*Present Value*) dari seluruh biaya operasional tahunan yang terus meningkat akibat inflasi selama periode tertentu. Rumus perhitungan menggunakan *Present Value of Growing Annuity*, dengan rumus:

$$1. \text{ perhitungan } Present Value: PV = C \times \frac{1 - \frac{(1+g)^n}{(1+r)^n}}{r-g} \quad (14)$$

Keterangan:

- PV = Present Value (Hasil akhir biaya operasional dengan inflasi)
- C = Biaya Operasional awal per tahun (Rp100.000.000)
- r = Discount Rate (tidak ada disebutkan, 0%)
- g = Inflasi Tahunan = 1,03% = 0,0103

- n = Periode Waktu (asumsi 10 tahun)

2. Total Biaya Operasional Selama 10 Tahun= (13)

$$\sum_{t=0}^9 100.000.000 \times (1 + 0.0103)^t$$

Nilai pemasangan Sistem PLTS yang dipengaruhi dengan adanya inflasi meningkat menjadi Rp110.417.079. Hasil penambahan bukanlah karena inflasi satu kali, melainkan hasil dari akumulasi efek inflasi sebesar 1,03% dalam per tahun terhadap selama 10 tahun waktu operasional.

3.5.2.7 Analisis Keuangan

Pada tabel 3.11 merupakan gambaran tentang investasi awal keuangan untuk melakukan pembangunan panel surya, hasil tersebut menggunakan perangkat lunak PVsyst.

Tabel 3. 11 Analisis Keuangan

<i>Financial Analisis</i>		
<i>Simulasi Period</i>	<i>Project lifetime (years)</i>	20
	<i>Start year</i>	2026
<i>Income Variation Time</i>		
<i>Inflation (%/year)</i>		1,03
<i>Financing</i>		
<i>Own Funds (IDR)</i>		2.164.900.000
<i>Self Consum</i>		
<i>Consumption Tarif (IDR/kWh)</i>		670
<i>Tarif Evaluation (%/Year)</i>		2,000
<i>Return on Investment</i>		
<i>Payback Period (years)</i>		5.1
<i>Net Present Value (NPV) (IDR)</i>		6.834.584.815.
<i>Internal Rate of Return (IRR) (%)</i>		0.00
<i>Return on Investment (ROI) (%)</i>		3,42

Pada tabel 3.11 merupakan penjelasan terkait analisis finansial dari pembangunan pemanfaatan energi surya yang dirancang dalam simulasi perangkat lunak PVsyst. Pemanfaatan energi surya ini memiliki masa operasional selama 20 tahun dan akan dimulai pada tahun 2026. Dalam proyeksi keuangan, tingkat inflasi tahunan ditetapkan sebesar 1,03%, tanpa adanya penyusutan produksi tahunan atau diskon, yang keduanya ditetapkan sebesar 0,00%. Analisis ini dilakukan dengan metode garis lurus (*straight-line*) selama 20 tahun untuk tiga komponen utama, yaitu modul PV Mono 440 Wp Twin 144 half-cells, baterai, dan *controller*.

Nilai aset yang dapat diketahui tercatat modul PV sebanyak 192 panel surya dengan total biaya sebesar Rp422.400.000 atau sebesar USD 25.890, baterai dengan berjumlah 240 baterai dengan total biaya sebesar Rp1.740.000.000 atau sebesar USD 106.650, dan untuk harga *controller* dengan biaya sebesar Rp25.000.000 atau USD 1.532. Total biaya pemasangan yang perlu disiapkan oleh perusahaan dengan biaya sebesar Rp2.164.900.000 atau USD 132.693. Dalam hal pendanaan, pembangunan ini didukung oleh dana sendiri sebesar Rp2.164.900.000 atau USD 122.586. Sementara itu, tarif konsumsi energi mandiri (*Self-Consumption* tarif) ditetapkan sebesar Rp0,0670/kWh, dengan peningkatan tarif tahunan sebesar 2.000,0%. Nilai ini menunjukkan adanya asumsi bahwa harga listrik akan mengalami kenaikan signifikan setiap tahun.

Dari sisi profitabilitas pemanfaatan energi surya, terdapat beberapa indikator penting yang dapat dijadikan pertimbangan. Periode pengembalian modal (*Payback Period*) diperkirakan selama 5,1 tahun. Nilai sekarang bersih (*Net Present Value/NPV*) tercatat sebesar Rp6.834.584.815, meskipun nilai ini tampak sangat besar dan kemungkinan perlu diverifikasi kembali. *Internal Rate of Return* (IRR) tercatat sebesar 0,00%, yang berarti proyek ini secara teknis belum menghasilkan tingkat keuntungan internal. Namun demikian, *Return on Investment* (ROI) tercatat sebesar 3,42%, menandakan masih terdapat

pengembalian nilai investasi secara nominal. Angka-angka ini dapat digunakan sebagai acuan dalam evaluasi kelayakan proyek dalam jangka panjang.

