



Tesis - TF185471

**STUDI KELAYAKAN PENGGANTIAN KENDARAAN  
OPERASIONAL PTVI BERBASIS ENERGI FOSIL  
MENJADI KENDARAAN LISTRIK**

ANDRIE KURNIAWAN  
NRP. 02311650022027

DOSEN PEMBIMBING  
Dr. Imam Abadi, S.T.,M.T.

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN REKAYASA ENERGI TERBARUKAN  
JURUSAN TEKNIK FISIKA  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019

*Halaman ini memang dikosongkan*

**LEMBAR PENGESAHAN**

**TESIS Disusun Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh  
Gelar Magister Teknik (M.T)**

**Di**

**Institut Teknologi Sepuluh November**

Oleh :

Andrie Kurniawn

NRP.02311650022027

**Tanggal Ujian: Januari 2019**

**Periode Wisuda: Maret 2019**

Disetujui Oleh:

1. Dr Imam Abadi, ST., MT.  
NIP 19761006 199903 1 002



(Pembimbing)

2. Dr Ridho Hantoro, ST., MT.  
NIP 19761223 200501 1 001

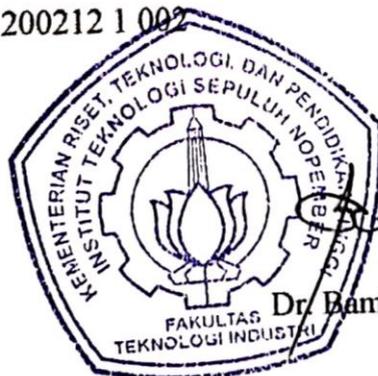


(Penguji 1)

3. Gunawan Nugroho, ST., MT., PhD  
NIP 19771127 200212 1 002



(Penguji 2)



Dekan Fakultas Teknologi Industri,



Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, S.T., M.T.

NIP. 19690507 199512 1 001

*Halaman ini memang dikosongkan*

# STUDI KELAYAKAN PENGGANTIAN KENDARAAN OPERASIONAL PTVI BERBASIS ENERGI FOSIL MENJADI KENDARAAN LISTRIK

Nama Mahasiswa : Andrie Kurniawan  
NRP : 02311650022027  
Pembimbing : Dr. Imam Abadi, S.T.,M.T.

## ABSTRAK

Kegiatan operasional pertambangan di PT Vale Indonesia banyak di topang oleh kendaraan berat (alat alat tambang seperti *loader, ekskavator, dozer, dump truck dll*), bus karyawan, prime mover untuk transportasi container, truck dan juga kendaraan ringan. Bus karyawan beroperasi 24 jam sejalan dengan kondisi operasional PT Vale Indonesia. Emisi yang bisa di hilangkan dari bus akan meningkatkan kualitas udara di sekitar tempat tinggal masyarakat. PT Vale Indonesia juga masih mempunyai kelebihan daya listrik dari 3 pembangkit tenaga air. Untuk mengurangi emisi gas rumah kaca yang di hasilkan perlu di lakukan konversi energi yang mengganti bus konvensional dengan bus bertenaga listrik.

Tujuan penelitian ini untuk menganalisis dampak dari konversi bus konvensional dengan bus listrik dalam kaitan nya terhadap emisi gas rumah kaca. Data emisi di dapatkan melalui perkalian jumlah pemakaian bahan bakar minyak dengan factor emisi. Selanjutnya menganalisis penambahan panel surya yang di tempatkan di atas atap bus dan di tempatkan di *pool* bus dalam kaitannya dengan tambahan energi bersih yang bisa di dimanfaatkan dalam operasional bus karyawan. Data potensi radiasi sinar matahari di peroleh dari pengukuran di lapangan dan membandingkan data dari satelit cuaca. Perangkat lunak PVSyst dipakai untuk menganalisa daya yang bisa dibangkitkan dari panel surya.

Emisi yang bisa dihilangkan sebesar 1.2 juta Kg gas CO<sub>2</sub> dan 2900 Kg gas CO. Untuk penambahan panel surya di atas atap bus dan di *pool* bus tidak bisa mencukupi kebutuhan energi operasional bus sehari hari, demikian juga panel surya yang ditempatkan di *pool* bus tidak bisa mencukupi energi untuk pengisian battery dari operasional bus listrik. Analisa kelayakan ekonomis menyatakan bahwa konversi bus konvensional menjadi bus listrik layak di lakukan dengan jangka waktu balik modal sekitar 15 tahun. Sedangkan analisa ekonomis untuk penambahan panel surya baik di atas atap maupun di *pool* bus tidak layak di lakukan

Kata kunci: Konversi bahan bakar fosil, *Electric Vehicle*, Emisi gas rumah kaca, Panel surya, *Net Present Value (NPV)*.

*Halaman ini memang dikosongkan*

# **FEASIBILITY STUDY REPLACEMENT OF KONVENTIONAL OPERATIONAL VEHICLE PTVI FROM FOSSIL FUEL TO ELECTRIC VEHICLE**

Nama Mahasiswa : Andrie Kurniawan  
NRP : 02311650022027  
Pembimbing : Dr. Imam Abadi, S.T.,M.T.

## **ABSTRACT**

Mining operational at PT Vale Indonesia used a lot of heavy equipment such as loader, excavator, dozer, dump truck, prime mover for transporting nickel product and cointainer from plant site to sea port vv, employee bus, light truck and light vehicle. Bus operate 24 hours in line with operational hours of PT Vale Indonesia. Emission form bus activities that can be eliminated will increase air quality in urban area. PT Vale Indonesia also have excess energi from 3 hydro power plant. To reduced green gas emission replacement of konvensional bus to electric bus needed.

The purpose of this study is to analys effect from conventional bus conversion to electric bus in terms of green gas emission. Value of green gas emission is multiplication from fuel usage with emission factor. This paper also study additional of solar panel at the bus roof top and in the bus pool to gain extra clean energi for bus operational demand. Solar irradiaton value obtained from actual field measurement and compare to satellite data. PVSyst software used to analys power that can be generated from solar panel

Emission that can be reduce as big as 1.2 million Kg CO<sub>2</sub> and 2900 Kg CO. For solar panel additional at roof top and pool bus could not meet energi demand for day to day bus activities. Economic analysis shows that bus conversion form fossil fuel to electric bus worth doing with 15 years pay back time, while additional solar panel installation wheater at the roof top or in pool bus was not woth doing.

*Kata kunci: Fossil fuel conversion, Green gases emission, solar panel, Electric Vehicle, Net Present Value (NPV).*

*halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	8
1.3 Tujuan Penelitian .....	8
1.4 Lingkup Kajian .....	9
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI .....	11
2.1 Kendaraan Listrik .....	11
2.1.1 Keunggulan dari Kendaraan Listrik .....	12
2.1.2 Kelemahan dari Kendaraan Listrik .....	12
2.1.3 Beberapa Tipe Kendaraan Listrik .....	13
2.2 Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) .....	15
2.2.1 Kandungan Emisi Gas Buang .....	17
2.2.2 Faktor Yang Mempengaruhi Besarnya Emisi Gas Buang .....	20
2.3 Analisis Potensi Energi Matahari .....	21
2.3.1 Karakteristik Energi Matahari .....	22
2.3.2 Pengukuran Radiasi Matahari .....	23
2.3.3 Perhitungan Radiasi Matahari .....	24
2.4 Pemanfaatan Energi Radiasi Matahari .....	26
2.4.1 Perkembangan Teknologi Photovoltaic .....	27
2.4.2 Efisiensi Panel Surya .....	29
2.4.3 Jenis Interkoneksi dari Panel Surya ke Sistem Jaringan Listrik .....	29
2.5 Metode dan Skema Pengisian Battery .....	30
2.6 Aspek Financial Penggantian Energi Fosil ke Energi Listrik .....	33
2.6.1 Pemodelan Ekonomis .....	34
BAB 3 METODOLOGI .....	37

3.1 Diagram Alir Penelitian.....	37
3.2 Pengambilan Data.....	38
3.2.1 Konsumsi pemakaian bahan bakar dari stasiun pengisian bahan bakar	38
3.2.2 Potensi Radiasi Sinar Matahari .....	39
3.2.3 Kondisi Areal Potensi Penempatal Panel Surya dan Rute perjalanan Bus Karyawan .....	39
3.3 Analisis Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca.....	40
3.4 Analisis Penambahan PV Pada Atap Bus Karyawan atau Pada Tempat <i>Pool</i> Bus Karyawan .....	41
3.5 Analisis Kelayakan Ekonomis.....	41
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>43</b>
4.1 Area Kerja PT Vale Indonesia.....	43
4.1.1 Jarak Tempuh Perjalanan Bus Karyawan dan Sekolah.....	43
4.1.2 Kondisi Areal Sekitar .....	48
4.2 Konsumsi Bahan Bakar Solar.....	53
4.2.1 Konsumsi Solar .....	53
4.2.2 Konsumsi Premium .....	56
4.2.3 Proyeksi Konsumsi Bahan Bakar Fossil .....	57
4.3 Perhitungan Emisi Kendaraan .....	58
4.3.1 Emisi Gas Buang dari Solar .....	58
4.3.2 Emisi Gas Buang Premium .....	60
4.4 Potensi Energi Surya di Area Operasional PT Vale Indonesia .....	61
4.4.1 Potensi Energi Surya Berdasarkan Solargis .....	61
4.4.2 Potensi Energi Surya Berdasarkan RETScreen Profesional .....	63
4.4.3 Potensi Energi Surya Berdasarkan PV Syst .....	65
4.4.4 Potensi Energi Surya Berdasarkan Perhitungan Matematis .....	66
4.4.5 Pengukuran Potensi Energi Sinar Matahari .....	68
4.5 Pemanfaatan Energi Surya Melalui Pemasangan Panel Surya.....	69
4.5.1 Penambahan Panel Surya di Atas Atap Bus.....	73
4.5.2 Penambahan Panel Surya Pada <i>Pool</i> Bus.....	76
4.5.3 Penempatan Lokasi Pengisian Daya Bus Listrik.....	77
4.6 Analisis Ekonomis.....	78

4.6.1 Penggantian Bus Listrik dengan Pengisian Daya dari Jaringan PT Vale Indonesia.....	78
4.6.2 Penambahan Panel Surya di Atas Atap Bus .....	79
4.6.3 Penambahan Panel Surya di <i>pool</i> Bus .....	79
BAB 5 PENUTUP .....	81
5.1 Kesimpulan .....	81
5.2 Saran.....	81
DAFTAR PUSTAKA .....	83

*halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Harga Minyak Dunia (WoodMackenzie, 2015).....	2
Gambar 1.2 Presentasi Penggunaan Energi di Sektor Transportasi (Kementrian ESDM, 2013) .....	2
Gambar 1.3 Neraca Energi Indonesia (Dewan Energi Nasional, 2016) .....	3
Gambar 1.4 Kebijakan Energi Nasional (Kementrian ESDM, 2015).....	4
Gambar 1.5 Efisiensi solar panel dari tahun ke tahun (NREL, 2015) .....	6
Gambar 1.6 Pertumbuhan investasi panel surya dari tahun ke tahun (UNEP and Bloomberg, 2016) .....	7
Gambar 1.7 Trends Harga panel surya (IRENA, 2015).....	7
Gambar 2.1 Desain Kendaraan BEV (Battery Electric Vehicle) (Volkswagen Group Of America Inc, 2013) .....	13
Gambar 2.2 Desain Kendaraan HEV (Hybrid Electric Vehicle) (Volkswagen Group Of America Inc, 2013) .....	14
Gambar 2.3 Desain Kendaraan PHEV (Hybrid Electric Vehicle) (Volkswagen Group Of America Inc, 2013) .....	14
Gambar 2.4 Proyeksi Jumlah Kendaraan sampai Tahun 2025 (BPPT dan KLH, 2009) .....	15
Gambar 2.5 Proyeksi Jumlah Emisi CO2 Sampai Tahun 2025 (BPPT dan KLH, 2009) .....	16
Gambar 2.6 Rangkuman Usaha Pengurangan Emisi pada Bidang Transportasi (Khan Ribero, 2007).....	16
Gambar 2.7 Kapasitas energi terbarukan dan 7 Negara pengguna energi terbarukan (REN21) .....	22
Gambar 2.8 Skema Pengisian Daya Battery Kendaraan Listrik (Pokrzywa, 2010) .....	31
Gambar 2.9 Profile Pengisian Battery Lithium (Dhameja, 2002).....	33
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	37
Gambar 3.2 RFID Ring Tag.....	38
Gambar 3.3 System Pencatatan Otomatis Pemakaian Bahan Bakar Minyak .....	39
Gambar 3.4 Solar Power Meter.....	39
Gambar 3.5 Photo Drone.....	40
Gambar 4.1 Area Cakupan Operasional PT Vale Indonesia.....	43
Gambar 4.2 Jarak Sorowako ke Plant Site (10.4 Km) .....	44
Gambar 4.3 Perjalanan Untuk Keperluan Sekolah (PonSal – Sekolah)(6.5 Km) .	45
Gambar 4.4 Jarak dari Pool Bus Sorowako ke Plant site (6 Km) .....	45
Gambar 4.5 Jarak Wawondula ke Plant Site (10.8 Km) .....	46
Gambar 4.6 Jarak Wasuponda ke Plant Site (16.1 Km).....	47
Gambar 4.7 Jarak Malili ke Plant Site (49.3 Km).....	47
Gambar 4.8 Jarak Rute Plant Site – Sekolah (6.7 Km).....	48

Gambar 4.9 Kondisi Udara Area Sorowako .....	48
Gambar 4.10 Kondisi Udara di Area Wawondula.....	49
Gambar 4.11 Kondisi udara perjalanan menuju Wawondula.....	50
Gambar 4.12 Kondisi udara perjalanan ke Wasuponda dengan Kondisi Pohon di Sepanjang Perjalanan.....	50
Gambar 4.13 Kondisi udara perjalanan ke Wasuponda .....	51
Gambar 4.14 Kondisi Udara Perjalanan ke Malili Tertutup Pohon di Kanan Kiri Jalan.....	51
Gambar 4.15 Kondisi Udara Perjalanan ke Malili Tertutup Pohon di Kanan Kiri Jalan .....	52
Gambar 4.16 Kondisi Udara Area Malili .....	52
Gambar 4.17 Grafik Top 4 Departement Pengguna Bahan Bakar Solar.....	54
Gambar 4.18 Grafik Top 3 Departement Pengguna Premium .....	57
Gambar 4.19 Potensi Energi Solar di Indonesia (The World Bank, 2017) .....	62
Gambar 4.20 GHI Indonesia untuk Bulan Januari-Juni (The World Bank, 2017)	62
Gambar 4.21 GHI Indonesia untuk Bulan Juli –Desember (The World Bank, 2017).....	63
Gambar 4.22 Potensi Radiasi Matahari di Plant Site Gate 1 Tahun 2017.....	64
Gambar 4.23 Potensi Radiasi Matahari di Plant Site Gate 1 Tahun 2018.....	65
Gambar 4.24 Potensi Radiasi Sinar Matahari Plant Site Gate 1 dari PVSyst .....	65
Gambar 4.25 Potensi Radiasi Sinar Matahari Plant Site Gate 1 ( $K_t = 0.8$ ).....	66
Gambar 4.26 Potensi Radiasi Sinar Matahari Plant Site Gate 1 ( $K_t = 0.5$ ).....	67
Gambar 4.27 Diagram Perbandingan hasil Potensi Radiasi Matahari.....	68
Gambar 4.28 Perbandingan Radiasi Sinar Matahari dengan Pengukuran Manual di Lapangan .....	69
Gambar 4.29 Bus Listrik BYD C-10 (BDY, 2018).....	70
Gambar 4.30 Panel Surya dari Canadian Solar (Can19) .....	71
Gambar 4.31 Panel Surya dari Jinko Solar (Jin19) .....	71
Gambar 4.32 Panel Surya dari Sharp (Sharp Corporation) .....	72
Gambar 4.33 Kondisi Gate 1 Plant Site.....	78

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Konsumsi Energi per Sektor (Ribuan BOE) (Kementerian ESDM, 2017)..	3
Tabel 1.2 Kapasitas dan Pemakaian Energi Air di PT Vale Indonesia .....	4
Tabel 2.1 Faktor Emisi CO2 Sesuai dengan Bahan Bakar (Kementerian Lingkungan Hidup, 2012) .....	19
Tabel 2.2 Faktor Emisi CO2, CH4, N2O Sesuai dengan Bahan Bakar (Kementerian Lingkungan Hidup, 2012) .....	19
Tabel 2.3 Faktor Emisi untuk Perhitungan Metode Tier 1 (CORINAIR, 2009)...	20
Tabel 2.4 Daftar Negara pengguna energi matahari (REN21).....	23
Tabel 2.5 Efisiensi masing-masing material silikon (Bostan I, 2013) .....	27
Tabel 2.6 Standart Internasional untuk Pengisian Battery (Kwo Young, 2013)...	31
Tabel 4.1 Konsumsi Solar Diluar Alat Berat Tambang .....	54
Tabel 4.2 Tabel Konsumsi Premium.....	56
Tabel 4.3 Emisi Solar tahunan PT Vale Indonesia diluar kendaraan berat tambang .....	58
Tabel 4.4 Emisi Solar PT Vale Indonesia untuk transportasi karyawan .....	59
Tabel 4.5 Emisi Solar PT Vale Indonesia untuk transportasi Produk Nikel .....	59
Tabel 4.6 Emisi Solar PT Vale Indonesia untuk mining small fleet dengan menggunakan light truck.....	59
Tabel 4.7 Emisi Yang dihasilkan oleh Penggunaan Premium .....	60
Tabel 4.8 Emisi Untuk Transportasi karyawan (Premium) .....	60
Tabel 4.9 Potensi Radiasi matahari untuk Plant Site Gate 1 tahun 2017 .....	64
Tabel 4.10 Potensi Radiasi matahari untuk Plant Site Gate 1 tahun 2018.....	64
Tabel 4.11 Potensi Radiasi Sinar matahari Plant Site Gate 1 dari PVSyst .....	65
Tabel 4.12 Tabel Perbandingan hasil Potensi Radiasi Matahari.....	68
Tabel 4.13 Perbandingan Radiasi Sinar Matahari dengan Pengukuran Manual di Lapangan .....	69
Tabel 4.14 Perbandingan kelebihan dan kekurangan masing masing panel surya	72
Tabel 4.15 Hasil Perbandingan 3 Pabrik Panel Surya.....	73
Tabel 4.16 Spesifikasi Panel Surya (Sharp Corporation).....	74
Tabel 4.17 Dimensi Panel Surya (Sharp Corporation).....	74
Tabel 4.18 Kapasitas Power Terrain Bus Listrik.....	74
Tabel 4.19 Daya Listrik Dari Panel Surya .....	74
Tabel 4.20 Hasil Simulasi PVSyst Pemasangan Panel Surya di Pool Bus .....	76
Tabel 4.21 Perbandingan Skenario untuk Analisis NPV Penggantian Bus Listrik	79

*Halaman ini memang dikosongkan*

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kegiatan operasional pertambangan di PT Vale Indonesia banyak di topang oleh kendaraan berat (alat alat tambang seperti *loader, ekskavator, dozer, dump truck dll*), bus, prime mover untuk transportasi kontainer dan juga kendaraan ringan. Kegiatan mobilisasi material tambang membutuhkan banyak sekali armada *dump truck* dari area penambangan sampai area proses menjadi nikel. Mobilisasi material hasil pengolahan di bagian pengolahan biji nikel juga membutuhkan armada prime mover yang terus beroperasi selama 24 jam. Demikian juga kegiatan mobilisasi sekitar 3000 karyawan PT Vale Indonesia membutuhkan banyak armada bus karyawan dan juga membutuhkan kendaraan ringan untuk menunjang semua kegiatan PT Vale Indonesia. Semua kegiatan itu membutuhkan jumlah bahan bakar fosil (solar dan premium) dengan jumlah yang tidak sedikit. Dengan pemakaian yang sangat banyak biaya pengiriman dan penyediaan bahan bakar fosil juga menjadi semakin tinggi. Seiring dengan komitmen PT Vale Indonesia untuk memproduksi 90Kton nikel maka konsumsi bahan bakar fosil juga di prediksi akan meningkat.

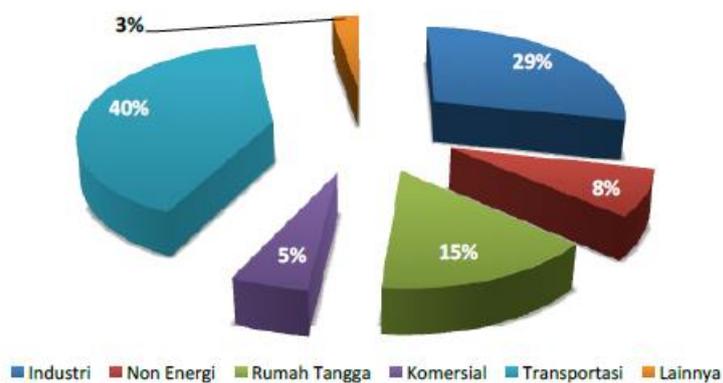
Trend harga minyak mentah yang sangat berfluktuasi seperti yang terlihat pada gambar 1.1 juga akan berdampak kepada tidak stabilnya ongkos produksi dari PTVI. Dengan kondisi harga yang sangat berfluktuasi maka akan sangat sulit untuk menentukan pengeluaran dasar untuk memproduksi nikel.

Selain trend harga yang sangat berfluktuasi ketersediaan cadangan minyak mentah juga makin lama makin menipis sehingga diperlukan suatu tindakan diversifikasi sumber energi untuk mencegah krisis energi yang akan terjadi.



Gambar 1.1 Harga Minyak Dunia (WoodMackenzie, 2015)

Sektor transportasi masih menjadi penyumbang terbesar emisi rumah kaca kedua setelah pembangkitan, karena penggunaan EBT (energi baru terbarukan) masih sangat minim. Berikut map penggunaan sumber energi di bidang transportasi seperti terlihat pada gambar 1.2 dan tabel 1.1

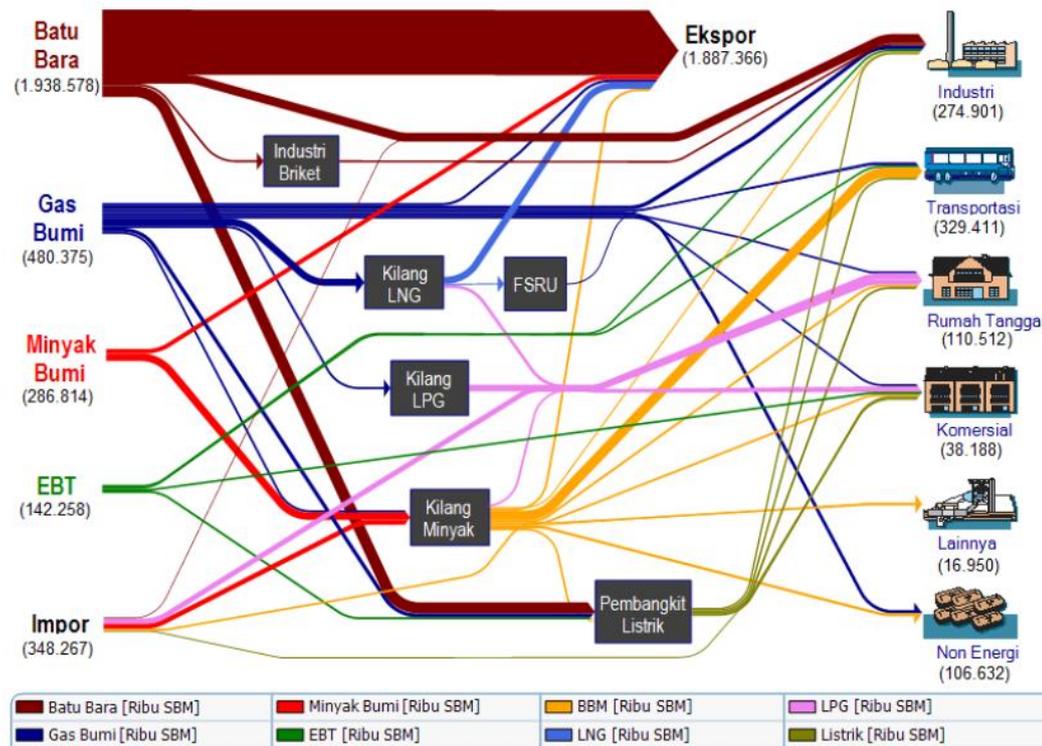


Gambar 1.2 Presentasi Penggunaan Energi di Sektor Transportasi (Kementerian ESDM, 2013)

Tabel 1.1 Konsumsi Energi per Sektor (Ribu BOE) (*Kementrian ESDM, 2017*)

Sektor	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Industri*	305,723	330,224	325,387	237,776	244,614	264,357	213,380
Non Energi	84,147	98,285	112,566	94,531	98,746	77,443	60,244
Rumah Tangga	81,633	85,426	92,490	99,688	106,398	110,512	114,831
Komersial	29,555	32,758	35,769	37,876	38,896	41,100	40,113
Transportasi	230,346	277,513	329,520	341,410	342,782	307,078	303,307
Lainnya	22,340	27,220	33,709	31,105	28,695	32,836	19,440

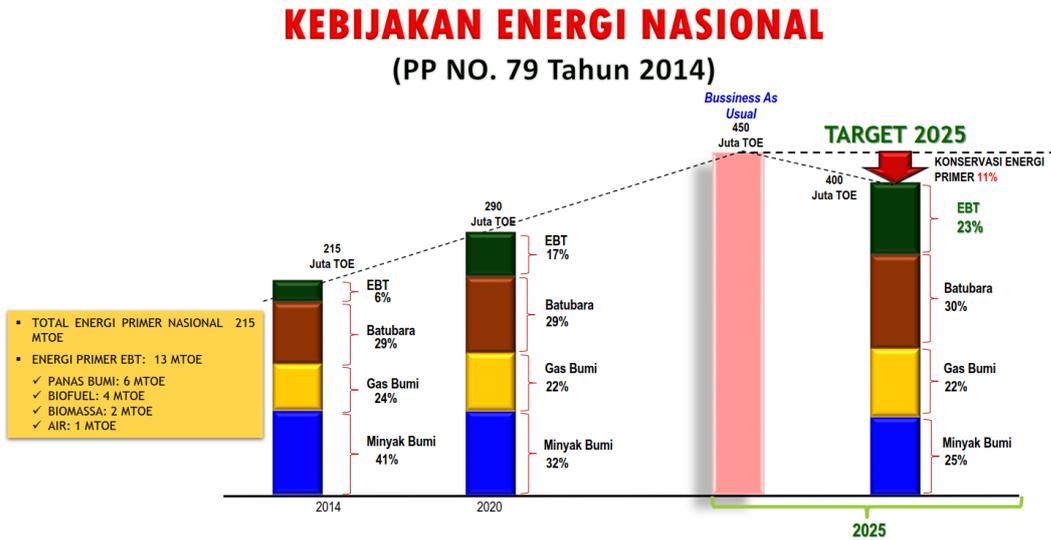
Bisa di lihat dari neraca energi di gambar 1.3 sumber energi terbesar dari sector transportasi masih berasal dari kilang minyak dengan kata lain bahan bakar minyak (BBM) masih mendominasi di sector transportasi. Energi lain dalam neraca energi untuk sector transportasi adalah Gas bumi, listrik dan yang terakhir adalah EBT. Ketiga sumber energi ini bisa di katakana sumber energi bersih yang akan secara tidak langsung juga mengurangi emisi gas rumah kaca yang di hasilkan.



Gambar 1.3 Neraca Energi Indonesia (*Dewan Energi Nasional, 2016*)

Sesuai dengan kebijakan pemerintah seperti yang terlihat pada gambar 1.4 untuk menambah penggunaan energi terbarukan dengan mengurangi pemakaian energi

fosil (minyak) di tahun 2025, maka devalidasi penggunaan energi di bidang transportasi menjadi penting untuk di pertimbangkan



Gambar 1.4 Kebijakan Energi Nasional (*Kementrian ESDM, 2015*)

Kondisi cadangan energi PT Vale Indonesia yang masih mencukupi untuk konversi energi berbahan bakar fosil menjadi energi listrik seperti terlihat pada tabel 1.2, juga menjadi salah satu pertimbangan penulis Saat ini PT Vale Indonesia mempunyai 3 pembangkit listrik tenaga air dengan kapasitas rata rata 402 MW. Dengan pemakaian furnace grid dan auxiliary yang hanya membutuhkan 381 MW masih ada sekitar 21 MW yang dapat di gunakan untuk mengkonversi energi fosil menjadi energi listrik untuk keperluan konversi bahan bakar fosil.

Tabel 1.2 Kapasitas dan Pemakaian Energi Air di PT Vale Indonesia

Hydropower	Design Capacity (MW)	Output (MW)	Total Power (MW)
Larona	207	181	402
Balambano	150	116	
Karebe	130	105	
Power Consumption		Required Power (MW)	Total Power (MW)
Electric Furnace		300	381
PP Aux load		45	
Losses network		21	
Furnace Bandwidth		15	
<b>Excess Power</b>			<b>21</b>

Penggunaan teknologi mobil, bus listrik sudah banyak di gunakan dan sudah masuk dalam skala produksi, walaupun penggunaan di Indonesia masih sangat minim sekali. Untuk konversi bahan bakar fosil di segment alat berat dan prime mover masih dalam tahap penelitian. Teknologi yang ada untuk alat berat masih menggunakan system *hybrid* dan belum sepenuhnya menggunakan energi listrik. Melihat potensi yang masih sangat tinggi untuk konversi energi ini penulis ingin meneliti penggunaan energi listrik bus karyawan untuk mendukung kegiatan pertambangan di PT Vale Indonesia.

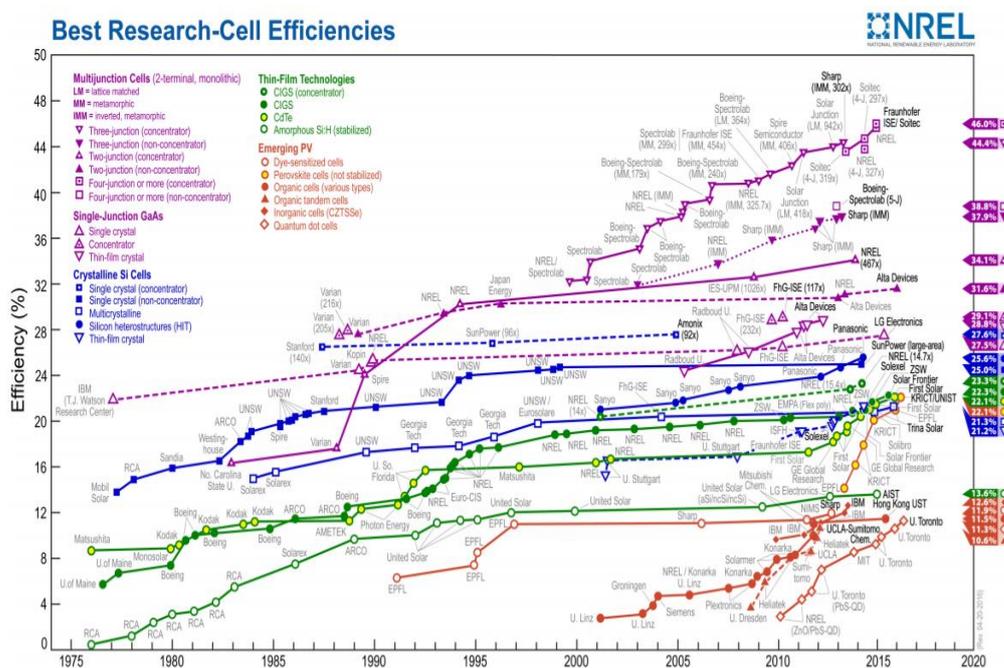
Dengan rata rata total pemakaian 64% energi dunia dengan 70% emisi gas rumah kaca yang di hasilkan (Xylia, 2018) untuk pemukiman maka pemilihan konversi energi fosil dari bus karyawan menjadi energi listrik ini akan langsung memberikan efek pengurangan emisi di lingkungan yang padat penduduk (Lajunen, 2016). Hasil penelitian (Mahmoud, 2016) menyatakan bahwa sumber energi dari bus listrik yang terbaik adalah sumber energi terbarukan juga sehingga emisi gas rumah kaca yang dikurangi menjadi optimal. Pengurangan emisi yang bisa di hasilkan dari konversi energi dari bahan bakar fosil ke tenaga listrik adalah sekitar 43% rata2 dengan tingkat kebenaran dan keakuratan 95% (Durango-Cohen, 2017). Dengan semakin meningkatnya kesadaran untuk menggunakan sumber energi bersih dan berasal dari energi terbarukan hasil survey di negara negara maju seperti eropa dan amarika membuktikan fluktuasi harga bahan bakar minyak, bahkan dengan jatuhnya harga bahan bakar minyak tidak menurunkan angka pemakaian kendaraan dengan menggunakan listrik (K John Holmes, 2016). Hal ini memungkinkan terjadi karena peran aktif pemerintahan untuk memberikan insentif untuk melakukan konversi energi yang nantinya akan mengurangi emisi gas rumah kaca (Ye Ma, 2016)

Lokasi operasional PT Vale Indonesia yang berada di daerah garis khatulististiwa memungkinkan pemanfaatan sumber energi terbarukan berikutnya yaitu energi surya. Potensi energi surya yang bisa di manfaatkan di Indonesia sebesar 207.9 GW dengan kapasitas yang baru terpasang sebesar 78.5 MW (Sekjen Dewan Energi Nasional, 2016). Jika di lihat dari presentasi kapasitas pembangkit tenaga surya yang terpasang dengan potensi yang di miliki oleh Indonesia maka

pengembangan energi surya masih sangat terbuka untuk terus menerus di kembangkan.

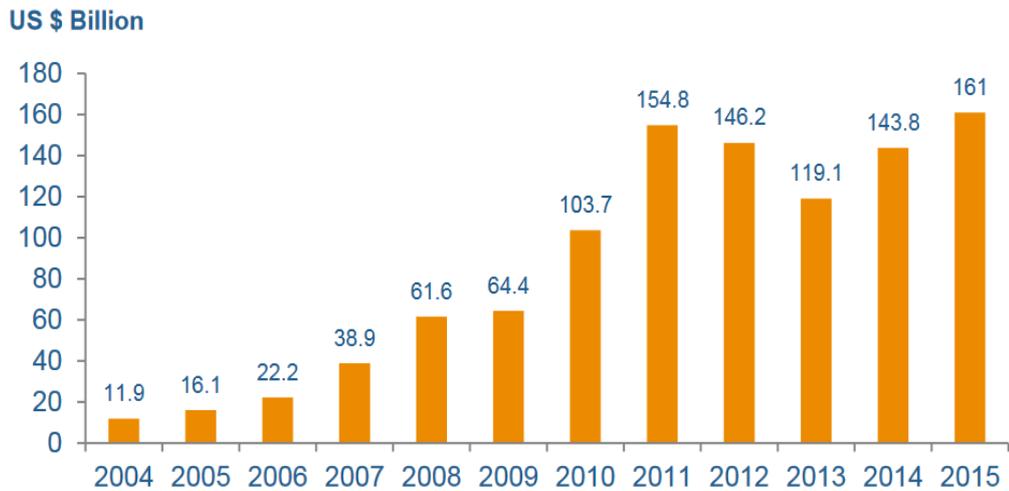
Potensi energi surya di suatu area mengikuti besaran *GHI* (*Global Horizontal Irradiance*) dan *DNI* (*Direct Normal Irradiance*) (Manajit Sengupta, 2017). Data *GHI* dan *DNI* dapat di peroleh dengan pengukuran manual di suatu area dengan menggunakan *pyranometer* dan *pyrheliometers* dengan hasil yang sangat bergantung dengan kondisi lingkungan dan sebaran awan yang ada (Stoffel T, 2000)

Perkembangan teknologi PV sebagai sarana untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik sudah sangat berkembang. Material yang paling sering di pakai untuk bahan solar panel adalah *crystalline silicon* (*c-Si*) (TM, 2002). Perkembangan efisiensi untuk solar panel dengan bahan *c-Si* seperti di sebutkan pada gambar 1.5

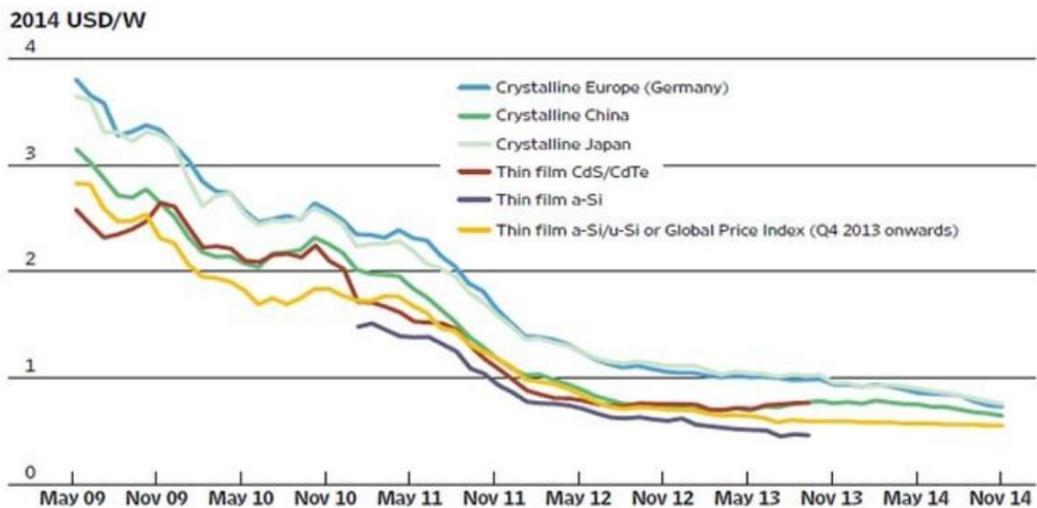


Gambar 1.5 Efisiensi solar panel dari tahun ke tahun (*NREL, 2015*)

Pertumbuhan efisiensi dari panel surya sejalan dengan investasi yang di keluarkan untuk memasang panel surya untuk menghasilkan tenaga listrik. Tercatat pertumbuhan investasi panel surya terus meningkat sesuai dengan gambar 1.6



Gambar 1.6 Pertumbuhan investasi panel surya dari tahun ke tahun (UNEP and Bloomberg, 2016)



Gambar 1.7 Trends Harga panel surya (IRENA, 2015)

Semakin banyaknya pemakaian panel surya sebagai salah satu sumber energi terbarukan untuk mengkonversi energi surya menjadi energi listrik membuat harga panel surya dari tahun ke tahun menurun sesuai dengan gambar 1.7 bahkan penurunan hingga 50% (Ihsan Ali, 2017). Untuk mendapatkan predikat GREEN PROPER yang sedang di usahakan oleh PT Vale Indonesia maka lebih banyak pemanfaatan sumber daya terbarukan sebagai sumber energi tambahan atau alternative akan membuat PT Vale Indonesia mendapatkan nilai lebih

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah yang akan diangkat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana menentukan besar konversi energi bahan bakar fosil dapat di deversifikasi menjadi energi listrik di kawasan tambang PT Vale Indonesia untuk mendukung kegiatan operasional penambangan
- b. Bagaimana strategi pemanfaatan PV di atas atap bus karyawan dan di tempat berhenti bus karyawan terhadap operasi bus dan skema pengisian battery
- c. Bagaimana menentukan besar emsi gas buang yang bisa di hilangkan dengan konversi energi ini
- d. Bagaimana menentukan perhitungan ekonomi untuk mengganti seluruh kendaraan operasional PT Vale Indonesia dari yang berbahan bakar fosil dengan yang bertenaga listrik.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, maka tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mengetahui potensi konversi energi listrik yang dapat di lakukan untuk mengganti bahan bakar fosil dengan menggunakan metode pengumpulan data pemakaian solar selama 3 tahun dari stasiun pengisian bahan bakar PT Vale Indonesia
- b. Mengetahui potensi energi surya yang dapat di konversi menjadi energi listrik melalui PV panel dengan menggunakan metode perhitungan matematis untuk mengetahui *defuse radiation* dan *direct beam radiation* di suatu area tertentu, data satelit NOAA dan NASA, perhitungan *software* PVSyst dan membandingkan dengan pengukuran manua dengan menggunakan solar power meter 1 area. Untuk mendapatkan strategy pemasangan PV di atap bus karyawan atau di tempat *pool* bus

- c. Mengetahui emisi gas buang yang berhasil di hilangkan dengan konversi energi ini dengan memakai perhitungan tier 1 yang merupakan perkalian antara factor emisi dengan pemakaian bahan bakar minyak
- d. Mengetahui apakah secara ekonomis apakah layak untuk di lakukan dengan menggunakan metode NPV

#### **1.4 Lingkup Kajian**

Lingkup kajian ini meliputi sebagai berikut:

- a. Lokasi penelitian pada area operasional PT VALE Indonesia Tbk
- b. Pengambilan data historis dari tahun 2016 untuk pemakaian bahan bakar solar PT Vale Indonesia untuk pengisian bus karyawan
- c. Analisa konversi energi listrik dari panel surya menggunakan data linierisasi dari hasil data percobaan dalam data teknis panel surya
- d. Konversi energi listrik di atap bus dengan mengabaikan partikel debu yang ada di sepanjang perjalanan
- e. Kondisi bus listrik yang masih di anggap ideal semua parameternya

*Halaman ini memang dikosongkan*

## **BAB 2**

### **KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

#### **2.1 Kendaraan Listrik**

Kendaraan listrik (*Electric vehicle*) sudah mempunyai sejarah panjang. Pertama kali di buat pada tahun 1821 oleh Thomas Devenport dengan menggunakan battery yang tidak dapat di isi ulang dan mempunyai jarak tempuh sejauh 15 sampai 30 km (Vepachedu, 2017). Perkembangan kendaraan listrik tidak secepat kendaraan dengan bahan bakar minyak karena harga minyak yang masih murah sehingga perkembangan kendaraan dengan menggunakan mesin konvensional (*ICE – Internal Combustion Engine*) lebih pesat dari pada perkembangan kendaraan listrik. Pada tahun 1973 terjadilah krisis minyak yang pertama sehingga harga minyak dunia meningkat sangat tinggi dan kembali menyadarkan banyak pihak bahwa cadangan minyak akan habis dan butuh sumber daya energi lain yang terbarukan. Pada tahun 2008 Tesla motor memperkenalkan Tesla Roadster yang merupakan awal kebangkitan kendaraan listrik lagi.

Perkembangan kendaraan listrik amat tergantung pada kebijakan pemerintah di negara yang bersangkutan (Ye Ma, 2016) dan juga terkait beberapa aspek seperti:

- Lingkungan
  - Perubahan iklim
  - Pengurangan emisi gas buang
- Ekonomi
  - Fluktuasi harga bahan bakar fosil (minyak dan batu bara)
  - Cadangan bahan bakar fosil yang terus menipis
- Teknologi
  - Efisiensi yang lebih baik antara motor listrik dengan mesin konvensional
  - Ketahanan dan kekuatan dari motor listrik yang lebih baik dari mesin konvensional

### **2.1.1 Keunggulan dari Kendaraan Listrik**

Beberapa keunggulan dari kendaraan listrik di bandingkan dengan kendaraan dengan mesin konvensional adalah (Adolfo Perujo, 2011) (Z.S Gelmanova, 2018) (SN, 2013) (Boxwell, 2014):

- Tingkat kebisingan dari kendaraan listrik lebih rendah jika di bandingkan dengan mesin konvensional
- Kendaraan listrik tidak menghasilkan emisi gas buang (efek rumah kaca), apabila sumber pengisian battery diperoleh dari sumber energi terbarukan juga maka emisi gas buang CO<sub>2</sub> yang di hasilkan bisa diasumsikan menjadi tidak ada
- Motor listrik lebih sedikit membutuhkan perawatan dan lebih kuat dari sisi umur pemakaian
- Motor listrik mempunyai efisiensi di atas 95% di bandingkan dengan mesin konvensional yang memiliki efisiensi hanya 30-40%
- Motor listrik mempunyai karakteristik torsi yang konstan dari pertama kali dijalankan, sehingga akselerasi akan menjadi lebih baik
- Komponen kendaraan listrik lebih sederhana di bandingkan dengan mesin konvensional
- *Regenerative braking* dengan prinsip tidak ada energi yang hilang. Dalam pengereman energi kinetic akan di konversikan menjadi energi listrik sehingga dalam proses pengereman atau dalam keadaan jalan yang menurun motor listrik bisa menjadi generator.

### **2.1.2 Kelemahan dari Kendaraan Listrik**

Beberapa kekurangan dari kendaraan listrik (Erjavec, 2012) (S, 2017) (Adolfo Perujo, 2011) (Boxwell, 2014):

- Jarak tempuh yang masih belum terlalu jauh karena masih dibatasi oleh kapasitas penyimpanan energi (battery)
- Waktu pengisian battery yang masih bisa di optimal kan
- SPLU (Stasiun Penyedia Listrik Umum) yang masih jarang

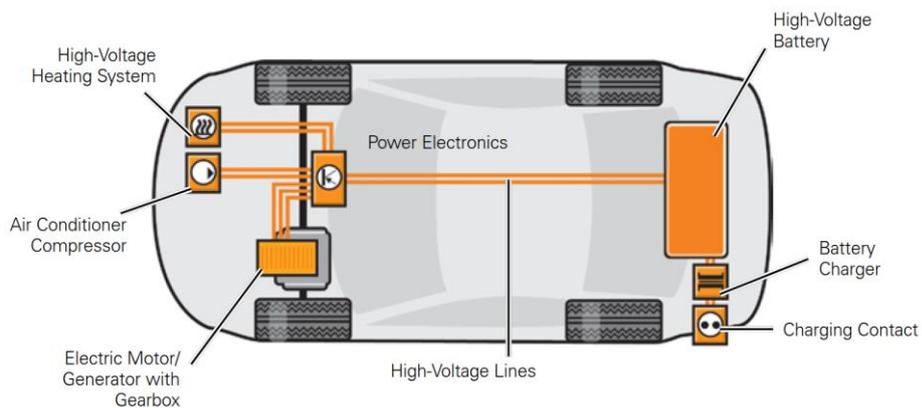
- Harga battery yang masih tinggi

### 2.1.3 Beberapa Tipe Kendaraan Listrik

Dari mulai awal perkembangan kendaraan listrik, sampai saat ini sudah ada beberapa jenis tipe kendaraan listrik yang ada. (Volkswagen Group Of America Inc, 2013)

- BEV (*Battery Electric Vehicle*), tipe kendaraan BEV ini hanya di gerakkan dengan motor listrik yang menggunakan energi battery dan memerlukan pengisian daya battery ulang dari sumber eksternal

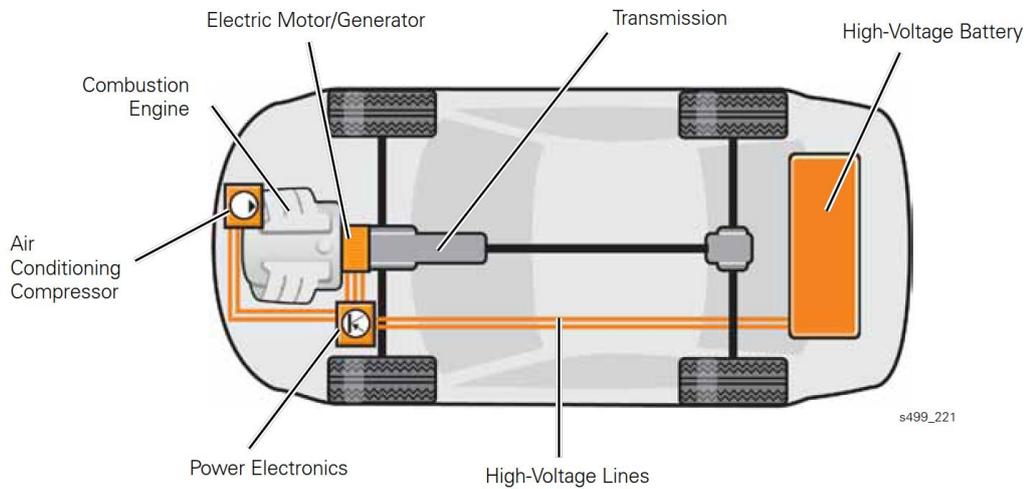
Design dari BEV adalah sebagai berikut



Gambar 2.1 Desain Kendaraan BEV (Battery Electric Vehicle) (Volkswagen Group Of America Inc, 2013)

- HEV (*Hybrid Electric Vehicle*), tipe kendaraan HEV ini masih memiliki mesin konvensional. Motor listrik yang ada digunakan untuk membantu mesin konvensional, sehingga konsumsi bahan bakau menjadi lebih efisien karena jarak tempuh makan jauh

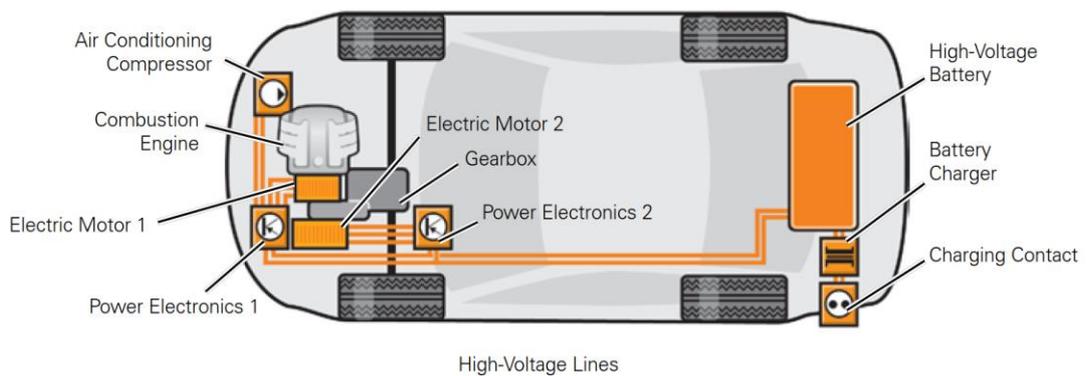
Design dari HEV adalah sebagai berikut



Gambar 2.2 Desain Kendaraan HEV (Hybrid Electric Vehicle) (Volkswagen Group Of America Inc, 2013)

- PHEV (Plug in Hybrid Electric Vehicle), tipe kendaraan ini sama dengan HEV tetapi mempunyai battery dan mempunyai fasilitas pengisian daya battery.

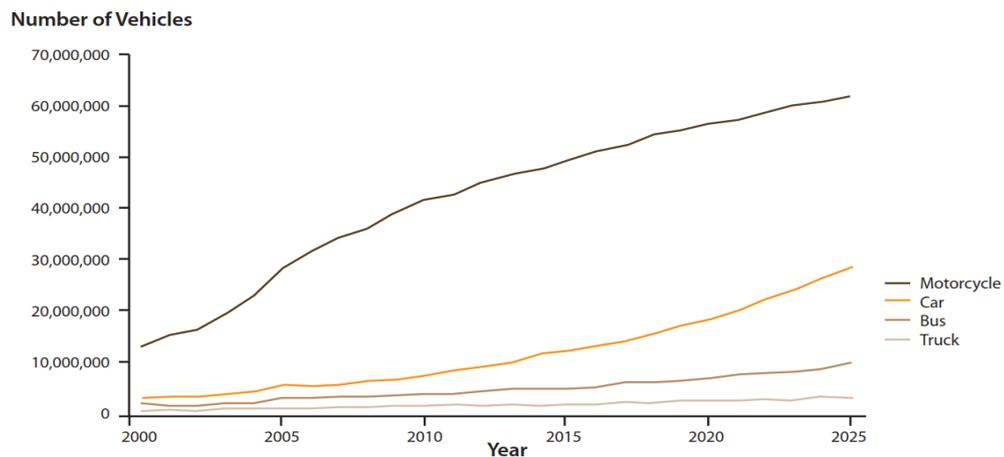
Design dari PHEV adalah sebagai berikut



Gambar 2.3 Desain Kendaraan PHEV (Hybrid Electric Vehicle) (Volkswagen Group Of America Inc, 2013)

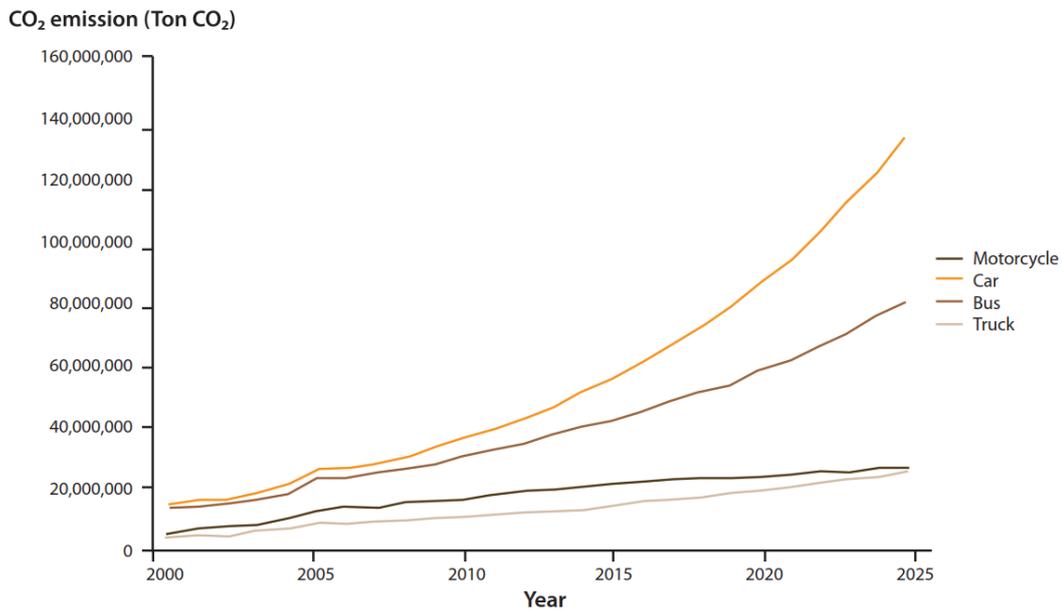
## 2.2 Emisi Gas Rumah Kaca (GRK)

Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa salah satu keuntungan dari penggunaan kendaraan listrik adalah tidak ada emisi gas buang yang dihasilkan (Grauers A, 2013). Transportasi penyumbang kedua terbesar emisi gas rumah kaca setelah sector industri dan juga sector pembangkitan energi listrik. Sumbangan terbesar emisi gas buang adalah pemakaian bahan bakar minyak (fosil). Pada saat yang bersamaan pemerintah Indonesia mulai memperhatikan emisi gas buang yang dipakai di Indonesia. Semua energi yang dipakai di bidang transport berasal dari minyak (bensin, solar dan avtur) dan sekitar 88% nya dihasilkan oleh moda transportasi darat (mobil, bus, sepeda motor dan kereta) (Dewan Energi Nasional, 2016) (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2012). Emisi yang dihasilkan dari sector moda transportasi darat di prediksi akan terus bertambah sampai tahun 2025 seperti terlihat pada gambar 2.4 dan 2.5

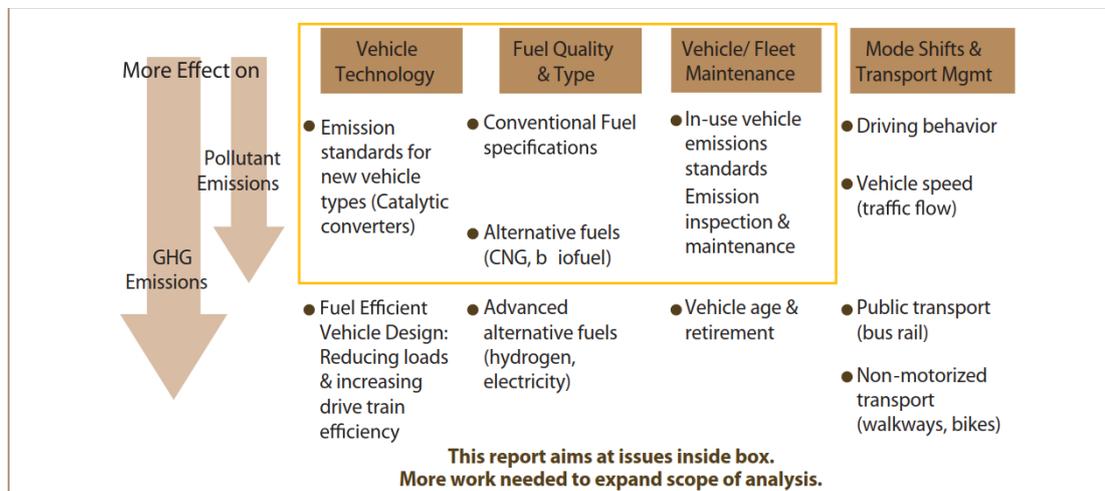


Gambar 2.4 Proyeksi Jumlah Kendaraan sampai Tahun 2025 (BPPT dan KLH, 2009)

Jika dilihat dari gambar 2.4 dan 2.5 dibutuhkan suatu usaha baik dari pemerintah (dengan menetapkan beberapa keringanan atau insentif bila menggunakan alat transportasi yang ramah lingkungan) maupun kalangan industri baik yang bersentuhan langsung seperti industri transportasi maupun yang tidak bersentuhan langsung dengan transportasi supaya emisi tidak meningkat setiap tahunnya.



Gambar 2.5 Proyeksi Jumlah Emisi CO2 Sampai Tahun 2025 (BPPT dan KLH, 2009)



Gambar 2.6 Rangkuman Usaha Pengurangan Emisi pada Bidang Transportasi (Khan Ribero, 2007)

Dari gambar 2.6 yang akan di bahas di thesis ini adalah bagian fuel quality and type untuk bagian *electric vehicle*

Sektor transportasi merupakan hal penting dalam menunjang operasional PT Vale Indonesia. Dari mulai kegiatan antar jemput karyawan yang bekerja selama

24 jam, pengangkutan biji nikel dari tempat pemrosesan menuju pelabuhan, proses pengangkutan material, dan proses kegiatan sehari-hari yang membutuhkan kendaraan bermotor. Sektor transportasi memiliki peranan utama dalam perubahan iklim dunia terutama semua kendaraan yang menggunakan bahan bakar fosil (Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2012) (Federico Millo, 2014). Emisi yang di hasilkan oleh kendaraan bermotor dengan menggunakan bahan bakar fosil memiliki kandungan yang bersifat mengganggu kualitas udara di lingkungan sekitar.

Emisi gas buang yang di hasilkan oleh kendaraan bermotor dapat diukur dengan beberapa metoda pendekatan yang berbeda (Kementrian Lingkungan Hidup, 2012):

- Emisi dalam gram per kendaraan per kilometer dari suatu perjalanan
- Tipe kendaraan, umur kendaraan, ambang temperature dan ketinggian
- Konsumsi bahan bakar dan tipe bahan bakar yang di gunakan

### **2.2.1 Kandungan Emisi Gas Buang**

Komposisi gas buang yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil adalah (SH, 2016) (Wardhana, 1995) (Sunu, 2001) (AJ, 1999)

- CO Carbon Monooksida

Gas CO adalah gas yang terbentuk akibat tidak sempurnanya pembakaran yang ada. Gas ini tidak berbau dan berwarna sehingga lingkungan yang sudah tercemar oleh gas CO tidak akan terlihat oleh mata. Kandungan normal gas ini adalah sekitar 10-15 ppm. Konsentrasi CO dalam udara menunjukkan perbandingan lurus dengan banyaknya kendaraan yang beroperasi di suatu area tertentu.

- Nitrogen Oksida

Gas ini terbentuk karena panas yang berlebih di ruang bakar sehingga nitrogen yang ada langsung berubah menjadi NOx. Gas yang sudah tercemar oleh NOx akan sangat berbahaya. Kelebihan

NOx akan menyebabkan bintik pada permukaan daun. Konsentrasi normal NO2 berkisar antara 50-100 ppm.

- HC (Hidro Karbon)

Gas yang terjadi karena proses pembakaran yang kurang sempurna di ruang bakar. Hidro karbon mempunyai 3 tingkatan sesuai dengan tingkat pencemaran yang di hasilkan. Untuk gas artinya kadar pencemaran masih ringan. Untuk kadar pencemaran mediuon Hidro karbon akan menjadi phase cair dan untuk pencemaran tingkat tinggi akan berubah menjadi padatan.

- CO2 (Carbon dioksida)

Gas ini terjadi akibat pembakaran yang sempurna antara bahan bakar dan udara. Prinsip dasarnya adalag  $CH+O_2 = CO_2+H_2O+panas$ . Pada kondisi normal mesin akan menghasilkan 12% volume sehingga makin besar kandungan CO2 semakin efisien mesin tersebut. Walaupun kandungan CO2 dijadikan sebagai indicator mesin yang baik, kelebihan konsentrasi CO2 akan membawa efek rumah kaca dan akan menaikkan temperature global.

- SO2

Gas yang terbentuk dari proses pembakaran konsentrasi normal gas ini adalah 6-12 ppm. Kelebihan gas SO2 akan mengakibatkan iritasi pada selaput lendir dan saluran pernapasan bagian atas

- PM10 (Partikulate Matter)

PM10 adalah debu partikulat yang di hasilkan dari emisi gas buang kendaraan. Sekitar 50-60% dari parikel yang melayang adalah debu. Debu ini sangat halus dan dapat dengan mudah dihirup masuk ke saluran pernapasan.

Perhitungan emisi CO2 di dapatkan dengan persamaan (Kementrian Lingkungan Hidup, 2012)

$$Emisi = \sum_a KonsumsiBB_a \times FaktorEmisi_a \dots\dots\dots (2.1)$$

Emisi : Emisi CO2

$KonsumsiBB_a$  : Bahan Bakar yang di konsumsi

$FaktorEmisi_a$  : Faktor Emisi CO2 menurut jenis bahan bakar (kkgas/TJ)

a : Jenis bahan bakar

Tabel 2.1 Faktor Emisi CO2 Sesuai dengan Bahan Bakar (*Kementerian Lingkungan Hidup, 2012*)

Fuel Type	Default (kg/TJ)	Lower	Upper
Motor Gasoline	69 300	67 500	73 000
Gas/ Diesel Oil	74 100	72 600	74 800
Liquefied Petroleum Gases	63 100	61 600	65 600
Kerosene	71 900	70 800	73 700
Compressed Natural Gas	56 100	54 300	58 300
Liquefied Natural Gas	56 100	54 300	58 300

Tabel 2.2 Faktor Emisi CO2, CH4, N2O Sesuai dengan Bahan Bakar (*Kementerian Lingkungan Hidup, 2012*)

Fuel	CO2			CH4			N2O		
	Default FE	Lower	Upper	Default FE	Lower	Upper	Default FE	Lower	Upper
Crude Oil	73300	71100	75500	3	1	10	0.6	0.2	2
NGL	64200	58300	70400	3	1	10	0.6	0.2	2
Premium	69300	67500	73000	3	1	10	0.6	0.2	2
Avgas	7000	67500	73000	3	1	10	0.6	0.2	2
Avtur	71500	69700	74400	3	1	10	0.6	0.2	2
Solar/ADO/HSD/IDO	74100	72600	74800	3	1	10	0.6	0.2	2
MFO	77400	75500	78800	3	1	10	0.6	0.2	2
LPG	63100	61600	65600	1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
Petroleum Coke	97500	82900	115000	3	1	10	0.6	0.2	2
Refinery Gas	57600	48200	69000	1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
Batubara antrasit	98 300	94600	101000	10	3	30	1.5	0.5	5
Batubara sub-bituminous	96 100	92800	100000	10	3	30	1.5	0.5	5
Lignite	101000	90900	115000	10	3	30	1.5	0.5	5
Gas bumi	56 100	54300	58300	1	0.3	3	0.1	0.03	0.3

NGL= Natural Gas Liquids atau Kondensat  
ADO= Automotive Diesel Oil (=Solar)  
HSD= High Speed Diesel (= Solar)  
IDO = Industrial Diesel Oil (=Minyak Diesel)  
MFO = Marine Fuel Oil

Tabel 2.3 Faktor Emisi untuk Perhitungan Metode Tier 1 (CORINAIR, 2009)

Pencemar	Premium	Solar
TSP (g/kg)	2.2	1.52
Nox (g/kg)	6.64	14.91
CO (g/kg)	497.7	7.4
HC (g/mile)	0.184	0.29
CO <sub>2</sub> (kg/TJ)	69,300	74,100
CH <sub>4</sub> (kg/TJ)	33	3.9
N <sub>2</sub> O (kg/TJ)	3.2	3

### 2.2.2 Faktor Yang Mempengaruhi Besarnya Emisi Gas Buang

Faktor faktor yang mempengaruhi besarnya nilai emisi gas buang di suatu daerah tertentu secara spesifik adalah (SH, 2016) (SH, 2013):

- Jumlah kendaraan

Jumlah kendaraan operasional PT Vale Indonesia yang sangat banyak dan bervariasi Akan meningkatkan jumlah emisi yang di hasilkan akibat pembakaran bahan bakar fosil. Saat ini PT Vale Indonesia mengoperasikan sekitar 800 unit kendaraan ringan dengan 25 bus penumpang dan 25 trailer untuk pengangkutan hasil biji nikel ke pelabuhan terdekat.

- Umur kendaraan

Umur kendaraan mempunyai efek yang sangat besar terhadap gas emisi yang di hasilkan oleh kendaraan bermotor. Semakin tua kendaraan yang dioperasikan makin besar juga emisi yang di hasilkan. Hal ini terjadi karena bagian komponen mesin yang digunakan dalam proses pembakaran sudah mengalami keausan dan juga banyak kotoran yang sudah menempel di saringan Udara. Untuk umur kendaraan PT Vale Indonesia mengakui ada sedikit keterlambatan perawatan kendaraan sehingga gas emisi yang dihasilkan akan lebih tinggi

- Kecepatan Kendaraan

Emisi gas buang yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor erat juga dengan kecepatan kendaraan tersebut. Kondisi berhenti dan berjalan juga

mempengaruhi emisi yang di hasilkan. Kondisi lalu lintas yang stabil akan mengurangi emisi yang di hasilkan. Untuk ranah kecepatan kendaraan yang di maksud PT Vale Indonesia sudah menerapkan batas kecepatan yang di ijinan sehingga sangat berpengaruh terhadap emisi

- Perawatan Kendaraan

Kadar gas berbahaya yang di hasilkan oleh pembakaran bahan bakar fosil pada kendaraan dapat di tekan dengan melakukan perawatan berkala pada mesin. Untuk masalah perawatan kendaraan PT Vale Indonesia telah menerapkan system perawatan yang sangat baik pada semua kendaraan operasional nya

- Kapasitas Mesin

Kapasitas mesin kendaraan merupakan factor utama dalam perhitungan emisi yang di hasilkan oleh kendaraan bermotor. Kapasitas mesin yang di pakai di PT Vale Indonesia bervariasi dari 2000CC sampai 4000 CC untuk kendaraan ringan. Untuk bus karyawan menggunakan mesin dengan kapasitas 6500CC dan untuk trailer menggunakan 12000CC.

- Jumlah bahan bakar

Jumlah bahan bakar yang dibutuhkan kendaraan erat hubungannya dengan kapasitas mesin yang di gunakan. Pola pengendaraan juga menjadi factor utama dalam kebutuhan bahan bakar yang di perlukan

- Jenis bahan bakar

Dalam thesis kali ini hanya 2 bahan bakar yang di pakai dalam operasional PT Vale Indonesia yaitu type premium non subsidi dan juga solar non subsidi. Seperti di ketahui meskipun berbeda tipe bahan bakar tapi emisi yang di hasilkan sama hanya berbeda proposinya.

### **2.3 Analisis Potensi Energi Matahari**

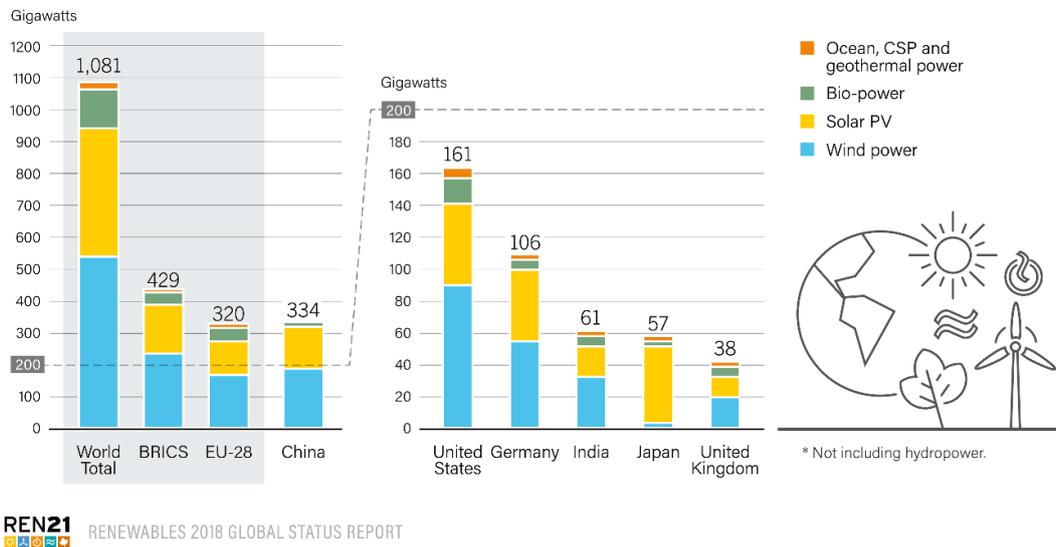
Matahari adalah sumber energi gratis yang berkelanjutan secara terus menerus untuk planet bumi (Ehsanul Kabir, 2017). Secara geografis negara negara yang berada di daerah garis khatulistiwa mendapatkan lama penyinaran matahari yang

konstan selama setahun. Dengan penyinaran yang konstan maka potensi pemanfaatan energi matahari sangat besar.

### 2.3.1 Karakteristik Energi Matahari

Penggunaan energi matahari secara umum adalah untuk pembangkit listrik sehingga satuan yang di gunakan adalah watt atau kilowatt per meter persegi. Secara teori energi dari matahari memiliki potensial untuk memenuhi semua kebutuhan energi untuk seluruh dunia jika teknologi untuk mengekstraksi energi surya sudah ada (Blaschke T, 2013). Hal ini sejalan dengan energi yang di dihasilkan di matahari sendiri sebesar  $3.6 \times 10^{26} W$  dengan menggunakan persamaan  $E = mc^2$ . Dengan karakteristik energi yang besar dan juga sifatnya yang gratis pemanfaatan energi surya masih sangat minim di bandingkan dengan beberapa energi terbarukan lainnya, negara-negara yang aktif menggunakan energi matahari seperti ditunjukkan dalam gambar 2.7 dan tabel 2.4 di bawah

Renewable Power Capacities in World, EU-28 and Top 6 Countries, 2017



REN21 RENEWABLES 2018 GLOBAL STATUS REPORT

Gambar 2.7 Kapasitas energi terbarukan dan 7 Negara pengguna energi terbarukan (REN21)

Tabel 2.4 Daftar Negara pengguna energi matahari (*REN21*)

World Ranking	Country Name	Total Capacity (MW) at 2015	Installed (MW) in 2015
1	China	43,180	15,130
2	Germany	39,553	1418
3	Japan	33,300	10,000
4	USA	27,400	7260
5	Italy	19,160	700
6	UK	8437	3109
7	Spain	6967	6946
8	France	6680	1020
9	Australia	5049	913
10	India	4680	2048

### 2.3.2 Pengukuran Radiasi Matahari

Secara umum, potensi energi matahari yang bisa di manfaatkan sangat bergantung pada intensitas radiasi sinar matahari yang masuk ke suatu daerah. Intensitas tersebut dipengaruhi oleh kondisi atmosfer bumi, sehingga kemungkinan untuk perbedaan hasil pengukuran di tempat yang sama sangat besar (IPPC, 2011).

Parameter utama yang mempengaruhi besarnya radiasi sinar matahari ke bumi dapat di bagi menjadi 4 kelompok (The World Bank, 2017):

- Parameter yang berhubungan dengan rotasi bumi
- Kondisi atmosfer pada suatu saat
  - Kandungan Gas, molekul air dan ozone
  - Partikel padat dan air dalam atmosfer dan uap air
  - Awan
- *Topography*
- Objek penghalang dari tempat pengukuran (gedung, pohon)

Untuk mendapatkan potensi optimum dari energi matahari nilai radiasi dari energi matahari harus dapat dipetakan dan di rangkum data yang di hasilkan selama satu tahun. Radiasi sinar matahari mempunyai istilah *GHI (Global Horizontal Irradiance)*, yang terdiri dari *DHI (Diffuse Horizontal Irradiance)* yang berasal dari langit dan *DNI (Dirrect Normal Irradiance)* yang berasal dari matahari. *GHI* diukur secara horizontal dengan menggunakan pyranometer, sedangkan *DNI* diukur

dengan menggunakan pyrhelimeter dan DHI diukur dengan menggunakan pyranometer (Manajit Sengupta, 2017). Gabungan ketiga alat ukur tersebut yang di butuhkan untuk membuat stasiun pengukuran energi matahari. Selain pengukuran dengan sensor yang di tempatkan di daratan, pengukuran radiasi sinar matahari juga bisa dilakukan dengan satelit yang memang khusus di gunakan untuk mengukur radiasi sinar matahari. Dengan penggabungan keduanya diharapkan data radiasi sinar matahari menjadi lebih akurat (Marco Ernst, 2016).

Untuk potensi GHI di Indonesia di bagi menjadi 2 wilayah (Lubis, 2007)

- Kawasan Indonesia Barat dengan besaran sekitar  $4.5kWh / m^2$  dengan variasi bulanan sebesar 10%
- Kawasan Indonesia Timur dengan besaran sekitar  $5.1kWh / m^2$  dengan variasi bulanan sebesar 9%

Dari data di atas dengan hanya variasi bulanan 10% maka sepanjang tahun baik wilayah barat atau timur Indonesia mendapatkan radiasi matahari yang merata.

### 2.3.3 Perhitungan Radiasi Matahari

Radiasi sinar matahari di suatu lokasi dapat di tentukan dengan persamaan (Chikh, 2012)

$$G_t = G_b + G_d + G_r \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan

$G_t$  = Radiasi Total

$G_b$  = Radiasi direct beam

$G_d$  = Radiasi diffused

$G_r$  = Radiasi refleksi

**Persamaan umum untuk menentukan radiasi direct beam** (Chikh, 2012)

$$G_{bc} = G_b \times \cos \theta \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan

$G_{bc}$  = Solar radiation pada collector dengan kemiringan tertentu terhadap Horizontal

$G_b$  = Solar radiation yang datang tegak lurus terhadap collector

$\cos \theta$  = sudut datang antara solar radiation dan garis tegak lurus collector

Solar radiation  $G_b$  dapat di cari dengan menggunakan persamaan

$$G_b = G_o \times K_T \dots\dots\dots (2.4)$$

$G_o$  = Solar constant, nilai irradiasi extra terestrial di atmosphere pada jarak rata-rata bumi ke matahari = 1,367 W/ m<sup>2</sup> Nilai tersebut berdasarkan rekomendasi dari *World Radiometric Center (WRC)* dan sudah di pakai di beberapa penelitian di spanyol (Almorox J, 2004) dan di negara Mesir (SM, 2009)

Nilai  $G_o$  dapat dihitung secara lebih detail dengan mempertimbangkan orbit bumi yang ellipse dengan variasi jarak ke matahari 3.3%. Menjadi

$$G_o = G_o (1 + 0.033 \sin (360^\circ n/365)) \dots\dots\dots (2.5)$$

n = urutan hari dalam 1 tahun

$K_T$  = Clearness index, yang dipengaruhi kondisi cuaca di udara.  $K_T = 1$  untuk clear day, dan 0 untuk kondisi tertutup awal total.

$$G_b = 1,367 (1+0.033 \sin (360^\circ n/365)) \times K_T \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\cos \theta = (A-B) \sin \delta + [ C \sin \omega + (D+E) \cos \omega ] \cos \delta \dots\dots\dots (2.7)$$

Dengan :

$$\delta = \delta_0 \sin (360(284+n)/1)$$

$$\omega = 15^\circ (tzone - 12) + (\psi - \psi zone)$$

$$A = \sin \phi \cos \beta$$

$$B = \cos \phi \sin \beta \cos \gamma$$

$$C = \sin \beta \sin \gamma$$

$$D = \cos \phi \cos \beta$$

$$E = \sin \phi \sin \beta \cos \gamma$$

Untuk definisi symbol:

$\delta$  = sudut deklinasi bumi terhadap matahari

$\delta_0$  = sudut deklinasi max/min bumi terhadap matahari = 23.45o

$\omega$  = hour angle, sudut yang telah dilewati bumi setelah solar noon

tzzone = waktu zona meridian lokal

$\psi$  = sudut longitudinal (bujur)

$\psi_{zone}$  = sudut longitudinal tempat tzzone berimpit dengan solar noon (acuan tzzone)

$\phi$  = latitude (lintang)

$\beta$  = sudut antara bidang solar collector dengan horizontal

$\gamma$  = sudut antara proyeksi solar beam terhadap garis lintang

Persamaan umum untuk menentukan *Diffused Irradiation* ( $G_d$ )

$$G_d = 1.45 - 1.67 K_T G_0 \left( 1 + 0.033 \sin \left( \frac{360n}{365} \right) \right) [\cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta] \quad (2.8)$$

$$G_{dc} = G_d * \cos \theta \dots\dots\dots (2.9)$$

## 2.4 Pemanfaatan Energi Radiasi Matahari

Radiasi sinar matahari yang sampai ke permukaan bumi dapat dikonversi menjadi sumber energi dengan berbagai cara (Guney, 2016):

- Panel surya (PV) sistem
- CSP (Concentrating Solar Power)
  - Konsentrator linier
  - Kaca Parabolik
  - Menara konsentrasi
- Sistem Penyimpanan panas

- *Two tank direct system*
- *Two tank indirect system*
- *Single tank thermocline syatem*
- *Thermal storage system with phase change material*

#### 2.4.1 Perkembangan Teknologi Photovoltaic

Untuk menghasilkan energi listrik hanya di kenal dengan 2 motode, yang pertama ditemukan oleh Michael Faraday pada tahun 1821 dan digunakan secara umum pada tahun 1885 yang membutuhkan gerakan dari medan magnet didalam sebuah konduktor. Yang kedua adalah panel surya yang tidak membutuhkan bagian yang berputar. Metode kedua ini bisa menghasilkan listrik dengan radiasi elektromagnetik seperti cahaya. Efek photovoltaic di temukan oleh Becquerel di tahun 1839, namum penggunaan nya di mulai pada tahun 1954 oleh Chapin Fuller dan Pearson dengan menggunakan silicon semikonduktor (A Luque, 2003).

Ketika sinar matahari mengenai sel panel surya, energi dari sinar matahari akan menabrak electron dan proton. Electron akan bergerak ke kutub negative dan proton akan bergerak ke kutub positif dan akan menghasilkan beda tegangan sehingga aliran listrik terjadi (GC Piciu, 2014).

Ada 3 jenis silicon yang di pakai sebagai bahan utama untuk pembuatan panel surya, crystalline silicon, polycrystalline silicon dan amorphous silicon dengan efisiensi konversi seperti tabel 2.5 di bawah

Tabel 2.5 Efisiensi masing-masing material silicon (*Bostan I, 2013*)

Solar cell material	Crystalline silicon	Polycrystalline silicon	Amorphous silicon
Power conversion efficiency %	15-22	14-15	7-10

Panel surya yang mulai di kembangkan pada tahun 1954 sudah mengalami perkembangan yang sangat cepat. Terhitung sudah masuk generasi ketiga dalam perkembangan teknologi PV. Generasi pertama Gallium arsenide

(GaAs) dan crystalline silicon (cSi) seperti multicrystalline (Multi-Si) dan monocrystalline (mono-Si) silicon. Generasi kedua (*thin films*) amorpheous silicon (a-Si) dan CdTe dan generasi terakhir dari panel surya adalah *dye-sensitized*, organic dan *multi-junction*) (Y Du, 2016).

Generasi pertama dan kedua dari teknologi panel surya ini sudah banyak digunakan dalam pembangkitan listrik. Di china C-Si digunakan di pembangkit listrik Longyangxia dengan kapasitas 520MW<sub>DC</sub> dan Germud dengan kapasitas 500 MW<sub>DC/AC</sub>. Di Amerika Serikat CdTe digunakan di Agua Caliente 290MW<sub>AC</sub> dan San Luis Obispo 550 MW<sub>AC</sub>. Dan di Thailand *thin film* digunakan di Lobpuri dengan kapasitas 85MW<sub>DC</sub> (Komoto, 2015)

Berbagai penelitian yang dilakukan dalam rangka pemanfaatan energi matahari di beberapa daerah. Penelitian paling banyak dilakukan di kawasan timur tengah karena secara geografis kawasan timur tengah terkenal dengan intensitas penyinaran matahari dan juga temperature nya. Pada tahun 1998 dilakukan studi di Saudi Arabia untuk melihat pengaruh temperature terhadap performance dari panel surya (Al harbi, 1998). Di UAE dilakukan penelitian tentang *roof top* solar panel dan secara perhitungan ekonomi dapat di implementasikan (S Griffiths, 2016). Di Australia (A Nicholls, 2015) meneliti *life cycle* pada *roof top PV* panel dan estimasi kembalinya modal investasi sesuai dengan regional di negara Australia. Di Cyprus (G Markrides, 2012) melakukan beberapa percobaan panel surya yang ada di pasaran selama beberapa tahun, dan diperoleh hasil bahwa *thin film* lebih tahan terhadap perubahan temperature.

Pekembangan selanjutnya dari teknologi panel surya adalah dengan menggunakan *tracker*. Penggunaan *tracker* ini fungsikan untuk menaikkan kemampuan dari panel surya karena akan mengikuti arah datang nya sinar matahari. Perkembangan dari *tracker* ini selanjutnya pada system controller untuk mengarahkan panel surya. Dengan menggunakan algoritma pengaturan pengembangan dari PSO ditambahkan dengan metode fuzzy akan didapatkan peningkatan 60% efisiensi dibandingkan tanpa menggunakan *tracker* (Imam Abadi, 2015)

## 2.4.2 Efisiensi Panel Surya

Ekstraksi energi dari radiasi sinar matahari masih belum sepenuhnya optimal, disamping karena banyaknya factor eksternal yang mempengaruhi intensitas radiasi yang bisa di tangkap oleh panel surya. Selain itu masih ada masalah rendahnya efisiensi konversi energi radiasi sinar matahari menjadi energi listrik dan yang terakhir efisiensi dari kemampuan panel surya menangkap radiasi sinar matahari.

Faktor faktor yang mempengaruhi efisiensi dari panel surya adalah sebagai berikut (Monzur Alam Imteaz, 2018) (D Thakur, 2016) (AA Parmar, 2015):

- Temperatur permukaan panel surya.  
Panel surya sensitive terhadap perubahan temperature. Dengan meningkatnya suhu pada permukaan panel surya maka efisiensi panel surya semakin menurun. (A Malik, 2010) Menyatakan bahwa efisiensi panel surya turun 4.5% saat temperature permukaan panel surya mencapai 40-61 derajat Celcius pada saat pengetesan di dalam ruangan.
- Kelembapan Udara  
Beberapa penelitian yang meneliti pengaruh kelembapan udara terhadap efisiensi dari panel surya menunjukkan adanya pengurangan efisiensi panel surya. Pada penelitian (MA Ramli, 2016) menunjukkan 43% rugi keluaran power panel surya diakibatkan tingginya kelembapan udara di kota Surabaya, Indonesia. Hal yang sama juga terjadi di pulau Crete Yunani, dimana selama musim panas dengan curah hujan tinggi, rugi keluaran panel surya mencapai 5% (E Kymakis, 2009)
- Banyaknya partikel debu di atas panel surya  
Angin menjadi sumber pendingin alami dari panel surya, sesuai dengan karakteristiknya angin akan mendinginkan panel surya sehingga efisiensi panel akan meningkat (S Mekhilef, 2012). Tetapi angin juga bisa membawa partikel debu yang jika terakumulasi di permukaan panel surya justru akan menurunkan effisiensinya (D Goossens, 1999).

## 2.4.3 Jenis Interkoneksi dari Panel Surya ke Sistem Jaringan Listrik

Pemanfaatan energi radiasi sinar matahari dengan menggunakan panel surya paling umum adalah untuk menghasilkan energi listrik. Beberapa konfigurasi untuk memanfaatkan energi listrik tersebut adalah: *Off grid solar system (OGSS)*, *Grid tie solar system (GTSS)* atau sering juga disebut *on Grid solar system* dan yang terakhir adalah gabungan dari OGSS dan GTSS.

Pada OGSS atau *stand alone PV System*, panel surya tidak terkoneksi ke dalam system listrik yang ada. Biasanya digunakan untuk melayani kebutuhan energi sendiri pada sector rumah tangga. Kelebihan energi yang dihasilkan dalam system ini akan di simpan dalam battery (IRENA, 2015).

Sistem GTSS biasanya dipakai di sector industri. Dalam system GTSS energi matahari dijadikan sumber energi utama kelebihan nya akan di masukkan dalam system listrik yang ada. Untuk sector industri kebutuhan energi pada siang hari sangat tinggi dan akan rendah pada malam hari. Sehingga tambahan daya yang di hasilkan dari panel surya diharapkan bisa memenuhi kebutuhan operasional di siang hari (M Gohul, 2011).

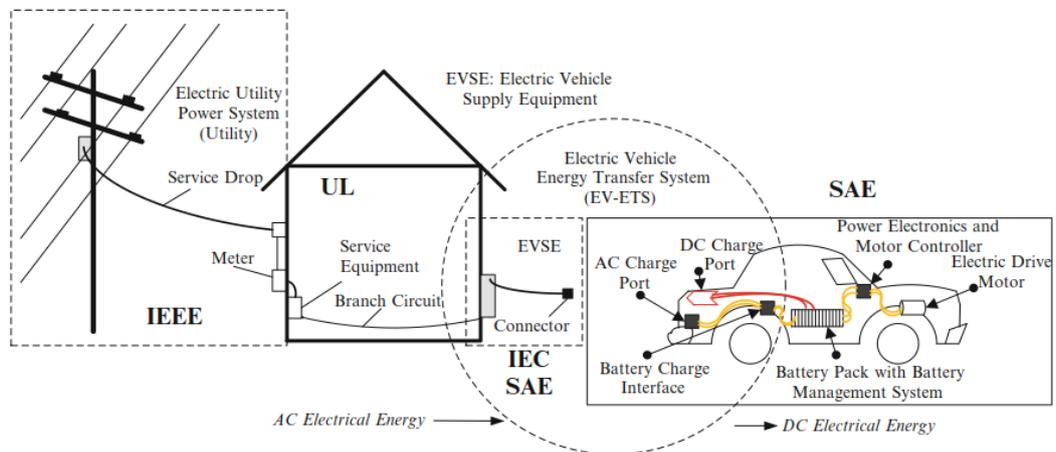
Sistem yang terakhir adalah gabungan dari keduanya. Sumber energi utama adalah panel surya dengan kelebihan energi akan disimpan dalam battery dan setelah battery terisi penuh, energi akan di berikan ke jaringan listrik (AS Ingole, 2015)

## **2.5 Metode dan Skema Pengisian Battery**

Keberhasilan penerapan kendaraan listrik sangat bergantung dari metoda dan ketersediaan stasiun pengisian battery. Pilihan pertama untuk penempatan stasiun pengisian battery adalah di rumah dan di tempat kerja, setelah itu baru di tentukan tempat-tempat yang berpotensi lain nya seperti di *pool* kendaraan, di tempat perbaikan kendaraan dan tempat yang sering dilewati oleh kendaraan yang rencananya akan di konversi energi nya. Ada beberapa standard internasional yang berlaku dalam pengisian battery seperti pada tabel 2.6

Tabel 2.6 Standart Internasional untuk Pengisian Battery (*Kwo Young, 2013*)

Standard	Title/description
National Electric Code Article 625	Electric Vehicle Charging System
SAE J2293	Energy Transfer System for Electric Vehicles
SAE J2836	Recommended Practice for Communication between Plug-in Vehicles and Utility Grid
SAE J1772	Electric Vehicle Conductive Charge Coupler
SAE J1773	Electric Vehicle Inductively Coupled Charging
IEC 62196	Plugs, socket outlets, vehicle couplers and vehicle inlets— Conductive charging of electric vehicles
IEEE 1547.3	Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems



Gambar 2.8 Skema Pengisian Daya Battery Kendaraan Listrik (*Pokrzywa, 2010*)

Berdasarkan standar SAE J1772 ada 3 level dalam pengisian battery yang menjadi standard:

- Level I (1.5 – 3 kW)
- Level II (10-20 kW)
- Level III ( 40 kW – Up)

Level I dapat di lakukan di rumah karena masih masuk dalam daya rata2 yang ada di perumahan. Level II dan Level III lebih ke arah areal industri karena kebutuhan daya yang sangat besar. Level II dan III juga di kenal dengan metode pengisian daya cepat. Kecepatan dalam pengisian daya battery ini akan menjadi salah satu dasar pemikiran yang utama dalam menentukan konversi energi.

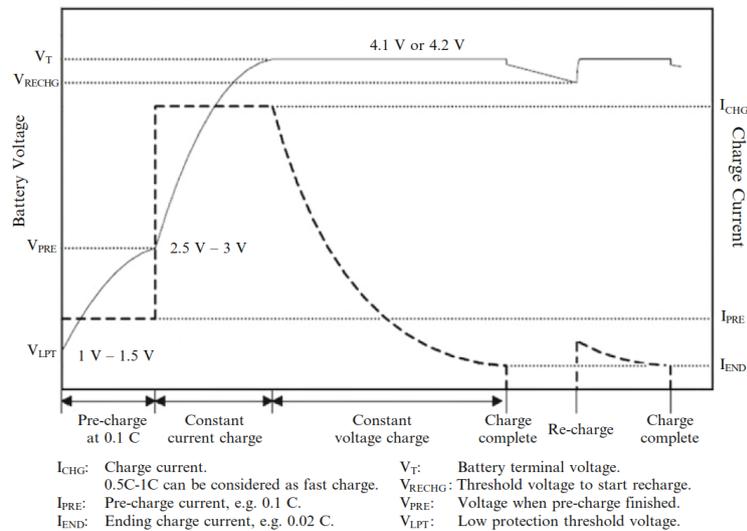
Karena kebutuhan operasional harus di imbangi dengan ketersediaan kendaraan listrik yang siap di pakai.

Skematik pengisian battery di bagi menjadi 4 klasifikasi (Michael Brylawski, 2008)

- V0G, merupakan skematik paling konvensional. Hanya plug in ke sumber daya dan pengisian battery di lakukan seperti pada pengisian battery yang lain
- V1G, disebut juga sebagai *smart charging*. Skematik ini memungkinkan sumber daya pengisian berkomunikasi dengan kendaraan listrik khusus nya untuk pengaturan tagangan dan seberapa besar daya yang dibutuhkan untuk pengisian daya battery
- V2G, merupakan skematik yang paling canggih dibandingkan dengan V0G dan V1G. Skematik V2G memungkinkan battery pada kendaran listrik justru memberikan daya pada sumber daya pengisian battery (2 arah).
- V2B, sama dengan V2G hanya V2B hanya sampai pada gedung tempat pengisian daya itu berada.

Untuk kendaraan listrik ada beberapa metode yang biasa di gunakan. Ada 3 metode yang sangat umum seperti yang tercermin pada gambar 2.9

- Tegangan konstan. Jenis pengisian battery tipe ini selalu menggunakan tegan yang sama dari mulai sampai battery sudah mencapai kapasitas 100% nya. Metode ini merupakan metode yang paling sederhana tapi membutuhkan daya yang sangat besar.
- Arus konstan. Jenis pengisian battery tipe ini menggunakan arus yang sama dengan pengaturan tegangan. Kesulitan dari tipe ini adalah menentukan apakah proses pengisian bettery sudah selesai dengan melihat  $SOC = 100\%$
- Kombinasi antara tegangan konstan dan arus konstan.



Gambar 2.9 Profile Pengisian Battery Lithium (Dhameja, 2002)

## 2.6 Aspek Financial Penggantian Energi Fosil ke Energi Listrik

Penggantian energi fosil menjadi energi listrik tidak dapat terlepas dari aspek ekonomis. Aspek kelayakan ekonomis akan urut menentukan apakah proyek ini dapat dilakukan atau tidak.

Untuk dapat mengestimasi arus kas operasional dari sebuah proyek, terdapat beberapa parameter yang diperlukan yaitu:

- A. Nilai investasi awal
- B. Biaya operasi
- C. Pajak

Untuk memulai konversi energi ini harus dimasukkan 3 kategori biaya yaitu (Jens Hagman, 2016):

1. Biaya Investasi

Disebut juga biaya kapital, biaya ini merupakan biaya yang diperlukan pada awal proyek. Termasuk didalamnya biaya pembelian mobil, bus dan kendaraan berat yang menggunakan motor listrik

2. Biaya Produksi

Merupakan biaya yang timbul selama sistem berada dalam kondisi berproduksi normal. Termasuk di dalamnya biaya pengadaan material, upah karyawan, pembayaran pajak dan asuransi, biaya sewa lahan, dan biaya akses (*access fee*) jika sistem terhubung ke jaringan (*on grid*).

### 3. Biaya Operasi & Maintenance (O&M)

Biaya ini mencakup semua elemen yang dibutuhkan untuk memelihara asset yang sudah di beli. Pemeliharaan dapat menggunakan metode *preventive maintenance* atau perbaikan setelah kerusakan.

### 4. Biaya Pembiayaan (*financial costs*)

Kategori biaya ini meliputi semua pengeluaran finansial yang timbul karena transaksi keuangan selama masa hidup proyek. Elemen paling penting dalam kategori ini adalah biaya bunga yang harus dibayar kepada pemberi pinjaman.

## 2.6.1 Pemodelan Ekonomis

Salah satu metode untuk melakukan evaluasi potensi investasi adalah dengan melakukan analisa nilai saat ini (*present values*) dari semua biaya investasi awal, arus pendapatan (*revenues*) dan arus pengeluaran (*expenditure*) dimasa depan.

Ada beberapa pendekatan analisis yang dilakukan menggunakan metode ini, diantaranya adalah analisis *Total Cost of Ownership* (TCO) dan analisis *Net Present Value* (NPV). Kedua analisis ini berusaha mengestimasi dan menganalisis nilai biaya investasi awal, biaya selama beroperasi, dan biaya pelepasan (*post ownership cost*) yang diperlukan oleh perusahaan. Sebagai tambahan, analisis NPV turut memperhitungkan arus kas masuk (*cash inflows*). Kedua analisis ini memerlukan informasi masa pakai aset (*life time/holding periode of asset*).

Secara filosofi NPV hampir sama dengan TCO, hanya saja pada NPV turut diperhitungkan adanya arus pendapatan (*inflow*) sehingga diperoleh arus kas bersih (*net cashflow*) yang semuanya diproyeksikan ke nilai saat ini.

Persamaan untuk NPV adalah sebagai berikut (Jens Hagman, 2016)

$$NPV = \sum_{t=0}^n \left( \frac{(Ci_t - Co_t)}{(1+r)^t} \right) \quad (2.10)$$

$Ci$  : arus kas masuk (*Cash inflow*)

$Co$  : arus kan keluar (*Cash outflow*)

$r$  : suku bunga diskonto (*discount rate*)

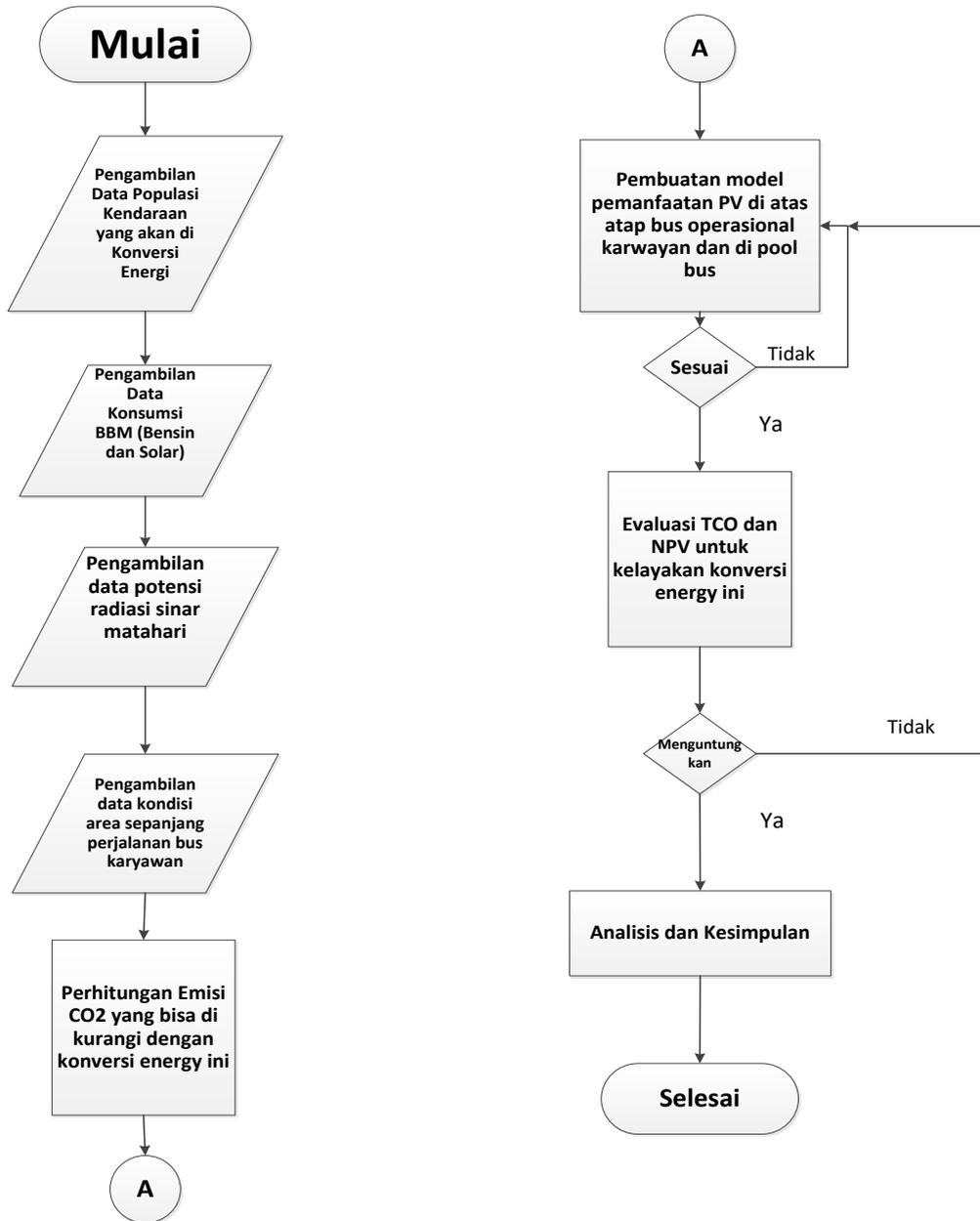
$t$  : periode tahun ke-t

$n$  : masa pakai aset (*lifetime*)

*Halaman ini memang dikosongkan*

## BAB 3 METODOLOGI

### 3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

## 3.2 Pengambilan Data

Data yang akan dikumpulkan berupa

- Konsumsi pemakaian bahan bakar dari stasiun pengisian bahan bakar
- Data radiasi sinar matahari
- Kondisi areal untuk potensi penempatan panel surya

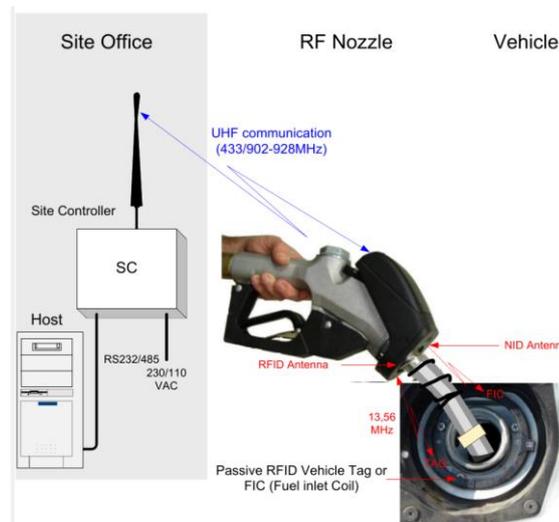
### 3.2.1 Konsumsi pemakaian bahan bakar dari stasiun pengisian bahan bakar

PT Vale Indonesia mempunyai 1 stasiun pengisian bahan bakar dengan 4 dispenser masing masing 2 untuk bahan bakar premium dan 2 untuk bahan bakar solar. Pada awalnya pencatatan konsumsi bahan bakar bersifat manual dengan ditempatkan nya 2 petugas untuk mencatat volume yang di keluarkan oleh dispenser tersebut. Seiring dengan berkembangnya technology dan untuk mendapatkan PROPER hijau pada tahun 2015 Q4 system pencatatan manual yang sangat rentan ketepatan datanya di ganti dengan menggunakan system pencatatan otomatis. Peralatan yang digunakan untuk melakukan pencatatan pemakaian bahan bakar adalah dengan menambahkan RFID ring di setiap mulut tangki bahan bakar dengan mendaftarkan RFID tersebut ke dalam data base seperti pada gambar 3.2. Dengan menggunakan system RFID maka pencatatan konsumsi bahan bakar di lakukan



Gambar 3.2 RFID Ring Tag

secara otomatis sesuai dengan skema system pada gambar 3.3



Gambar 3.3 System Pencatatan Otomatis Pemakaian Bahan Bakar Minyak

### 3.2.2 Potensi Radiasi Sinar Matahari

Untuk mengetahui potensi radiasi sinar matahari yang akan diubah menjadi energi listrik diperlukan alat solar power meter seperti pada gambar 3.4. Alat ini akan membaca intensitas radiasi sinar matahari di suatu area dengan satuan  $W/m^2$ . Dengan melakukan pengukuran dengan interval waktu maka akan di peroleh potensi energi listrik yang bisa di bangkitkan.



Gambar 3.4 Solar Power Meter

### 3.2.3 Kondisi Areal Potensi Penempatal Panel Surya dan Rute perjalanan Bus Karyawan

Seperti yang dibahas pada bab sebelum nya beberapa hal yang mempengaruhi besarnya sinar radiasi yang akan di tangkap panel surya, salah

satunya adalah bayangan yang akan menutupi panel surya. Untuk memastikan areal penempatan panel surya memiliki langit yang tidak terhalang dan juga untuk melihat kondisi jalan yang di tempuh bus karyawan diperlukan alat bantu yang bisa melihat areal yang lebih luas dan dari ketinggian. Alat bantu yang di gunakan dalam penelitian kali ini adalah *drone* dengan spesifikasi seperti pada gambar 3.5



Gambar 3.5 Photo Drone

### 3.3 Analisis Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca

Subjek penelitian adalah meneliti dampak konversi dari ICE menjadi electric powerd bus dari sisi emisi gas rumah kaca yang bisa di kurangi. Maka data utama yang dibutuhkan meliputi jumlah bus yang akan di konversi, volume solar yang di keluarkan oleh stasiun pengisian bahan bakar. Untuk validasi volume solar yang digunakan bisa di diskusi kan dengan team yang khusus menangani *fuel management*. Setelah data data utama berhasil di kumpulkan maka berdasarkan studi pustaka dari referensi di dapatkan factor emisi dari solar dan premium yang akan digunakan untuk menghitung besarnya emisi yang akan di hasilkan. Analisa lebih lanjut untuk pengurangan emisi ini akan dilihat selama 3 tahun apakah emisi yang naik atau turun karena pengaruh daya tempuh kendaraan yang berbeda, penambahan jumlah kendaraan atau pengaruh dari efisiensi bus yang makin menurun dari tahun ke tahun.

### **3.4 Analisis Penambahan PV Pada Atap Bus Karyawan atau Pada Tempat *Pool* Bus Karyawan**

Untuk meneliti penambahan panel surya baik di atas atap bus maupun di tempat *pool* bus karyawan dibutuhkan beberapa data utama seperti potensi radiasi sinar matahari di tempat yang akan di pasang panel surya. Data radiasi sinar matahari bisa di dapatkan dari perhitungan matematis, data satelit yang tersedia secara online dan juga dari hasil pengukuran manual untuk validasi. Setelah data tersebut bisa di validasi maka akan di buat model dengan bantuan perangkat lunak *PVsyst* energi yang bisa di hasilkan dari panel surya yang akan digunakan untuk pengisian battery bus listrik (panel surya yang di letakkakn di *pool* bus) dan yang langsung digunakan untuk energi bus listrik (panel surya yang di letakkan di atas roof. Sehingga hasil nya nanti akan menentukan apakah pemanfaatan panel surya diatas atap bus apakah bisa memenuhi kebutuhan energi operasional bus itu atau hanya beberapa persen. Sedangkan untuk penambahan panel surya di *pool* bus apakah bisa digunakan untuk mengisi daya bus secara independen atau masih membutuhkan koneksi jaringan listrik.

### **3.5 Analisis Kelayakan Ekonomis**

Setiap skenario yang secara teknis memungkinkan untuk diterapkan, kemudian dianalisis secara ekonomis. Disini metode NPV digunakan, menyesuaikan dengan kondisi skenario yang ada. Hasil akhir dari keseluruhan proses analisis dapat dilihat skenario apa saja yang secara teknis mungkin untuk dilakukan dan secara ekonomis memberikan nilai (value) yang paling besar/menguntungkan untuk PT. Vale Indonesia.

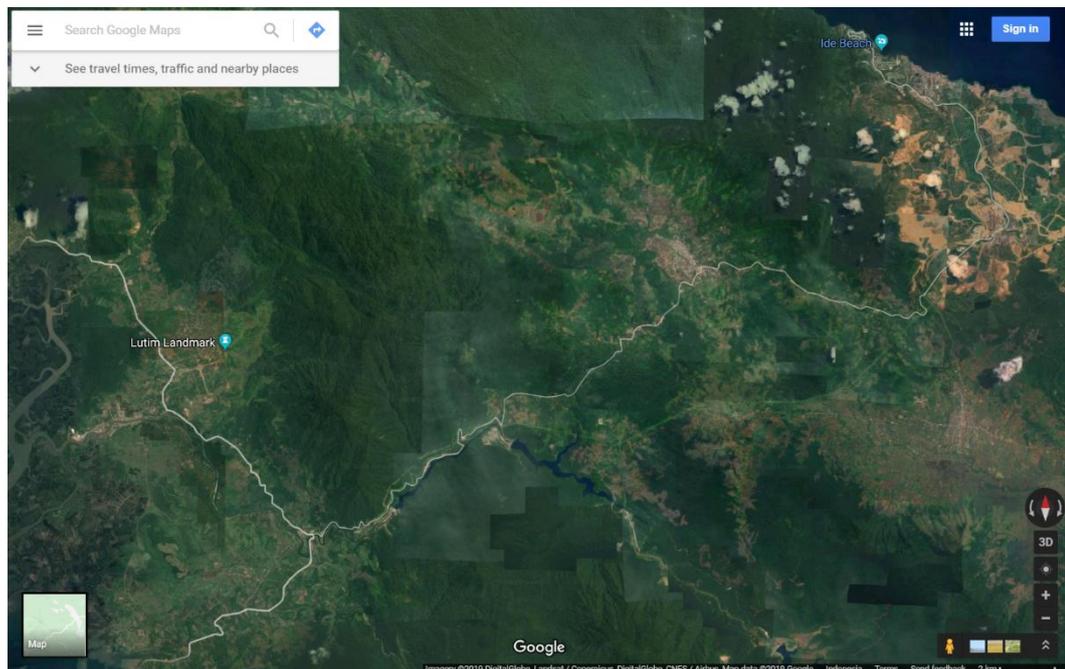
*Halaman ini memang dikosongkan*

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Area Kerja PT Vale Indonesia

Lokasi cakupan operasional kendaraan yang di gunakan sebagai penunjang operasional PT Vale Indonesia. Gambar 4.1 menunjukkan peta luasan area operasional PT Vale Indonesia mulai dari perumahan karyawan, area pengolahan biji nikel, area pertambangan sampai area pelabuhan.



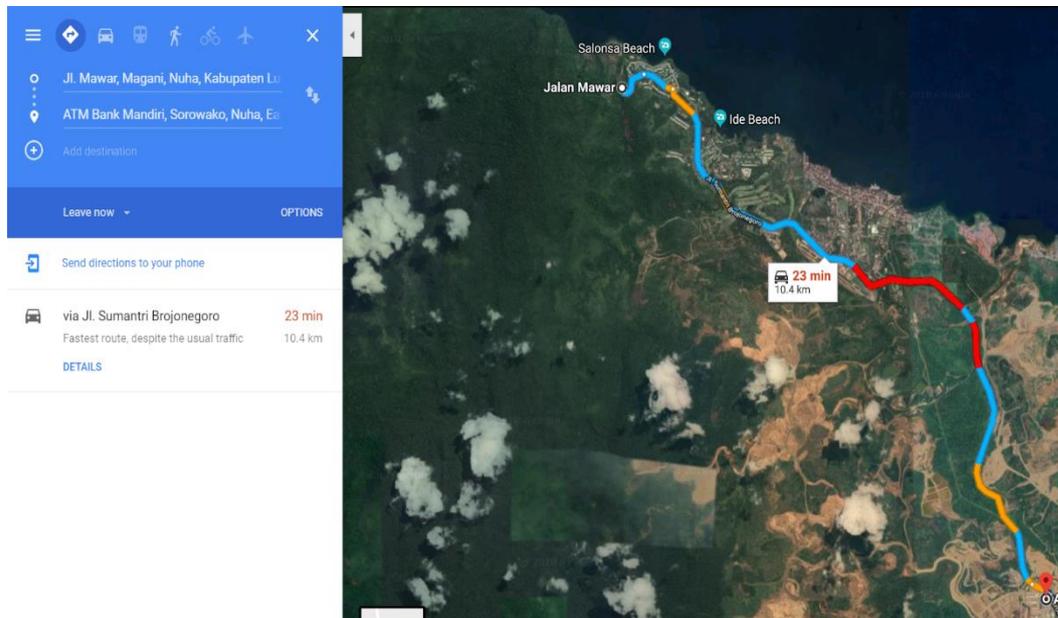
Gambar 4.1 Area Cakupan Operasional PT Vale Indonesia

Dalam 1 kabupaten Luwu Timur, area cakupan pemberdayaan PT Vale Indonesia dibagi menjadi 4 wilayah yaitu Sorowako, Wawondula, Wasuponda dan Malili.

##### 4.1.1 Jarak Tempuh Perjalanan Bus Karyawan dan Sekolah

Dengan komitmen dari perusahaan untuk memberdayakan ke empat wilayah tersebut mengharuskan bus karyawan juga mencapai ke empat daerah

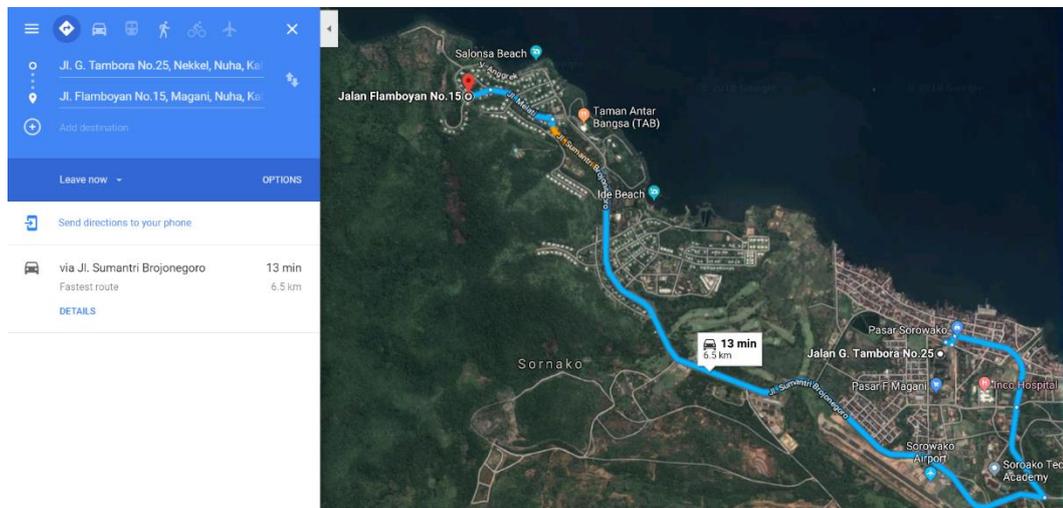
tersebut. Jarak masing masing wilayah ke plant site PT Vale Indonesia ditunjukkan pada gambar di bawah



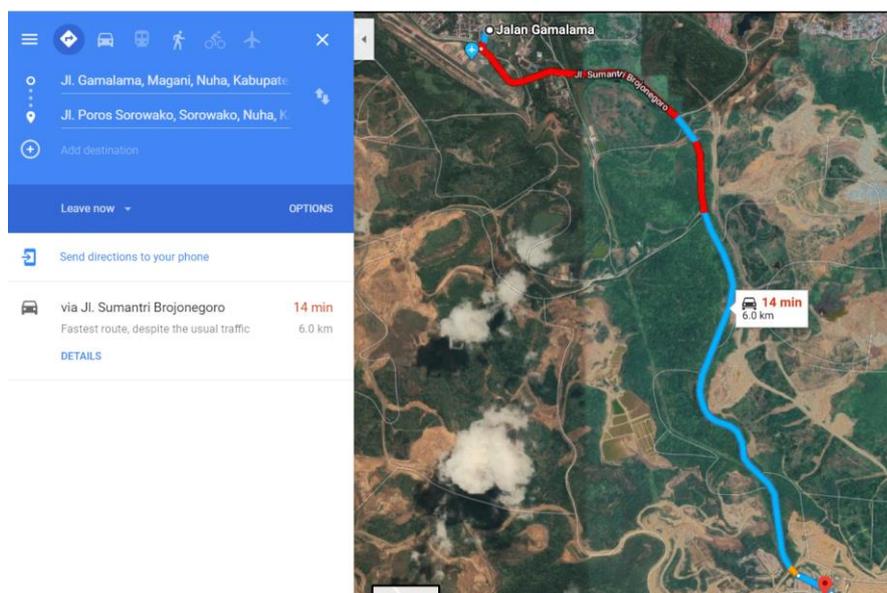
Gambar 4.2 Jarak Sorowako ke Plant Site (10.4 Km)

Perjalanan dari Sorowako area ke plant site seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.2, untuk mengantar karyawan dimulai dari jam 6 pagi dan berakhir di jam 8 pagi dengan total perjalanan sebanyak 2 trip untuk Sorowako – Plant Site. Trip pertama untuk mengantarkan karyawan untuk ranah pekerja tambang bagian operation dan trip kedua untuk pekerja tambang bagian administrasi dan pendukung lain nya. Sehingga kalau terhitung dalam jarak untuk keperluan Sorowako Plant site sudah menempuh jarak 40.8 Km untuk pagi hari. Dengan operasional PT Vale Indonesia yang berjalan terus menerus selama 24 jam penuh maka pengantaran karyawan juga dibagi menjadi 3 shift. Total Jarak tempuh yang ada menjadi 122.4 Km

Perjalanan untuk keperluan anak sekolah seperti pada gambar 4.3 juga di bagi menjadi 2. Perjalanan pertama untuk anak sekolah dasar dan gelombang kedua untuk SMP dan SMU. Dimulai setelah pengantaran karyawan operasional dan juga karyawan penduku operasi selesai. Total jarak tempuh yang ada adalah 26 Km.



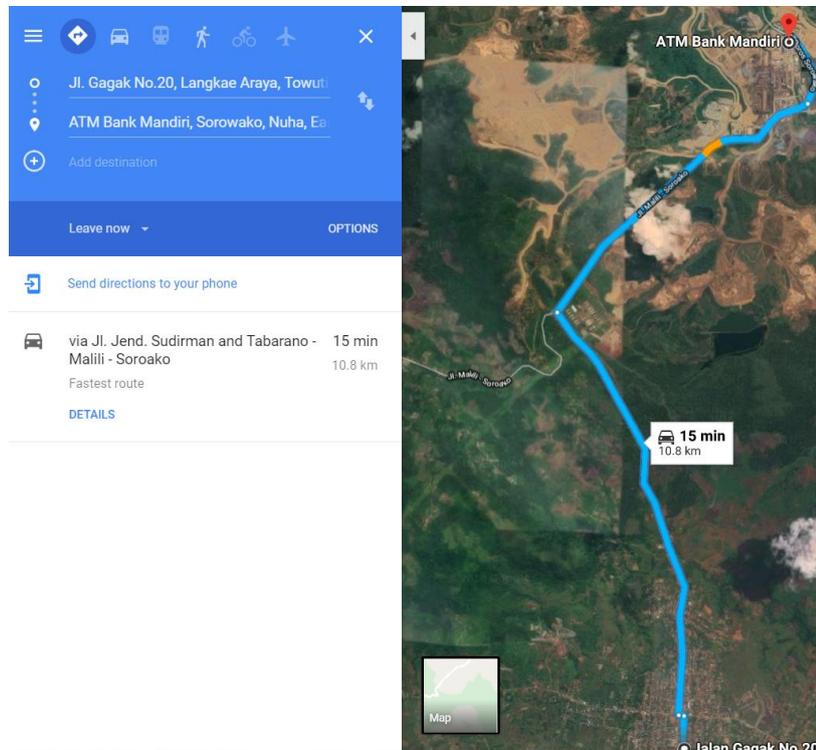
Gambar 4.3 Perjalanan Untuk Keperluan Sekolah (PonSal – Sekolah)(6.5 Km)



Gambar 4.4 Jarak dari *Pool* Bus Sorowako ke Plant site (6 Km)

Perjalanan dari *pool* bus ke Plant Site seperti pada gambar 4.4 dibagi menjadi 2 untuk keperluan operasional dengan untuk bagian administrasi dan pendukung. Perjalanan di mulai pada jam 5:30. Jarak tempuh yang di butuhkan adalah 24 Km. Karena kebutuhan untuk pengangkutan lebih banyak maka bus yang disiapkan untuk rute ini juga lebih banyak dari pada bus yang di sediakan untuk rute Sorowako-Plant Site. Dengan operasional PT Vale Indonesia yang berjalan

terus menerus selama 24 jam penuh maka pengantaran karyawan juga dibagi menjadi 3 shift. Total Jarak tempuh yang ada menjadi 72 Km

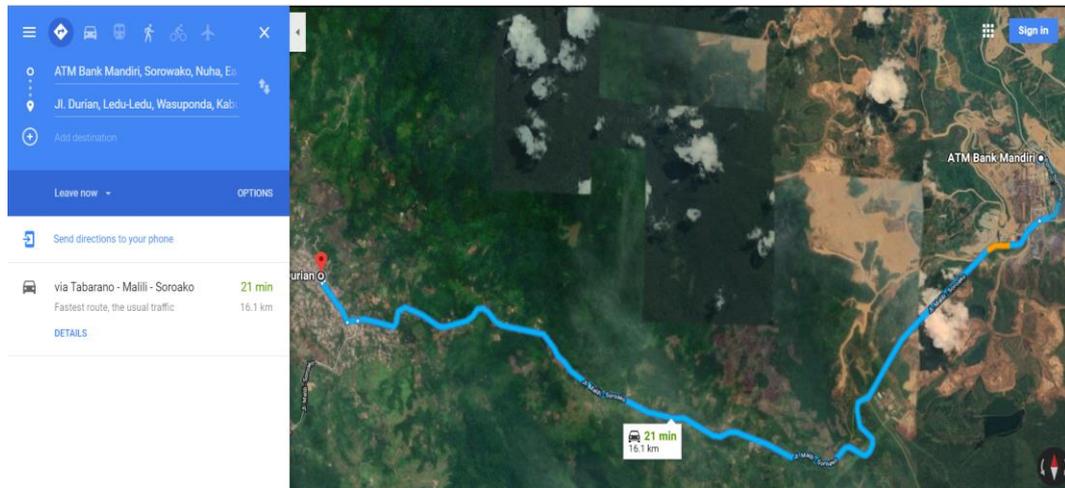


Gambar 4.5 Jarak Wawondula ke Plant Site (10.8 Km)

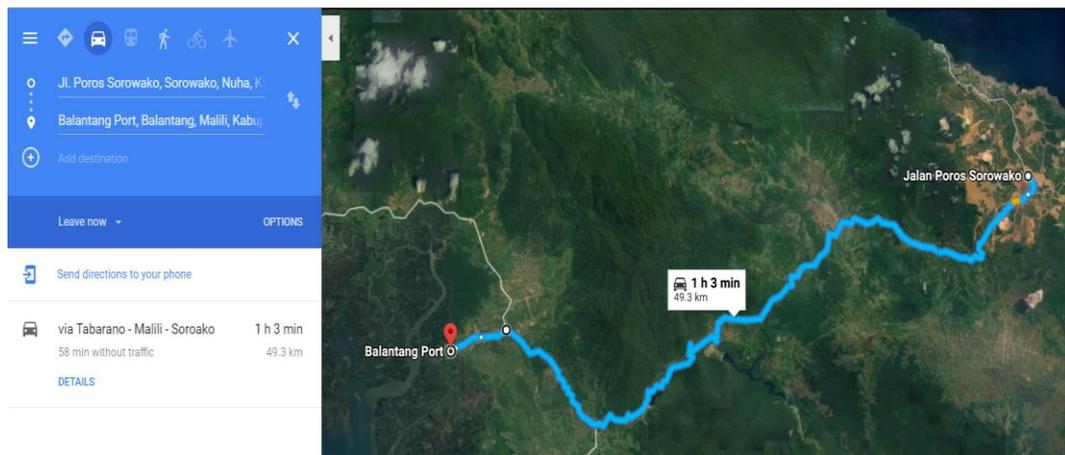
Perjalanan dari area Wawondula seperti pada gambar 4.5 untuk keperluan pengantaran karyawan dimulai pada jam 5 pagi dan berakhir pada jam 7 pagi. Pengantaran juga sama di bagi menjadi 2 gelombang untuk pekerja operasional dan pekerja administratif and pendukung. Total jarak untuk area wawondula adalah 43.2 km. Dengan operasional PT Vale Indonesia yang berjalan terus menerus selama 24 jam penuh maka pengantaran karyawan juga dibagi menjadi 3 shift. Total Jarak tempuh yang ada menjadi 129.6 Km

Perjalanan dari Wasuponda area ke plant site seperti pada gambar 4.6 untuk mengantar karyawan dimulai dari jam 5 pagi dan berakhir di jam 7 pagi dengan total perjalanan sebanyak 2 trip untuk Sorowako – Plant Site. Trip pertama untuk mengantarkan karyawan untuk ranah pekerja tambang bagian operation dan trip kedua untuk pekerja tambang bagian administrasi dan pendukung lain nya. Sehingga kalau terhitung dalam jarak untuk keperluan Sorowako Plant site sudah

menempuh jarak 64.4 Km. Dengan operasional PT Vale Indonesia yang berjalan terus menerus selama 24 jam penuh maka pengantaran karyawan juga dibagi menjadi 3 shift. Total Jarak tempuh yang ada menjadi 193.2 Km



Gambar 4.6 Jarak Wasuponda ke Plant Site (16.1 Km)

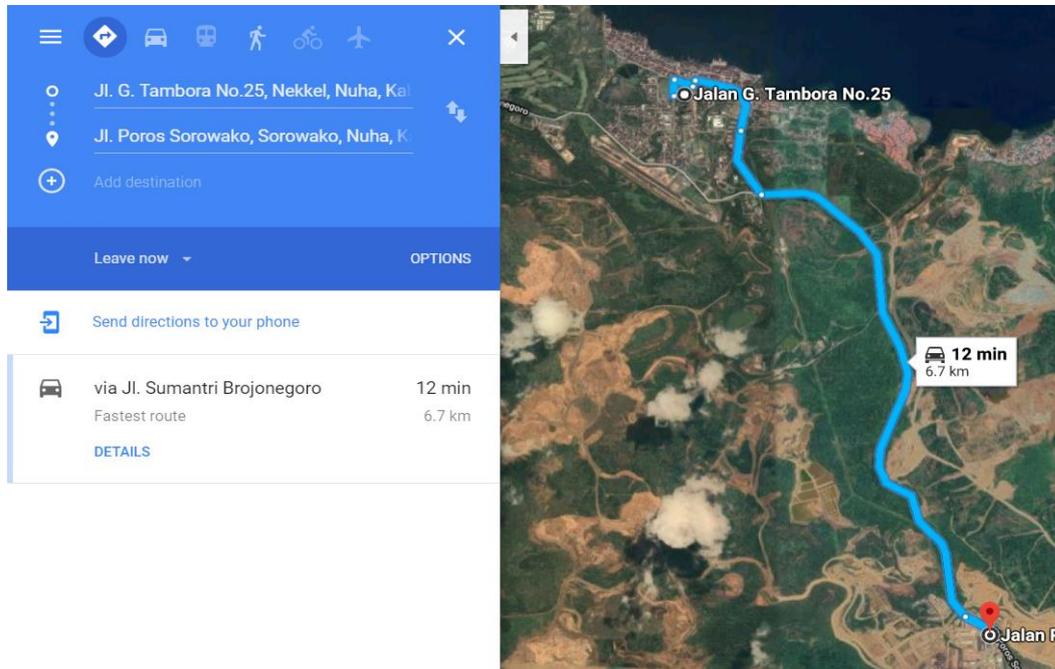


Gambar 4.7 Jarak Malili ke Plant Site (49.3 Km)

Perjalanan dari malili seperti pada gambar 4.7 di mulai pada jam 4:30 pagi dengan total trip hanya 1 kali. Perjalanan ke area Malili memiliki jarak tempuh 49.3 Km. Dengan operasional PT Vale Indonesia yang berjalan terus menerus selama 24 jam penuh maka pengantaran karyawan juga dibagi menjadi 3 shift. Total Jarak tempuh yang ada menjadi 295.8 Km

Untuk keperluan pengantaran anak sekolah, hanya area wawondula yang masih di sediakan bus. Sehingga untuk rute Wawondula ada tambahan jarak

6.7 Km untuk plant site – sekolah. Seperti yang ditunjukkan dalam gambar 4.8 di bawah



Gambar 4.8 Jarak Rute Plant Site – Sekolah (6.7 Km)

#### 4.1.2 Kondisi Areal Sekitar

Untuk pemasangan panel surya di atas atap bus yang menjemput karyawan membutuhkan seminimal mungkin potensi tertutup bayangan terutama bayangan pepohonan yang ada di sepanjang perjalanan. Beberapa areal udara banyak yang tertutup pepohonan yang rindang, untuk area kota seperti Sorowako, Wawondula, Wasuponda dan Malili memiliki area yang terbuka.



Gambar 4.9 Kondisi Udara Area Sorowako

Untuk area perkotaan Sorowako kondisi tidak ada pepohonan yang tinggi dan tidak ada gedung tinggi seperti yang terlihat pada gambar 4.9. Sehingga pemanfaatan sinar matahari untuk panel surya di atas atap bus bisa di manfaatkan secara maksimal.



Gambar 4.10 Kondisi Udara di Area Wawondula

Kondisi area perkotaan Wawondula juga sama seperti area Sorowako. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.10. Tidak ada pepohonan dan gedung tinggi yang akan menghalangi sinar matahari. Untuk kondisi perjalanan menuju ke Wawondula juga memiliki area udara yang tidak terhalang seperti pada gambar 4.11.

Kondisi yang cukup berbeda di ditemui untuk perjalanan ke area Wasuponda seperti yang terlihat pada gambar 4.12 dan 4.13. Walaupun kondisi perkotaan Wasuponda sama dengan Wawondula dan Sorowako. Untuk perjalanan ke Wasuponda diperkirakan sekitar 30% dari total jarak mempunyai area yang terhalang pepohonan tinggi di kanan kiri jalan, sehingga sinar matahari tidak bisa langsung menyinari panel surya yang terpasang di atas atap bus.



Gambar 4.11 Kondisi udara perjalanan menuju Wawondula



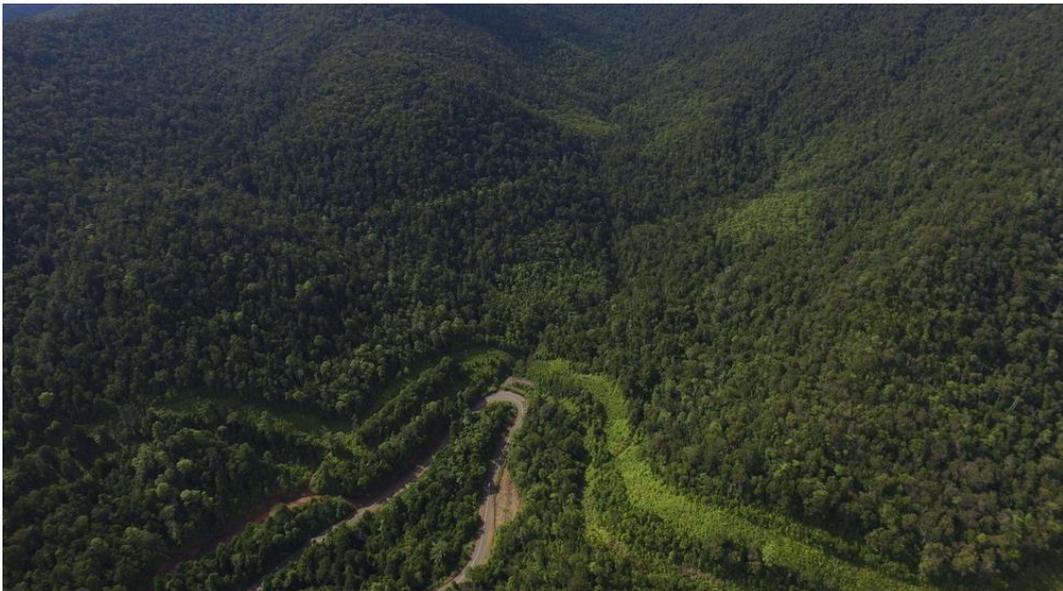
Gambar 4.12 Kondisi udara perjalanan ke Wasuponda dengan Kondisi Pohon di Sepanjang Perjalanan

Dengan terhalang nya sinar matahari untuk dapat menyinari panel surya maka selama perjalanan dengan kondisi banyak pohon daya bus listrik akan di ambil dari *battery pack* yang terpasang dalam bus listrik bukan dari panel surya.

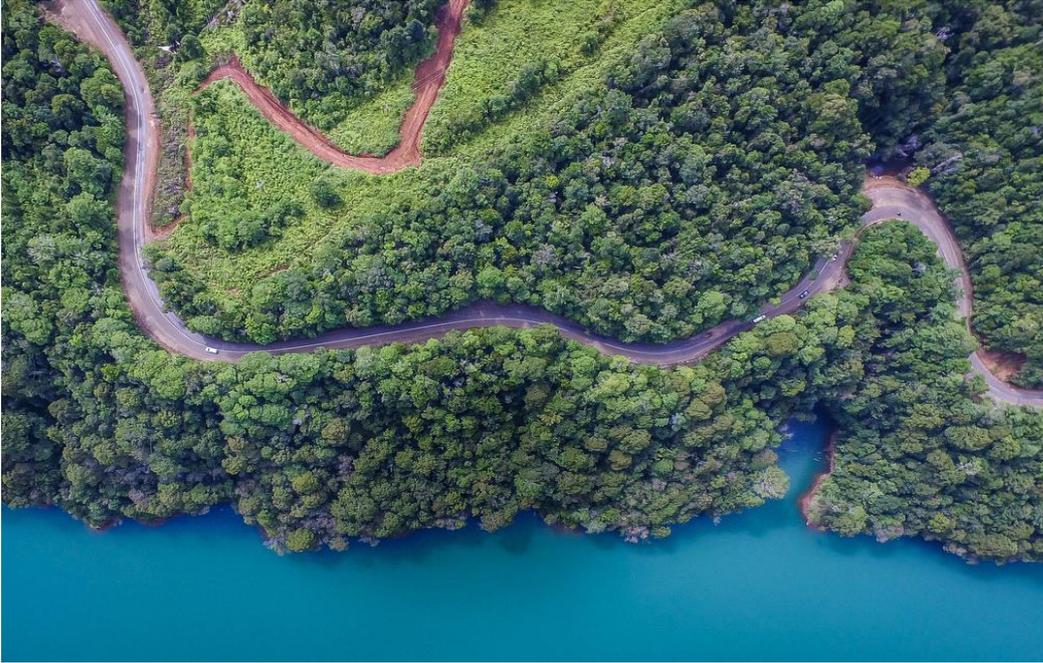


Gambar 4.13 Kondisi udara perjalanan ke Wasuponda

Kondisi yang sama dengan kondisi perjalanan ke Wasuponda didapatkan untuk perjalanan ke Malili seperti yang terlihat pada gambar 4.14 dan 4.15. Karena masih melewati area hutan maka penghalang sinar matahari akan banyak di temui. Diperkirakan sekitar total 40% area masih tertutupi pepohonan di kanan kiri jalan.



Gambar 4.14 Kondisi Udara Perjalanan ke Malili Tertutup Pohon di Kanan Kiri Jalan



Gambar 4.15 Kondisi Udara Perjalanan ke Malili Tertutup Pohon di Kanan Kiri Jalan

Sedangkan kondisi udara untuk area malili seperti pada gamabr 4.16 sama dengan kondisi udara untuk area Sorowako, Wawondula dan Wasuponda. Dengan area udara yang terbuka tanpa banyak pepohonan dan gedung tinggi. Sinar matahari akan optimal ditangkap oleh panel surya di atas atap bus karyawan.



Gambar 4.16 Kondisi Udara Area Malili

## 4.2 Konsumsi Bahan Bakar Solar

Salah satu pembeda penelitian pada makalah dengan penelitian – penelitian yang sudah ada dari beberapa referensi adalah, area pengisian bahan bakar untuk kendaraan operasional PT Vale Indonesia tidak mungkin di lakukan di area luar operasional, sehingga data pemakaian bahan bakar yang berhasil di kumpulkan merupakan pemakaian bahan bakar untuk menunjang operasional, dan semua nya bisa di asumsikan akan menjadi emisi gas buang yang di hasilkan di PT Vale Indonesia. Yang kedua pembacaan pemakaian jarak kendaraan operasional PT Vale Indonesia juga tidak meninggalkan area operasional sehingga jarak tempuh kendaraan bisa di asumsikan menjadi seluruhnya emisi gas buang di area operasional PT Vale Indonesia. Walaupun beberapa sumber emisi khusus nya bus karyawan masuk sampai lingkungan pemukiman yang padat penduduk.

Operasional kendaraan PT Vale Indonesia dalam menunjang keberlangsungan produksi bisa di kelompokkan menjadi beberapa bagian:

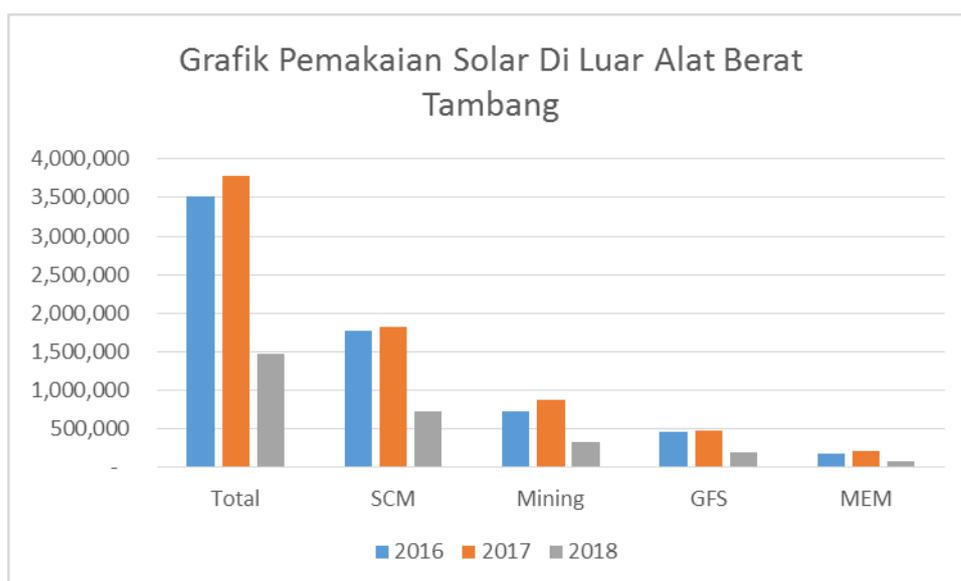
- Bus untuk mobilisasi karyawan (Solar)
- Trailler untuk pengangkutan nikel dari lini produksi ke pelabuhan dan membawa barang berupa bahan baku produksi dan peralatan penunjang produksi dari pelabuhan ke gudang penyimpanan (Solar)
- Truck untuk mengangkut ore basah dalam jumlah kecil untuk area tambang yang lebih jauh (Solar)
- Kendaraan ringan untuk menunjang operasional perusahaan (Premium)

### 4.2.1 Konsumsi Solar

Konsumsi bahan bakar solar PT Vale Indonesia selama periode 2016 sampai 2018 bulan May bisa di lihat pada tabel 4.1 dan gambar 4.17. Data didapatkan dengan mengunduh pemakaian bahan bakar dari pusat data *fuel management* di server PT Vale Indonesia.

Tabel 4.1 Konsumsi Solar Diluar Alat Berat Tambang

2016		Solar		2018 (May)	
DIVISI	VOLUME (L)	DIVISI	VOLUME (L)	DIVISI	VOLUME (L)
Grand Total	3,518,390	Grand Total	3,775,108	Grand Total	1,482,526
SCM	1,781,017	SCM	1,816,772	SCM	723,068
MINING	728,671	MINING	876,916	MINING	326,255
<b>GFS</b>	<b>462,238</b>	<b>GFS</b>	<b>478,489</b>	<b>GFS</b>	<b>195,150</b>
MEM	178,374	MEM	208,953	MEM	81,450
ETDS	95,164	ETDS	95,962	ETDS	35,486
ETDS-CS	47,517	DSS	59,075	DSS	26,526
UTL	37,969	UTL	49,347	PROCESS PLANT	23,596
MOQA	31,474	PROCESS PLANT	35,231	UTL	17,194
EHS	30,416	EHS	34,478	EHS	13,722
DSS	30,320	ETDS-CS	33,745	ETDS-CS	13,359
PROCESS PLANT	25,415	MOQA	19,143	FES	4,811
SS	18,732	FES	14,314	IGP	4,200
FES	13,939	IGP	13,718	SS	4,127
IGP	10,299	SS	13,632	HR	2,301
EXREL	5,607	EXREL	6,162	EXREL	2,231
HR	5,105	HR	4,980	MEDICAL	2,021
PROC-TECH	3,938	MEDICAL	3,771	MOQA	1,772
SBD	2,973	PROC-TECH	3,302	PPE	1,632
PPI	2,268	PPE	2,650	PROC-TECH	1,532
PPE	1,778	OISPD	1,254	OISPD	693
SES	1,655	SES	1,231	SBD	571
OISPD	1,515	SBD	997	SES	403
MEDICAL	1,129	IT	698	IT	257
IT	726	BECA	290	TRAKINDO	167
ATS	151				



Gambar 4.17 Grafik Top 4 Departement Pengguna Bahan Bakar Solar

Dari tabel 4.1 dan gambar 4.17 di atas dapat di lihat departemen-departemen yang ada di dalam struktur organisasi PT VALE Indonesia. SCM adalah *Supply Chain Management* yang bertugas sebagai penyedia material dan juga sebagai transportasi material ke site dan transportasi produk nickel matte ke pelabuhan terdekat. Untuk mining unit terbanyak berupa *light truck* digunakan sebagai truck tambahan *dump truck* untuk jarak yang lebih jauh dengan muatan yang lebih sedikit atau yang lebih dikenal dengan istilah *small fleet*. GFS atau *General Facility Service* bertugas untuk melayani kebutuhan maintenance perumahan, asset gedung PT VALE Indonesia sekaligus bertanggung jawab atas pengangkutan karyawan. MEM atau *Mobile Equipement Maintenance* adalah department yang bertugas untuk merawat semua asset PT VALE Indonesia yang bergerak. Semua asset bergerak akan di maintain oleh department MEM. Sebagian besar bahan bakar yang dipakai oleh GFS di peruntukan untuk transportasi karyawan baik itu berupa bus karyawan atau hanya *light vehicle*. Unit bus memiliki porsi terbanyak di inventaris GFS dan 97% dari solar yang di keluar kan untuk bus karyawan. Untuk ETDS atau *Engineering Technical Development Section* pemakaian terbesar adalah untuk *rigging fleet* yang sebagian besar di dominasi oleh truck baik itu trailer, *boom truck* dan regular truck untuk membantu memobilisasi material material yang besar dan berat. Kenaikan pemakaian solar secara total tahun 2017 dari tahun 2016 sebesar 7%. Kenaikan terjadi di mining sebesar 20% karena adanya pembukaan lahan tambang baru sehingga jarak tempuh makin besar. Dengan bertambahnya lokasi lokasi penambangan baru yang lebih jauh maka kenaikan 17% konsumsi bahan bakar terjadi di MEM yang bertugas untuk memelihara asset bergerak dari PT Vale Indonesia. Kenaikan 3.5% dari GFS menunjukkan berkurangnya efisiensi dari bus karyawan sebesar 3.5% pertahun, kondisi ini dapat disimpulkan dari tidak bertambahnya area penjemputan dari tidak bertambahnya frekuensi penjemputan dengan jumlah unit yang tidak berubah juga. Hal ini sesuai dengan referensi bahwa semakin lama umur sebuah kendaraan semakin besar emisi yang di hasilkan (SH, 2016)

## 4.2.2 Konsumsi Premium

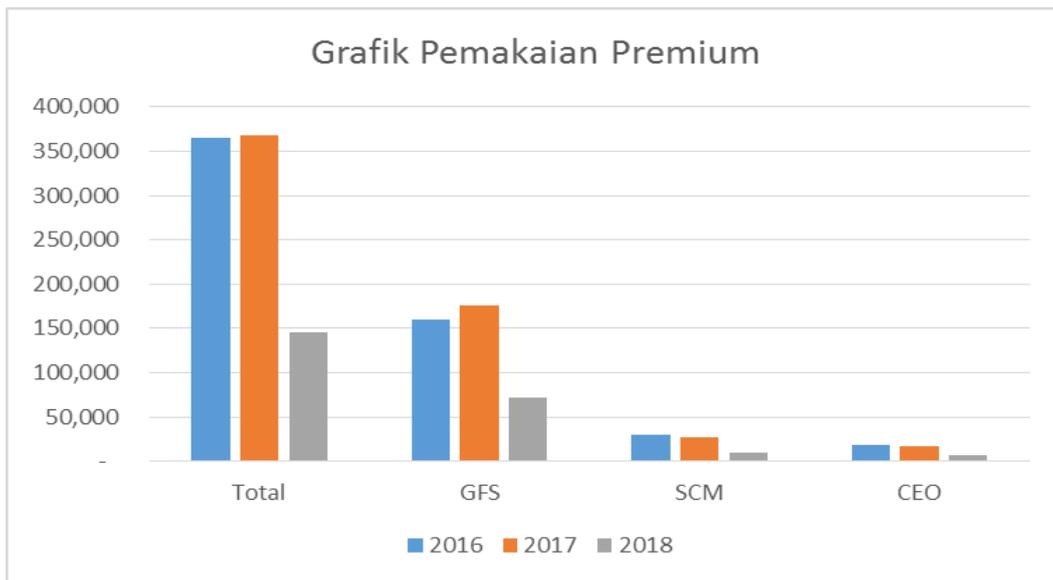
Konsumsi bahan bakar premium PT VALE Indonesia selama periode 2016 sampai 2018 bulan may bisa di lihat sesuai dengan tabel 4.2. Data didapatkan dengan mengunduh pemakaian bahan bakar dari pusat data *fuel management* di server PT Vale Indonesia.

Tabel 4.2 Tabel Konsumsi Premium

Premium					
2016		2017		2018 (May)	
DIVISI	VOLUME (L)	DIVISI	VOLUME (L)	DIVISI	VOLUME (L)
Grand Total	364,469	Grand Total	367,771	Grand Total	145,984
GFS	159,419	GFS	175,209	GFS	71,067
SCM	30,211	SCM	27,303	SCM	9,662
CEO	18,092	CEO	16,348	CEO	6,615
MINING	15,237	HR	14,206	MINING	5,445
HR	14,883	MEDICAL	13,507	MEDICAL	5,362
ETDS-CS	14,688	EXREL	13,211	HR	5,183
EXREL	14,122	MINING	12,954	EXREL	4,872
MEDICAL	12,873	PROCESS PLANT	10,430	PROCESS PLANT	4,626
PROCESS PLANT	11,647	ETDS-CS	10,077	DSS	3,629
ETDS	8,764	OISPD	8,642	ETDS	3,439
DSS	8,114	ETDS	8,203	OISPD	3,321
YPS	7,559	YPS	7,880	YPS	3,318
OISPD	6,482	DSS	6,982	ETDS-CS	3,007
FINANCE	6,305	FINANCE	6,656	FES	2,659
EHS	5,992	UTL	6,610	EHS	2,444
IA	5,655	FES	6,229	FINANCE	2,252
UTL	5,407	EHS	6,101	UTL	2,096
FES	5,176	IT	4,453	IT	1,686
IT	4,649	IA	4,076	SES	1,054
ATS	2,487	ATS	2,643	BECA	960
SS	1,952	IGP	2,586	IA	912
IGP	1,903	SES	1,494	IGP	842
SES	1,611	SS	1,194	ATS	816
PPI	862	PPI	554	PPI	445
MEM	381	BECA	166	SS	273
		MEM	57		

Untuk pemakaian bahan bakar jenis premium hanya terjadi kenaikan 0.9% dari total pemakaian dari tahun 2016 ke 2017. Dengan hanya naik sebesar 0.9% pemakaian bahan bakar premium lebih stabil dan tidak terpengaruh oleh variable produksi. Kenaikan di GFS sebesar 10% karena mulai tahun 2017 ada

program taksi oncall yang di sponsori oleh department GFS, sehingga yang tadinya karyawan dari berbagai department jika ingin berpergian menggunakan kendaraan dari department nya sekarang bisa dengan mudah menghubungi GFS untuk di antar. Dengan tidak ada penambahan unit kendaraan baru maka penambahan 0.9% pemakaian bahan bakar premium karena umur kendaraan yang makin bertambah. Gambar 4.18 dibawah menunjukkan pergerakan pemakaian premium dari tahun 2016 dan 2017 oleh 3 departemen pemakai bahan bakar premium terbesar.



Gambar 4.18 Grafik Top 3 Departement Pengguna Premium

#### 4.2.3 Proyeksi Konsumsi Bahan Bakar Fossil

Seiring dengan komitmen PT Vale Indonesia ke pemerintah untuk meningkatkan produksi setiap tahun sampai 90 kT Ni, maka dari tahun ke tahun target produksi akan meningkat. Dengan meningkatnya target produksi maka beberapa departemen yang bertugas sebagai supporting ke area operasi juga akan meningkat. Departemen mining akan banyak menggunakan light truck untuk mengakomodasi makin jauhnya area pertambangan dan semakin meningkatnya tonase per panjang jalan yang harus di tempuh. Departemen yang juga di prediksi akan meningkat konsumsi pemakaian bahan bakar adalah SCM yang bertugas untuk transportasi nikel matte dari plant site ke balantang dengan jarak 49 Km. Selain untuk transportasi hasil produksi yang meningkat kebutuhan transportasi bahan bakar batu bara juga akan di perkirakan terus bertambah sepanjang tahun.

Dengan konversi minyak sebagai bahan bakar menjadi batu bara maka yang tadinya hanya membutuhkan pipa untuk memindahkan minyak dari pelabuhan sekarang dibutuhkan transportasi darat untuk memindahkan batu bara. Untuk melayani kebutuhan itu semua akan meningkatkan kebutuhan akan bahan bakar juga. Sehingga untuk tahap kedua dari konversi ini prime mover akan menjadi pilihan yang sangat tepat. Seiring dengan makin berkembangnya teknologi kendaraan listrik dan juga teknologi battery.

### 4.3 Perhitungan Emisi Kendaraan

Setelah data konsumsi bahan bakar didapatkan maka emisi yang dihasilkan dari aktifitas yang menggunakan bahan bakar solar dan premium bisa ditentukan. Maka emisi gas buang yang dihasilkan bisa diketahui dengan menggunakan persamaan (2.1). Dengan perkalian antara factor emisi yang diberikan di tabel 2.2 dan 2.3 (CORINAIR, 2009). Data volume bahan bakar yang digunakan di peroleh dengan pencatatan otomatis pengisian bahan bakar di stasiun pengisian bahan bakar PT Vale Indonesia dengan menggunakan teknologi RFID ring tag dan juga perangkat lunak untuk mengintegrasikan semua data ke dalam data base untuk diolah sesuai dengan kebutuhannya. Data yang di ambil untuk penelitian ini adalah data tahunan yang akan di pisah pisah sesuai dengan peruntukannya sehingga bisa diketahui emisi yang dihasilkan untuk setiap aktifitas yang ada.

#### 4.3.1 Emisi Gas Buang dari Solar

Hasil perhitungan emisi gas buang yang di hasilkan oleh aktifitas kendaraan yang di pakai PT Vale Indonesia dalam menjalankan operasinya dapat di lihat pada tabel 4.3 sampai 4.5. Setiap tabel di pisah sesuai dengan peruntukan emisi yang di hasilkan dengan 1 tabel yang menggambarkan total emisi yang di hasilkan dari pemakaian total bahan bakar solar.

Tabel 4.3 Emisi Solar tahunan PT Vale Indonesia diluar kendaraan berat tambang

Year	Diesel Consumption (L)	Energy (TJ)	CO <sub>2</sub> Emission (Kg)	CH <sub>4</sub> Emission (Kg)	N <sub>2</sub> O Emission (Kg)	Diesel Weight (Kg)	Nox Emission (kg)	CO Emission (Kg)
2016	3,518,389	126.66	9,385,654.50	493.982	379.9860	2,885,078.98	43,016.53	21,349.58
2017	3,775,108	135.90	10,070,478.10	530.025	407.7117	3,095,588.56	46,155.23	22,907.36
2018	1,482,525	53.37	3,954,783.69	208.147	160.1127	1,215,670.50	18,125.65	8,995.96

Tabel 4.4 Emisi Solar PT Vale Indonesia untuk transportasi karyawan

Year	Diesel Consumption (L)	Energy (TJ)	CO <sub>2</sub> Emission (Kg)	CH <sub>4</sub> Emission (Kg)	N <sub>2</sub> O Emission (Kg)	Diesel Weight (Kg)	Nox Emission (kg)	CO Emission (Kg)
2016	462,238	16.64	1,233,065.85	64.898	49.9217	379,035.09	5,651.41	2,804.86
2017	478,489	17.23	1,276,416.30	67.180	51.6768	392,360.68	5,850.10	2,903.47
2018	195,150	7.03	520,581.82	27.399	21.0762	160,022.90	2,385.94	1,184.17

Tabel 4.5 Emisi Solar PT Vale Indoessia untuk transportasi Produk Nikel

Year	Diesel Consumption (L)	Energy (TJ)	CO <sub>2</sub> Emission (Kg)	CH <sub>4</sub> Emission (Kg)	N <sub>2</sub> O Emission (Kg)	Diesel Weight (Kg)	Nox Emission (kg)	CO Emission (Kg)
2016	1,781,017	64.12	4,751,041.27	250.055	192.3498	1,460,434.04	21,775.07	10,807.21
2017	1,816,772	65.40	4,846,420.59	255.075	196.2114	1,489,752.92	22,212.22	11,024.17
2018	723,068	26.03	1,928,856.43	101.519	78.0914	592,915.83	8,840.38	4,387.58

Tabel 4.6 Emisi Solar PT Vale Indonesia untuk mining small fleet dengan menggunakan light truck

Year	Diesel Consumption (L)	Energy (TJ)	CO <sub>2</sub> Emission (Kg)	CH <sub>4</sub> Emission (Kg)	N <sub>2</sub> O Emission (Kg)	Diesel Weight (Kg)	Nox Emission (kg)	CO Emission (Kg)
2016	447,306	16.10	1,193,233.06	62.802	48.3090	366,790.79	5,468.85	2,714.25
2017	534,269	19.23	1,425,214.89	75.011	57.7010	438,100.24	6,532.07	3,241.94
2018	236,186	8.50	630,049.59	33.161	25.5081	193,672.46	2,887.66	1,433.18

Dari ke empat tabel di atas dapat dilihat emisi terbesar yang dihasilkan oleh bahan bakar solar adalah gas CO<sub>2</sub>. Total gas CO<sub>2</sub> yang dihasilkan pertahun adalah sekitar 10 juta kilogram gas. Gas CO<sub>2</sub> ini yang di sebut gas rumah kaca akan mengakibatkan pemanasan global (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2012). Data yang berhasil di kumpulkan dengan benar dan tervalidasi hanya dari tahun 2016. Sebelum tahun 2016 PT Vale Indonesia hanya menggunakan data manual yang diisi oleh personal yang menjaga stasiun pengisian bahan bakar. Apakah penjaga akan mencatat dengan benar, tepat dan bagaimana cara memvalidasinya. Karena tidak ada yang bisa memastikan data tervalidasi dengan benar, maka data yang digunakan data dari tahun 2016 ke atas. Pemakaian bahan bakar solar masih berhubungan erat dengan target produksi dari PT Vale Indonesia. Dengan meningkatnya target produksi perjalanan untuk mengantarkan hasil produk nikel dari process plant ke pelabuhan semakin bertambah. Dengan adanya program

penghematan uang dengan mengganti bahan bakar minyak dengan batu bara menyebabkan aktifitas tambahan untuk mengangkut batu bara dari pelabuhan menuju process plant. Aktifitas *small fleet* dari mining akan meningkat baik disebabkan oleh volume material yang harus di pindahkan atau dengan semakin jauh letak pertambangan. Dengan kondisi seperti yang di sebutkan maka emisi yang di hasilkan PT Vale Indonesia akan masih terus meningkat dari tahun ke tahun dengan estimasi peningkatan sebesar 7-8% jika tidak ada konversi energi dari bahan bakar minyak ke kendaraan dengan menggunakan energi listrik. Dengan melihat besarnya kandungan CO<sub>2</sub> yang masuk ke dalam pemukiman perumahan maka dengan mengganti bus karyawan dengan bus listrik.

#### 4.3.2 Emisi Gas Buang Premium

Hasil perhitungan emisi gas buang yang di hasilkan oleh aktifitas kendaraan yang di pakai PT Vale Indonesia dalam menjalankan operasi nya dapat di lihat pada tabel 4.7 dan 4.8. Setiap tabel di pisah sesuai dengan peruntukan emisi yang di hasilkan dengan 1 tabel yang menggambarkan total emisi yang di hasilkan dari pemakaian total bahan bakar premium.

Tabel 4.7 Emisi Yang dihasil kan oleh Penggunaan Premium

Year	Premium Consumption (L)	Energy (TJ)	CO <sub>2</sub> Emission (Kg)	CH <sub>4</sub> Emission (Kg)	N <sub>2</sub> O Emission (Kg)	Premium Weight (Kg)	Nox Emission (kg)	CO Emission (Kg)
2016	364,469	12.03	833,504.16	39.691	38.4879	276,996.44	1,839.26	137,861.13
2017	367,771	12.14	841,055.50	40.050	38.8366	279,505.96	1,855.92	139,110.12
2018	145,984	4.82	333,850.81	15.898	15.4159	110,947.84	736.69	55,218.74

Tabel 4.8 Emisi Untuk Transportasi karyawan (Premium)

Year	Premium Consumption (L)	Energy (TJ)	CO <sub>2</sub> Emission (Kg)	CH <sub>4</sub> Emission (Kg)	N <sub>2</sub> O Emission (Kg)	Premium Weight (Kg)	Nox Emission (kg)	CO Emission (Kg)
2016	159,419	5.26	364,576.41	17.361	16.8347	121,158.80	804.49	60,300.74
2017	175,209	5.78	400,685.12	19.080	18.5021	133,158.73	884.17	66,273.10
2018	71,067	2.35	162,523.58	7.739	7.5047	54,011.07	358.63	26,881.31

Berbeda dengan bahan bakar solar, untuk bahan bakar premium akan menghasilkan gas CO sebagai emisi. Dengan rata rata 130 ribu Kg per tahun gas

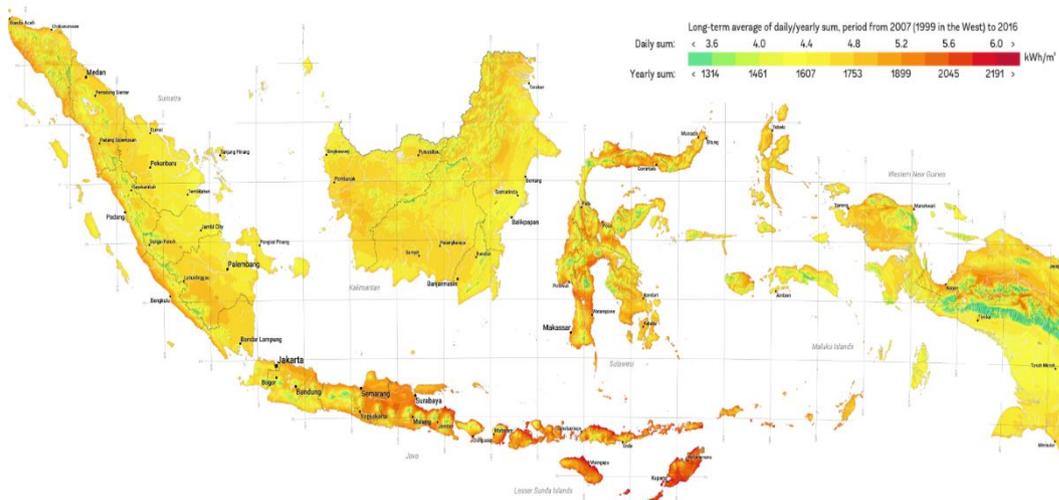
CO yang dihasilkan. Data yang bisa di validasi adalah data untuk tahun 2016 ke atas dengan alasan yang sama dengan data untuk bahan bakar solar. Efek gas CO lebih berbahaya kepada makhluk hidup dibandingkan terhadap lingkungan. Tidak seperti bahan bakar solar, untuk bahan bakar premium tidak dipengaruhi oleh target produksi karena sifatnya yang hanya sebagai pendukung kegiatan pertambangan di PT Vale Indonesia.

#### **4.4 Potensi Energi Surya di Area Operasional PT Vale Indonesia**

Area operasional PT Vale Indonesia yang terletak di area garis kahtulistiwa memiliki potensi yang sangat besar untuk memanfaatkan sinar matahari dan mengkonversikan nya menjadi energi listrik yang bersifat bersih dan ramah lingkungan. Dengan lama penyinaran matahari yang stabil sepanjang tahun pemanfaatan energi matahari sebagai alternative pendukung kegiatan transportasi sangat layak untuk dipertimbangkan. Walaupun nilai investasi masih relative mahal dengan nilai efisiensi yang tidak terlalu baik (A Nicholls, 2015)

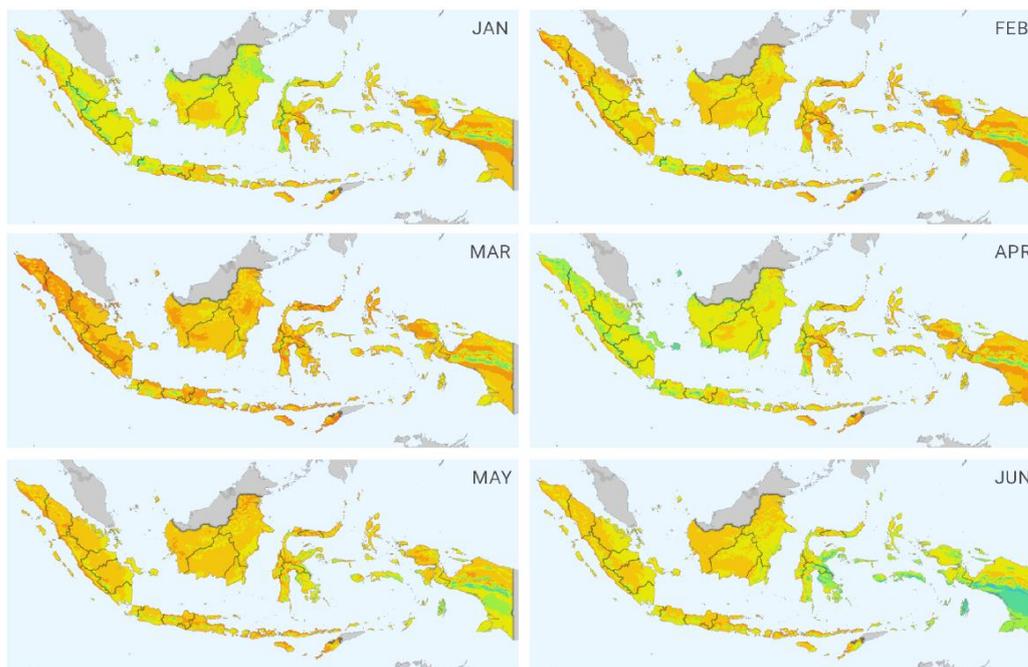
##### **4.4.1 Potensi Energi Surya Berdasarkan Solargis**

Potensi energi surya di Indonesia menurut World Bank yang di tuangkan dalam Global Horizontal Irradiation. Dari gambar 4.19 merupakan potensi radiasi matahari secara rata rata selama 1 tahun, terlihat bahwa area operasional PT Vale Indonesia berada dalam kisaran nilai 4.8 sampai 5.2 kWh/m<sup>2</sup>.



Gambar 4.19 Potensi Energi Solar di Indonesia (*The World Bank, 2017*)

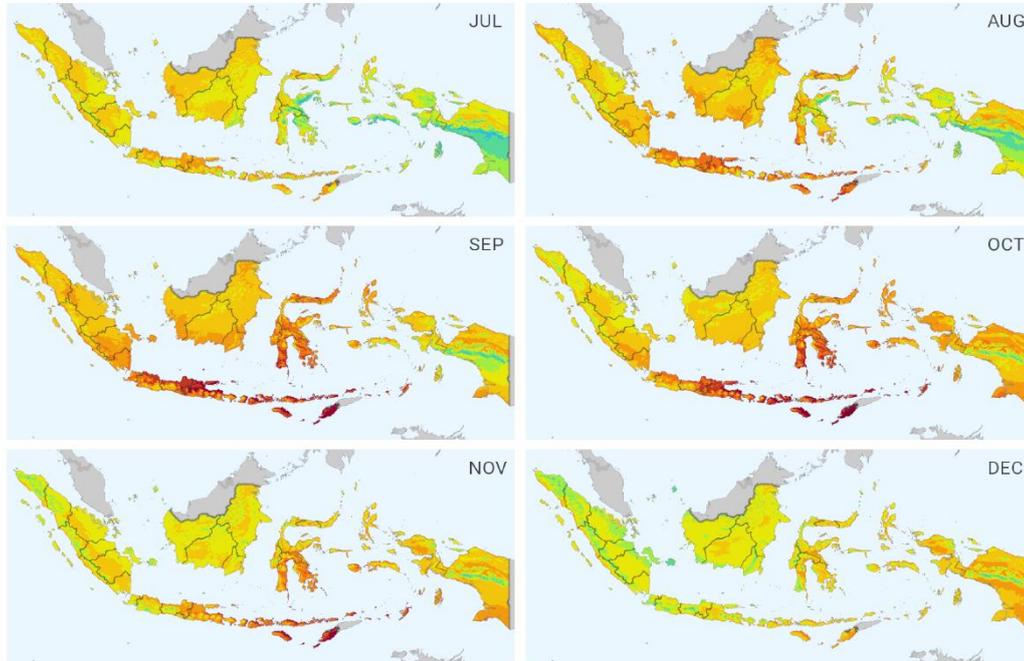
Untuk data perbulan sebaran GHI area Indonesia menurut *Solargis* adalah sebagai berikut seperti pada gambar 4.20 dan 4.21:



Gambar 4.20 GHI Indonesia untuk Bulan Januari-Juni (*The World Bank, 2017*)

Untuk rentang waktu semester pertama dari bulan Januari sampai Juni seperti pada gambar 4.20, intensitas radiasi sinar matahari menurut *Solargis* mulai meningkat di bulan Februari dan Maret lalu menurun di April dan Mei dengan titik terendah di bulan Juni. Titik tertinggi di semester pertama ada di bulan Maret.

Maksimum besaran GHI di bulan maret dengan nilai antara 5-5.5 kWh/m<sup>2</sup> dengan minimum sebesar 3.5-4 kWh/m<sup>2</sup> di bulan Juni



Gambar 4.21 GHI Indonesia untuk Bulan Juli –Desember (*The World Bank, 2017*)

Untuk rentang waktu semester ke dua seperti pada gambar 4.21 intensitas radiasi sinar matahari akan mencapai puncak nya pada bulan September dan Oktober dengan intensitas radiasi paling rendah di bulan Juli. Maksimum besaran GHI di bulan September dan Oktober dengan nilai antara 5.5-6 kWh/m<sup>2</sup> dengan minimum sebesar 3.5-4 kWh/m<sup>2</sup> di bulan Juni

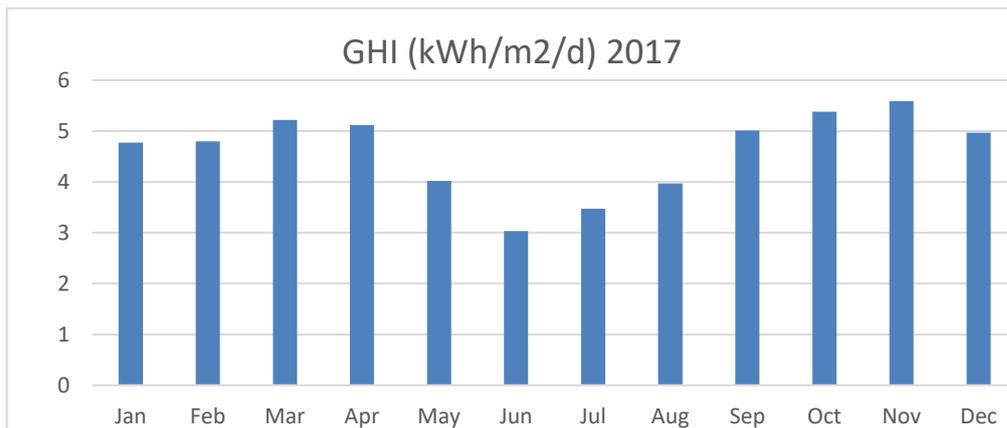
#### **4.4.2 Potensi Energi Surya Berdasarkan RETScreen Profesional**

RETScreen adalah software analisa energi yang di peruntukkan khususnya untuk energi terbarukan. Di kembangkan oleh pemerintah Kanada. Diluncurkan tahun 2016, perangkat lunak ini dapat memberikan gambaran yang kompresif tentang potensi, feasibility dari energi terbarukan. Data yang di analisa dalam perangkat lunak ini menggabungkan beberapa data dari NASA untuk membantu pengguna mendapatkan data dibutuhkan. Untuk melakukan perbandingan maka di pilih koordinat untuk di ambil data satelit NASA tentang potensi radiasi sinar matahari di koordinat tersebut. Untuk tempat plant site gate 1 dipilih untuk dilakukan beberapa perbandingan metoda pengukuran. Hasil dari

RETscreen dipilih data dari tahun 2017 sampai Oktober 2018. Hasilnya adalah sebagai berikut

Tabel 4.9 Potensi Radiasi matahari untuk Plant Site Gate 1 tahun 2017

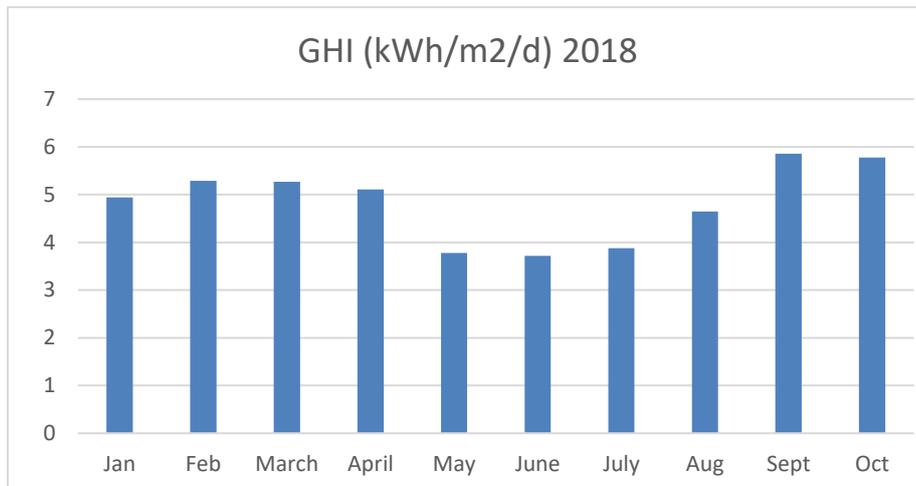
2017	
Month	GHI (kWh/m <sup>2</sup> /d)
Jan	4.77
Feb	4.8
Mar	5.22
Apr	5.12
May	4.02
Jun	3.03
Jul	3.47
Aug	3.97
Sep	5.01
Oct	5.38
Nov	5.59
Dec	4.97



Gambar 4.22 Potensi Radiasi Matahari di Plant Site Gate 1 Tahun 2017

Tabel 4.10 Potensi Radiasi matahari untuk Plant Site Gate 1 tahun 2018

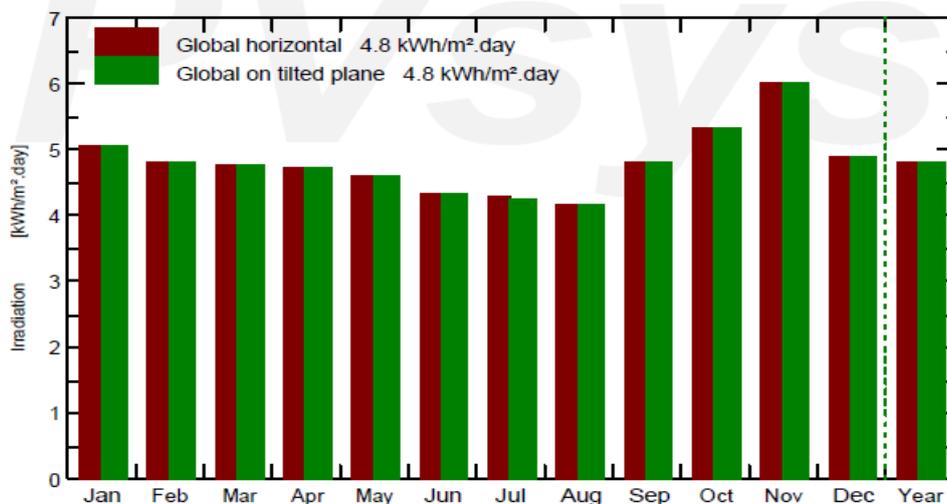
2018	
Month	GHI (kWh/m <sup>2</sup> /d)
Jan	4.94
Feb	5.29
March	5.27
April	5.11
May	3.78
June	3.72
July	3.88
Aug	4.65
Sept	5.86
Oct	5.78



Gambar 4.23 Potensi Radiasi Matahari di Plant Site Gate 1 Tahun 2018

#### 4.4.3 Potensi Energi Surya Berdasarkan PV Syst

Sama seperti RETScreen, PV Syst adalah perangkat lunak yang digunakan untuk merancang, mengukur dan mempelajari system panel surya. Termasuk di dalamnya adalah potensi energi surya di masing masing koordinat tertentu yang nantinya akan dipasang panel surya tersebut. Untuk mendapatkan perbandingan yang sama dengan masing masing data yang dihasilkan untuk masing masing metoda maka koordinat yang di masukkan ke dalam PVsyst juga sama dengan yang dimasukkan ke dalam RETScreen. Hasil yang di peroleh adalah sebagai berikut:



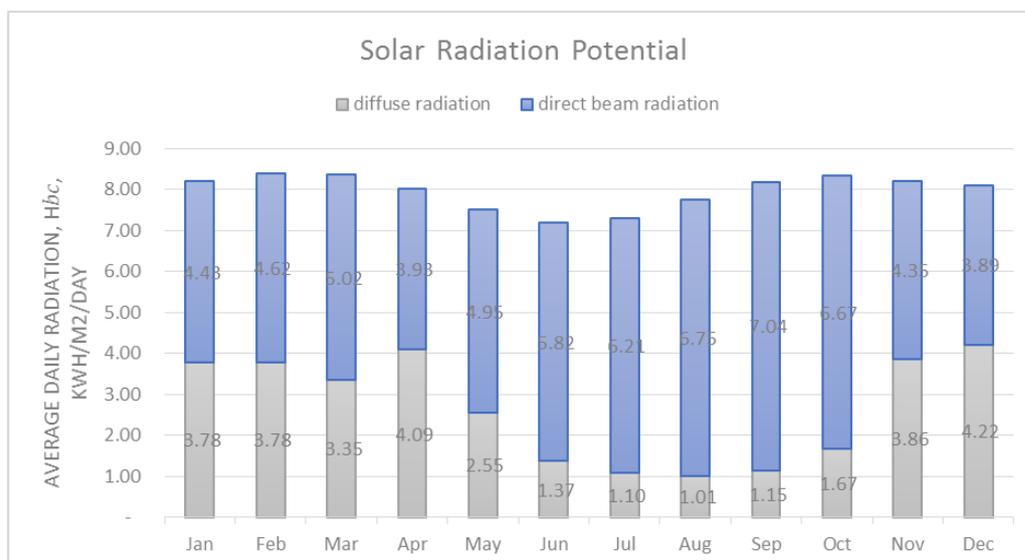
Gambar 4.24 Potensi Radiasi Sinar Matahari Plant Site Gate 1 dari PVSyst

Tabel 4.11 Potensi Radiasi Sinar matahari Plant Site Gate 1 dari PVSyst

	GI Horiz	Coll Plane	System Output	System Output
	kWh/m2 day	kWh/m2 day	kWh/day	kWh
Jan	5.04	5.04	66.37	2057
Feb	4.82	4.82	63.42	1776
Mar	4.76	4.76	62.63	1942
Apr	4.74	4.74	62.35	1871
May	4.62	4.62	60.75	1883
Jun	4.30	4.30	57.21	1716
Jul	4.27	4.27	56.17	1741
Aug	4.18	4.18	55.05	1707
Sep	4.80	4.80	62.23	1897
Oct	5.35	5.35	70.36	2181
Nov	6.02	6.02	79.33	2380
Dec	4.89	4.89	64.37	1996
Year	4.82	4.82	63.41	23146

#### 4.4.4 Potensi Energi Surya Berdasarkan Perhitungan Matematis

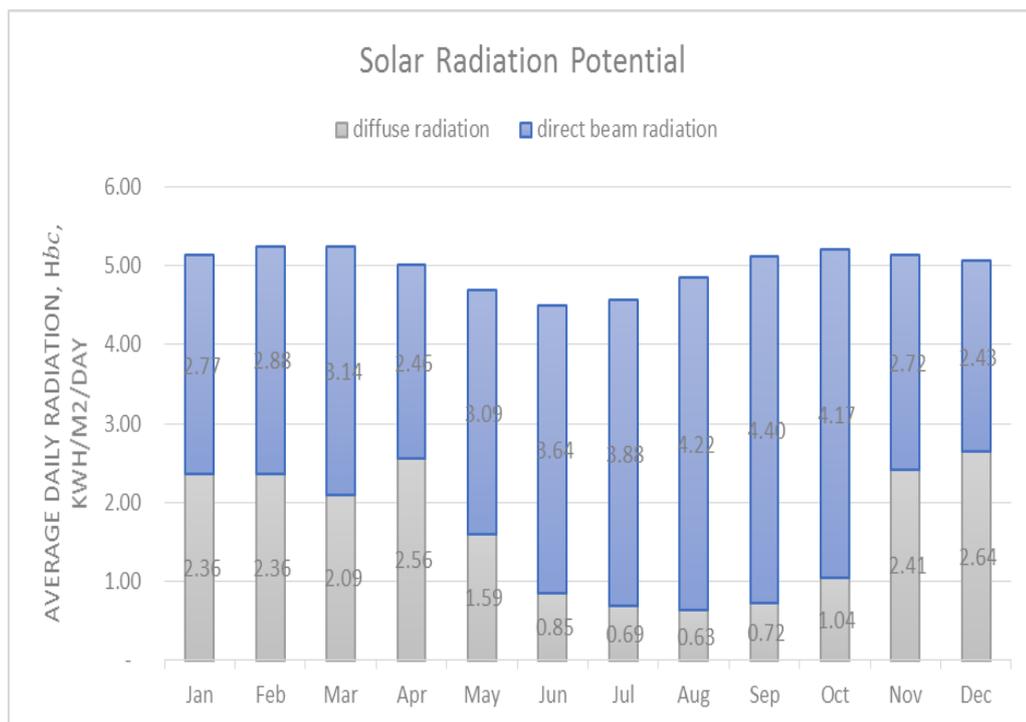
Potensi radiasi energi surya di suatu titik juga dapat di hitung secara matematis dengan menggunakan persamaan (2.2) sampai (2.9). Untuk dapat perbandingan yang sama maka koordinat yang di masukkan juga sama dengan yang di masukkan dalam perangkat lunak RETScreen dan PV Syst. Hasil yang di peroleh adalah sebagai berikut



Gambar 4.25 Potensi Radiasi Sinar Matahari Plant Site Gate 1 (Kt = 0.8)

Untuk perhitungan matematis factor yang sangat mempengaruhi adalah *clearness index* yang menyatakan kondisi awan yang terjadi.  $K_t = 1$  artinya tidak ada awan dan langit di asumsikan sangat cerah dan tidak ada penghalang sinar matahari yang akan sampai ke tanah, sedangkan untuk  $K_t = 0$  mempunyai arti kondisi langit yang tertutup sinar matahari untuk sampai ke tanah.

Gambar 4.26 Potensi Radiasi Sinar Matahari Plant Site Gate 1 ( $K_t = 0.5$ )

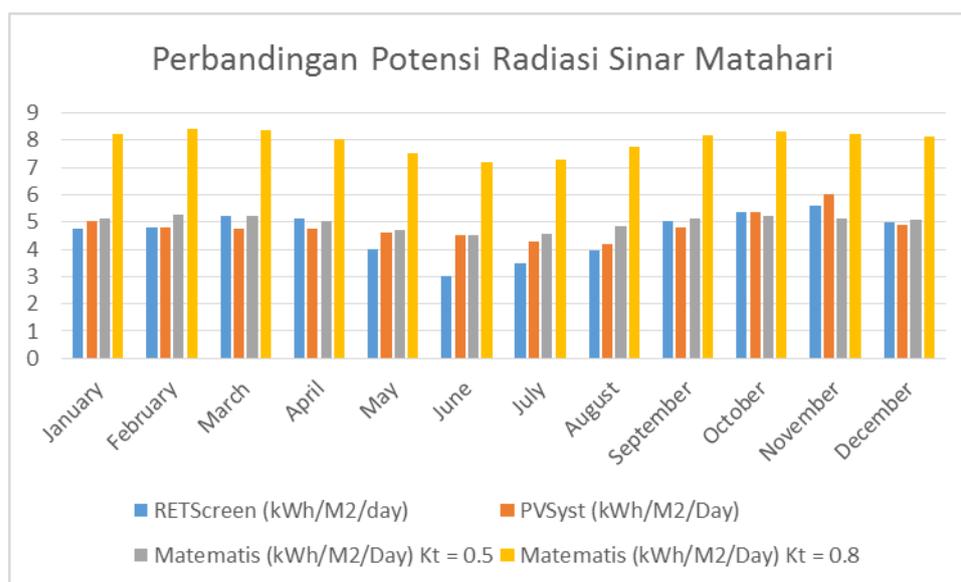


Dengan menurunkan factor  $K_t$  akan diperoleh nilai yang lebih kecil karena asumsi bahwa sinar matahari tidak sepenuhnya akan di tangkap di permukaan tanah.

Jika dibandingkan antara perhitungan matematis dengan menggunakan persamaan maka hasil yang di dapatkan dengan menggunakan perangkat lunak baik RETScreen maupun PVSyst maka hasil yang mendekati adalah jika asumsi yang di pakai untuk nilai  $K_t$  adalah 0.5. Bisa di lihat dari tabel 4.12 di bawah:

Tabel 4.12 Tabel Perbandingan hasil Potensi Radiasi Matahari

Bulan	RETScreen (kWh/M2/day)	PVSyst (kWh/M2/Day)	Matematis (kWh/M2/Day) Kt = 0.5	Matematis (kWh/M2/Day) Kt = 0.8
January	4.77	5.04	5.13	8.21
February	4.8	4.82	5.24	8.39
March	5.22	4.76	5.23	8.37
April	5.12	4.74	5.01	8.02
May	4.02	4.62	4.69	7.50
June	3.03	4.53	4.49	7.19
July	3.47	4.27	4.57	7.31
August	3.97	4.18	4.85	7.76
September	5.01	4.8	5.12	8.19
October	5.38	5.35	5.21	8.33
November	5.59	6.03	5.14	8.22
December	4.97	4.89	5.07	8.11



Gambar 4.27 Diagram Perbandingan hasil Potensi Radiasi Matahari

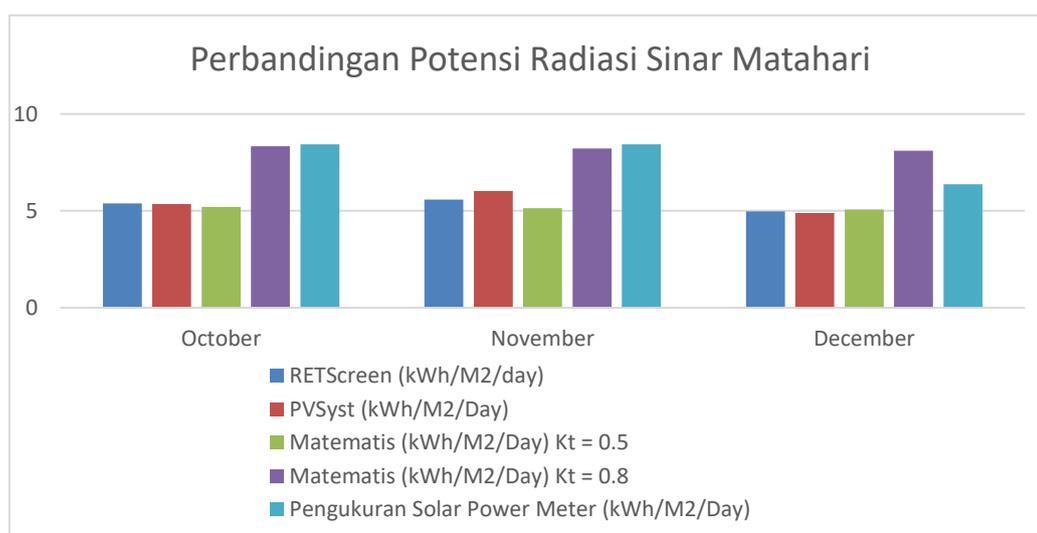
#### 4.4.5 Pengukuran Potensi Energi Sinar Matahari

Untuk mendapatkan data yang semakin tervalidasi maka hasil dari perhitungan matematis dan hasil dari perangkat lunak membutuhkan data pembandingan yang diukur sesuai dengan kondisi yang terjadi di lapangan. Alat ukur yang digunakan adalah solar power meter. Periode pengukuran hanya 3 bulan di mulai dari bulan Oktober sampai Desember. Dengan membandingkan hasil hasil

yang di dapat dari kajian matematis dan dengan menggunakan perangkat lunak maka didapatkan hasil perbandingan sebagai berikut sesuai tabel 4.13 dan gambar 4.28:

Tabel 4.13 Perbandingan Radiasi Sinar Matahari dengan Pengukuran Manual di Lapangan

Bulan	RETScreen (kWh/M2/day)	PVSyst (kWh/M2/Day)	Matematis (kWh/M2/Day) Kt = 0.5	Matematis (kWh/M2/Day) Kt = 0.8	Pengukuran Solar Power Meter (kWh/M2/Day)
October	5.38	5.35	5.21	8.33	8.44
November	5.59	6.03	5.14	8.22	8.43
December	4.97	4.89	5.07	8.11	6.38



Gambar 4.28 Perbandingan Radiasi Sinar Matahari dengan Pengukuran Manual di Lapangan

#### 4.5 Pemanfaatan Energi Surya Melalui Pemasangan Panel Surya

Dengan besarnya potensi energi matahari yang bisa di bangkitkan dengan menggunakan Panel Surya, maka penambahan penggunaan panel surya dalam konversi energi memungkinkan untuk di lakukan.

Ada beberapa skenario dalam memanfaatkan energi matahari dalam penggunaan bus listrik. Yang pertama adalah dengan menambahkan panel surya diatas atap bus dan akan menambah jarak tempuh dari bus dengan karena energi

matahari langsung di konversi ke energi listrik dan langsung mengisi daya battery dari bus listrik. Skenario kedua adalah dengan memasang panel surya di tempat *pool* bus yang akan di manfaatkan untuk mengisi daya battery dari bus pada saat bus tidak beroperasi.



Gambar 4.29 Bus Listrik BYD C-10 (BDY, 2018)

Bus yang di pakai contoh dalam penelitian ini adalah BYD C-10. Bus ini dipilih karena memiliki kapasitas untuk pengangkutan yang paling besar dalam semua produk BDY yang sesuai dengan karakteristik bus untuk antar jemput karyawan.

Untuk panel surya di pilih 3 manufactur dari 3 negara ternama yang sudah memiliki spesialisasi dalam pembuatan panel surya seperti Canadian Solar, Sharp dan Jinko Solar.

Perbandingan kelebihan dan kekurangan dari ketiga panel yang dijadikan referensi bahan panel surya dalam penelitian seperti pada table 4.14



\*Transparent double-glass module

Gambar 4.30 Panel Surya dari Canadian Solar (Can19)

The image displays a Jinko Solar solar panel on the left, tilted to show its surface. To the right is a list of key features with corresponding icons:

- KEY FEATURES**
- Diamond Cell Technology**  
Uniquely designed high performance 5 busbar mono PERC half cell
- Higher Module Power**  
Decrease in current loss yields higher module efficiency
- Shade Tolerance**  
More shade tolerance due to twin arrays
- PID FREE**  
Reinforced cell prevents potential induced degradation
- Strength and Durability**  
Certified for high snow (5400 Pa) and wind (2400 Pa) loads

Gambar 4.31 Panel Surya dari Jinko Solar (Jin19)



Gambar 4.32 Panel Surya dari Sharp (Sharp Corporation)

Tabel 4.14 Perbandingan kelebihan dan kekurangan masing masing panel surya

Paramater	Sharp	Canadian Solar	Jinko Solar
Efisiensi (%)	18.3	18.3	18.67
Panjang (mm)	1660	1658	1684
Lebar (mm)	990	992	1002
Tebal (mm)	50	58	35
Berat (Kg)	20	23	19
Temperature Coeff of Pmax (%/C)	-0.4%	-0.39%	-0.36%
Waranty produk (years)	10	10	10
Waranty Pout (years)	25	30	25

Untuk perbandingan ketiga panel surya berdasarkan spesifikasi data yang diberikan oleh masing masing pabrikan panel surya. Dari segi efisiensi Jinko solar dengan selisih 0.37% lebih efisien dibandingkan dengan Sharp atau Canadian yang memiliki nilai efisiensi yang sama sebesar 18.3%. Untuk dimensi ketiga panel surya hampir memiliki ukuran yang sama hanya saja Jinko solar paling tipis dan paling ringan di antara panel surya Sharp dan Canadian Solar. Koefisien temperature adalah parameter yang menentukan rugi akibat temperature permukaan pada panel surya. Makin besar koefisien nya makin besar rugi nya. Jinko solar masih memiliki koefisien rugi yang paling kecil di bandingkan dengan yang lain. Untuk garansi Canadian solar bisa memberikan garansi yang lebih lama dari panel yang lain.

Perlu di teliti juga bagaimana kemampuan dan efisiensi masing masing panel surya yang di hasilkan oleh masing masing pabrikan. Beberapa parameter yang sengaja dibuat untuk pengujian dari ketiga pabrikan panel surya adalah sebagai berikut. Luas area maksimum sudah di tentukan dan tidak boleh melebihi area tersebut. Total modul panel surya yang di butuhkan sudah di tentukan sehingga akan memudahkan dalam menganalisa dari sisi perawatan. Hasil yang di dapat sebagai berikut:

Tabel 4.15 Hasil Perbandingan 3 Pabrikan Panel Surya

Manufacture PV	Luas Area (m <sup>2</sup> ) Dibutuhkan	Daya (kWp) STC	Daya (kWp) NOCT	Performance Ratio	Produce Energy (MWh/Year)
Sharp	49.3	9	8.18	79.11%	12.47
Jinko Solar	49.1	9.15	8.29	79.64%	12.76
Canadian Solar	49.8	9	8.17	82.50%	13

Dari ketiga pabrikan panel surya, untuk pemasangan di area plant site gate 1 dengan maksimal area yang di bolehkan sebesar 50 m<sup>2</sup> dengan jumlah panel surya maksimal 30 panel maka performa paling baik di tunjukkan oleh Canadian Solar, diikuti dengan Jinko Solar dan yang terakhir adalah sharp. Hal ini sejalan dengan Jinko dan Canadian solar yang masuk dalam top 3 pabrikan terbaik panel surya (Colville, 2018).

#### 4.5.1 Penambahan Panel Surya di Atas Atap Bus

Penambahan solar panel di atas atap bus listrik di tujukan untuk memanfaatkan ruang kosong dengan memanfaatkan potensi energi surya yang melimpah di area operasional PT Vale Indonesia. Dengan mengkombinasikan antara energi listrik dari grid dan juga energi listrik dari solar panel di harapkan ada penurunan daya yang di ambil dari jaringan listrik yang di gantikan energi listrik dari panel surya. Untuk panel surya di dapatkan spesifikasi yang sudah banyak tersedia di pasaran

Tabel 4.16 Spesifikasi Panel Surya (Sharp Corporation)

Electrical data (NOCT)			
		NUSC360	
Maximum power	$P_{max}$	268	$W_p$
Open-circuit voltage	$V_{oc}$	43.8	V
Short-circuit current	$I_{sc}$	7.88	A
Voltage at point of maximum power	$V_{mpp}$	35.9	V
Current at point of maximum power	$I_{mpp}$	7.47	A

Module operating temperature at 800 W/m<sup>2</sup> irradiance, air temperature of 20 °C, wind speed of 1 m/s.

Tabel 4.17 Dimensi Panel Surya (Sharp Corporation)

Mechanical data	
Length	1,956 mm
Width	992 mm
Depth	40 mm
Weight	26 kg

Dengan spesifikasi panel surya di atas maka akan di dapatkan daya keluaran Pmax 268 watt dengan kondisi solar irradiance 800 W/m<sup>2</sup>. Jika di lihat dari table 12 solar irradiance maka daya keluaran panel surya adalah 268 watt

Tabel 4.18 Kapasitas Power Terrain Bus Listrik

**Power Terrain Bus Listrik**

Battery Capacity	420	kwh
Operating Efficiency	1	Kwh/km
Distance	60	Km
Power Consume	60	Kwh

(Related to Travel Distance)

Tabel 4.19 Daya Listrik Dari Panel Surya

**Calculation**

Max Power to 12 Panel	3.216	Kw
Operating sun Hours	10	HRS
	32.16	kWh

Dari hasil perhitungan dengan memperhatikan spesifikasi teknis dari panel surya keluaran sharp dan juga spesifikasi *power terrain* dari bus listrik BDY maka di peroleh hasil energi yang di konversi oleh panel surya tidak mencukupi kebutuhan energi untuk operasional dari pagi sampai sore.

Dalam 1 hari jarak tempuh bus untuk keperluan pengantaran karyawan dan juga anak sekolah untuk melayani area salonsa adalah 148.4 Km. Dengan asumsi kondisi area perjalanan untuk keperluan pengantaran karyawan dan pengantaran anak sekolah tidak ada halangan dan sinar matahari bisa langsung jatuh tanpa terhalang di bidang panel surya maka energi yang mampu di hasilkan dari pukul 6 pagi sampai 6 malam adalah 32.16 kWh sedangkan energi yang dibutuhkan untuk keperluan operasional bus dalam 1 hari adalah 150 kWh. Sehingga penambahan panel surya di atas atap hanya memenuhi kebutuhan 22% dari operasional 1 hari.

Untuk bus yang melayani area Wawondula dalam 1 hari menempuh jarak 200 Km. Dengan asumsi kondisi area perjalanan tidak terhalang pepohonan tinggi dan gedung tinggi sehingga sinar matahari bisa langsung mengenai panel surya yang ada di atas atap, maka energi yang bisa di hasilkan sebesar 32.17 kWh. Untuk keperluan operasional bus memerlukan 200 kWh sehingga untuk area pengantaran wawondula penambahan panel surya diatas atap bus hanya bisa memenuhi 16% kebutuhan energi harian dari bus listrik tersebut.

Kondisi yang tidak sama ditemui untuk pengantaran karyawan ke area Wasuponda dan area Malili. Seperti yang sudah di jelaskan dalam sub bab 4.1.2 area kanan kiri jalan banyak ditumbuhi pepohonan tinggi sehingga akan menghalangi sinar matahari untuk jatuh ke permukaan panel surya. Sehingga akan ada pengurangan energi yang di hasilkan. Secara kualitatif untuk perjalanan ke Wasuponda akan mengurangi 20% daya yang dihasilkan dan untuk area malili sekitar 30%. Asumsi diambil dengan cara menghitung berapa panjang area yang tertutupi pohon yang tinggi di kanan kiri jalan di bagi dengan total jarak yang di tempuh. Jarak yang di tempuh untuk area pengantaran Wasuponda adalah 193 Km dan untuk keperluan operasional sehari hari membutuhkan daya 193 kWh. Hanya

13% dari kebutuhan daya satu hari yang bisa di penuhi dengan penambahan panel surya. Untuk area malili jarak yang di tempuh dalam satu hari adalah 295.8 Km dengan kebutuhan daya 295.8 kWh. Hanya 7% dari kebutuhan daya yang dapat di penuhi dengan penambahan panel surya.

#### 4.5.2 Penambahan Panel Surya Pada *Pool Bus*

Skenario kedua untuk memanfaatkan potensi energi surya yang ada di area operasional PT Vale Indonesia adalah dengan memasang grid connected panel surya di setiap *pool bus*. Ada 4 area yang di jadikan *pool bus* di masing masing area pengembangan (Sorowako, Wawondula, Wasuponda dan Malili) Area Sorowako *pool bus* masih menggunakan jaringan listrik perusahaan yang terpisah dengan jaringan listrik milik pemerintah. Untuk ketiga area lain nya sudah memakai jaringan listrik milik pemerintah dan tidak menggunakan jaringan listrik perusahaan.

Limitasi yang di gunakan untuk menganalisa besarnya daya yang di bangkitkan adalah besarnya luasan areal yang bisa di pasang panel surya. Karena lokasi tempat *pool bus* biasanya di tengah pemukiman dengan tidak ada lahan kosong di sekitarnya.

Untuk menganalisa penggunaan optimal dari panel surya yang akan di pasang khusus nya untuk menentukan seberapa besar area yang dibutuhkan, seberapa besar daya yang bisa di hasilkan dan bagaimana konfigurasi dari pemasangan panel surya di setiap *pool bus* digunakan perangkat lunak PVSyst. Untuk analisa pertama digunakan panel surya keluaran sharp. Hasil yang di peroleh adalah sebagai berikut

Tabel 4.20 Hasil Simulasi PVSyst Pemasangan Panel Surya di *Pool Bus*

Lokasi	Luas Area (m2) Tersedia	Luas Area (m2) Dibutuhkan	Daya (kWp) STC	Daya (kWp) NOCT	PV Modules		Total PV Modules
					Series	Paralel	
Transport	100	98.6	18	16.35	20	3	60
Gate 1	50	49.3	9	8.18	6	5	30
Wawondula	35	32.9	4.8	4.3	4	4	16
Wasuponda	30	29.6	5.4	4.9	6	3	18
Malili	60	59.2	10.8	9.81	6	6	36

Jika dilihat dari daya yang dihasilkan oleh panel surya yang terpasang di setiap *pool* bus masih belum mencukupi daya yang di butuhkan untuk operasi bus dalam 1 hari. Dengan demikian pemasangan panel surya pada lokasi *pool* bus bisa digunakan untuk keperluan daya aktifitas sehari hari di dalam kantor dan juga untuk menambah daya jangkau dari bus listrik itu sendiri, dengan kata lain charger yang berasal dari energi yang di hasilkan dari panel surya hanya untuk klasifikasi level II (Pokrzywa, 2010).

#### **4.5.3 Penempatan Lokasi Pengisian Daya Bus Listrik**

Dari hasil simulasi penggunaan panel surya baik yang di tempatkan di atap bus atau pun yang di pasang di *pool* bus belum ada yang bisa memberikan kapasitas pengisian daya battery seperti yang di sebutkan dalam spesifikasi teknikal bus listrik. Dengan demikian kemampuan pengisian daya cepat yang tertera di spesifikasi tersebut belum bisa di manfaatkan dan dibutuhkan waktu yang lebih lama untuk mengisi penuh daya battery bus.

Diperlukan sebuah fasilitas dengan kapasitas jaringan PT Vale Indonesia yang bisa dipergunakan untuk pengisian daya cepat dari battery bus listrik tersebut. Dengan kelebihan daya listrik sebesar 21 MW, untuk menunjang konversi energi ini dibutuhkan fasilitas pengisian battery dengan kapasitas 1 MW untuk 10 stasiun pengisian battery. Agar biaya investasi tidak terlampau besar penempatan nya harus sedekat mungkin dengan fasilitas yang mempunyai koneksi dengan jaringan PT Vale Indonesia. Salah satu tempat yang paling memungkinkan dimana semua bus akan bersiap untuk menurunkan dan menaikkan penumpang adalah di gate 1 plant site. Disini bus bisa mengisi daya battery sambil menunggu jeda antara mengantar karyawan yang masuk kerja dengan karyawan yang pulang kerja.



Gambar 4.33 Kondisi Gate 1 Plant Site

#### 4.6 Analisis Ekonomis

Analisis ekonomi untuk konversi ini di bagi menjadi 2 bagian utama yaitu analisis ekonomis penggantian bus konvensional dengan menggunakan bahan bakar solar dengan bus listrik, yang kedua adalah analisis ekonomi dengan pembahasan pemasangan panel surya di atap bus dan juga di *pool* bus.

##### 4.6.1 Penggantian Bus Listrik dengan Pengsisian Daya dari Jaringan PT Vale Indonesia

Beberapa asumsi di gunakan untuk menentukan apakah konversi energi ini secara ekonomis layak di lakukan. Asumsi pertama adalah besaran *discount rate* sebesar 2% (J Zhuang, 2007). Kenaikan harga disel pertahun adalah sebesar 2.5%. Harga solar industri untuk sector bisnis tambang berada di harga IDR 14,297 (Harga Pertamina September 2018). Konversi ke nilai dollar adalah 1.01 USD per liter. Harga dari bus listrik sebesar USD 300,000 (Alison Leung, 2015). Untuk perhitungan sampai 10 tahun maka nilai NPV berada dalam rentang positif yang menandakan bahwa secara ekonomis konversi ini layak. Tetapi jika ingin kembali modal dalam waktu kurang dari 10 tahun maka secara ekonomis konversi ini tidak layak di lakukan. Banyak factor yang menyebabkan nilai NPV menjadi positif

seperti kenaikan harga solar industri untuk sector tambang yang tinggi dan juga adanya pengurangan pajak pembelian bus listrik yang di keluarkan oleh pemerintah. Dalam beberapa penelitian untuk analisis kelayakan ekonomi di pakai waktu 20 tahun untuk perhitungan NPV dengan 2 alasan yang pertama harga investasi awal dari bus listrik yang masih sangat mahal karena keterbatasan teknologi battery dan yang kedua adalah estimasi umur battery pack dari bus itu sendiri (Dan Bi Bak, 2018).

Tabel 4.21 Perbandingan Skenario untuk Analisis NPV Penggantian Bus Listrik

Skenario	Discount Rate	Years Estimate	Fuel Price Increase Yearly	Result
1	2	15	2.50%	Positive NPV
2	2	15	0.00%	Negative NPV
3	2	16	0.00%	Positive NPV

#### 4.6.2 Penambahan Panel Surya di Atas Atap Bus

Penambahan panel di atas bus dengan memanfaatkan ruang kosong perlu lebih di kaji secara mendalam. Secara perhitungan ruang kosong yang ada di atas bus didapatkan panel surya bisa di tempatkan sebanyak 12 panel. Dengan asumsi harga panel surya 250 USD per panel dan inverter 600 USD maka di dapatkan investasi awal 850 USD untuk mendapatkan 32.16 kWh. Sehingga cost per kWh menjadi 26.5 USD. Harga ini masih mahal dibandingkan dengan harga tariff listrik dari PLN yang hanya sebesar 1467 IDR/kWh atau 0.1 USD/kWh.

Jika ingin mendapatkan potensi panel surya secara maksimal maka sebaiknya pengantaran area Sorowako bisa di tambahkan PV sehingga konsumsi daya bus listrik sepenuhnya bisa di ambil dari panel surya. Untuk area Wawondula dengan simulasi pengisian daya battery sebesar 420 kWh dikalikan dengan tariff dasar listrik maka secara perhitungan NPV sampai 20 tahun masih menunjukkan nilai NPV negative.

#### 4.6.3 Penambahan Panel Surya di *pool* Bus

Penambahan panel surya di di tempat *pool* bus secara perhitungan juga tidak ekonomis karena kelebihan daya PT Vale Indonesia yang masih mencukupi untuk kebutuhan pengisian daya battery semua bus listrik yang ada. Secara emisi gas rumah kaca karena pembangkitan listrik juga PT Vale Indonesia tidak melebihi ambang batas karena sumber daya yang di pakai adalah PLTA yang bebas emisi gas rumah kaca.

Untuk area Malili diperkirakan tambahan investasi untuk penerapan panel surya sebesar USD 11,106 dengan daya yang di hasil kan sekitar 10.8 kWp. Hal ini tentunya jauh lebih mahal di bandingkan dengan tariff PLN yang masih sebesar IDR 1.467,28 per kWh.

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Pemakaian bahan bakar solar untuk kegiatan transportasi karyawan sebanyak 13% dari total pemakaian bahan bakar solar yang di gunakan oleh PT Vale Indonesia. Emisi gas buang yang bisa di hilangkan oleh konversi energi ini adalah sebesar 2800 kg CO dan 1,2 JT Kg gas CO<sub>2</sub> . Pemilihan konversi energi untuk bus karyawan sebagai tahap awal didasari oleh perbaikan kualitas udara di area yang pemukiman karyawan. Bus karyawan merupakan sumber emisi yang bersentuhan langsung dengan area pemukiman. Dengan mengganti bus karyawan dengan energi listrik maka secara langsung kualitas udara di area pemukiman yang di lewati oleh bus karyawan akan menjadi lebih baik serta mendukung program perusahaan untuk mendapatkan predikat GREEN PROPER

Analisa potensi panel surya menggunakan perangkat lunak PVSyst untuk mendapatkan analisa yang comprehensive. Potensi energi surya yang ada di area operasional PT Vale Indonesia bisa di manfaatkan untuk mengurangi jumlah pemakaian daya yang dibutuhkan dalam pengisian energi bus karyawan. Dengan menambahkan panel surya di atas atap bus karyawan bisa mengurangi 22% konsumsi daya untuk bus yang melayani pengantaran area Sorowako dan akan terus berkurang presentase nya seiring meningkatnya jarak tempuh bus. Untuk penambahan panel surya yang terpasang di pool bus memiliki sejumlah keterbatasan terutama masalah area tempat panel surya di pasang.

Dari analiasa kelayakan ekonomis didapatkan konversi energi ini layak dilakukan. Dengan pemakaian solar sebanyak 450,000 liter pertahun nilai perhitungan NPV menunjukan angka yang positif. Sedangkan untuk penambahan panel surya baik di atas atap maupun di *pool* bus secara matematis tidak ekonomis untuk di lakukan.

#### **5.2 Saran**

Untuk konversi bahan bakar solar menjadi energi listrik dibutuhkan peran pemerintah untuk kompensasi dan kemudahan pengadaan bus listrik. Walaupun nilai NPV yang di dapat sekarang menunjukkan nilai positif tapi dengan fluktuasi

harga solar bisa memungkinkan nilai NPV menjadi negative dan menjadikan konversi energi ini tidak layak di lakukan

## DAFTAR PUSTAKA

**A Luque S Hegedus** Handbook of photovoltaic science and engineering [Book]. - [s.l.] : Wiley, 2003. - Vol. 1138.

**A Malik LC Ming, TK Sheng, M Blundell** Influence of temperature on the performance of photovoltaic polycrystalline silicon module in the Brunei climate [Journal]. - [s.l.] : ASEAN Jurnal Science Technology, 2010. - Vol. 26.

**A Nicholls R Sharama, TK Saha** Financial and enviromental analysis of roof top photovoltaic installation with battery storage in Austalia [Journal]. - [s.l.] : Applied Energi, 2015. - Vol. 159.

**AA Parmar SK Dave, PG Pithadiya, VM Vasaiya** Efficiency improvement technologies of solar PV power plant [Journal]. - [s.l.] : Int J Adv Eng Res Dev, 2015. - Vol. 2.

**Adolfo Perujo Christian Thiel, Francoise Nemry** Electric vehicle in an urban context : Enviromental benefit and techno-economic barriers [Journal]. - Croatia : Soyly, 2011.

**AJ Hickman** Methodology for calculating transport emission and energi consumption [Journal]. - [s.l.] : Transport Research Laboratory, 1999.

**Al harbi N Euginio, S Al Zahrani** Photovoltaic thermal solar energi experiment in Saudi Arabia [Journal]. - [s.l.] : Renewable Energi, 1998. - Vol. 15.

**Alison Leung Yan Fang** BYD Sees Sizeable New Energi Car Profit from 2015 [Online] // Reuters. - 2015. - <http://mobile.reuters.com/article/idUSTRE6BJ1SW20101220?irpc=932..>

**Almorox J Hontoria C** Global solar radiation estimation using sunshine duration in Spain [Journal]. - Spain : Energi Cover Manage, 2004. - Vol. 45.

**AS Ingole BS Rakhonde** Hybrid power generation system using wind energi and solar energi [Journal]. - [s.l.] : International Jurnal Science Res, 2015. - Vol. 5.

**BDY** Datasheet C-10. - 2018.

**Blaschke T Biberacher M, Godocha S, Schardinger I** Energi landscapes: meeting energi demand and human aspiration [Journal]. - Austria : Biomass Bioenergi, 2013. - Vol. 55.

**Bostan I Gheorghe VD, Sabor I, Bostan V, Sochirean A** Resilient energi system [Journal]. - Netherland : Springer Verlag, 2013.

**Boxwell M** The electrical guide - 2015 edition [Book]. - Coventry : Greensgtream Publishing Limited, 2014.

**BPPT dan KLH** Penilaian kebutuhan teknologi untuk perubahan iklim [Report]. - Jakarta : BPPT dan KLH, 2009.

Canadian Solar [Online]. - January 2, 2019. - <https://www.canadiansolar.com/solar-panels/dymond.html>.

**Chikh M** Modeling the diffuse part of the global solar radiation in Algeria [Journal]. - [s.l.] : Energi Procedia, 2012. - 1068-1075 : Vol. 18.

**Colville Finlay** PV-Tech Org [Online]. - 2018. - January 7, 2019. - <https://www.pv-tech.org/editors-blog/top-10-module-suppliers-in-2017>.

**CORINAIR** Atmosphoric emission inventory guide book 3 th edition [Report]. - [s.l.] : European Environment Agency, 2009.

**D Goossens E Van Kerschaever** Aeolian dust depisition on photovoltaic solar cells; the effect on wind velocity and airborne dust concentration on cell performance [Journal]. - [s.l.] : Solar Energi, 1999. - Vol. 66.

**D Thakur A Arnav, A Datta, EVV Ramanamurthy** A Review on immersion system to increase the efficiency of solar panels [Journal]. - [s.l.] : Int J Adv Res, 2016. - 4 : Vol. 4.

**Dan Bi Bak Jae Seok Bak, Sung Yul Kim** Strategies for implementing public service electric bus lines by charging type in Daegu metropolitan city , South Korea [Journal]. - Korea : Sustainability, 2018. - Vol. 10.

**Dewan Energi Nasional** Indonesia Energi Outlook 2016 [Book]. - Jakarta : Kementrian ESDM, 2016.

**Dhameja S** Electric Vehicle Battery System [Book]. - [s.l.] : Newnes Boston, 2002.

**Durango-Cohen P.L., McKenzie, E.C** Trading off cost, enviromental impact, and level of service in the optimal design of transit bus fleet [Journal]. - [s.l.] : Procedia, 2017.

**E Kymakis S Kalykakis, TM Papazoglou** Performance analysis of a grid connected photovoltaic park on the island of Crete [Journal]. - [s.l.] : Energi Conversion Manage, 2009. - Vol. 50.

**Ehsanul Kabir Pawan Kumar, Sandeep Kumar, Adedeji A Adelodun, Ki-Hyun Kim** Solar Energi : Potential and future prospek [Journal]. - Bangladesh : Renewable and sustainable energi reviews, 2017. - Vol. 82.

**Erjavec** Hybrid, electric and fuel cell vehicles [Journal]. - New York : Cengage Learning, 2012.

**Federico Millo Luciano Ronaldo, Rocco Fuso, Fabio Mallamo** Real Co2 emission benefit and end user's operating cost of a plug in hybrid electric vehicle [Journal]. - Tarino : Applied Energi, 2014. - 114.

**G Markrides B Zinsser, M Norton, G Georghiou** Performance of photovoltaic under actual operating condition [Journal]. - [s.l.] : ArXiv, 2012. - Vol. 1011.

**GC Piciu CL Tricia** A posible classification of renewable resource in the context of sustainable development [Report]. - 2014.

**Grauers A Sarasini S, Karlstrom M** Why electromobility and what in it? [Journal]. - [s.l.] : Chalmers, 2013.

**Guney Mukrimin Sevket** Solar Power and Aplication Methods [Journal]. - Turkey : Renewable and Sustainable Energi Reviews, 2016. - Vol. 57.

**Ihsan Ali GM Shafiulla, Tania Urnee** A preliminary feasibility of roof mounted solar PV system in the Maldives [Journal]. - Australia : Elsevier, 2017. - 2018 : Vol. 83.

**Imam Abadi Ali Musyafa, Adi Soeprijanto** Design and Implementation of Active Two Axes Solar Tracking System Using Particle Swarm Optimization Based Fuzzy Logic Controller [Journal]. - Surabaya : International Review on Modeling and Simulation , 2015. - Vol. 8.

**IPPC** Direct Solar Energi Tech [Online]. - 2011. - [http://www.ipcc-wg3.de/report/IPCC\\_SRREN\\_ch03.pdf](http://www.ipcc-wg3.de/report/IPCC_SRREN_ch03.pdf).

**IRENA** Off Grid Renewable Energi System: Status and Methodological issue [Report]. - 2015.

**IRENA** Renewable Power Generation Cost in 2014 [Online] // Irena Org. - 2015. - [http://www.irena.org/documentdownloads/publications/irena\\_re\\_power\\_costs\\_2014\\_report.pdf](http://www.irena.org/documentdownloads/publications/irena_re_power_costs_2014_report.pdf).

**J Zhuang Z Liang, T Lin, F De Guzman** Theory and practice in the choise of social discount rate for cost benefit analysis [Journal]. - [s.l.] : ERD Work Paper Service, 2007. - Vol. 94.

**Jens Hagman Sofia Ritzen, Jenny Janhager Stier, Yusak Susilo** Total cost of ownership and its potential implication for battery electric vehicle diffusion [Journal]. - [s.l.] : Research in Transportation Business and Management, 2016. - Vol. 18.

Jinko Solar [Online]. - January 4, 2019. - <https://www.jinkosolar.com/ftp/EaglePercG2%20JKM315-335M-60HL-A1-US.pdf>.

**K John Holmes Ellen Mantus** The plug in electric vehicle system from technologies to consumers [Journal]. - Washington : Electric Vehicle Symposium, 2016. - 2016 : Vol. 8.

**Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral** Kajian emisi gas rumah kaca sektor transportasi [Report]. - Jakarta : Puslit Kementerian ESDM, 2012.

**Kementerian ESDM** Kajian Penyediaan Dan Pemanfaatan Migas, Batu bara, EBT dan Listrik // Kajian Penyediaan Dan Pemanfaatan Migas, Batu bara, EBT dan Listrik. - Jakarta : [s.n.], 2017.

**Kementerian ESDM** Kajian Substitusi Gas Dengan Energi Lain Pada Sektor Industri [Book]. - Jakarta : Pusat Data Dan Teknologi Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral, 2013.

**Kementerian ESDM** Pemaparan Energi Baru dan Terbarukan // Pemaparan Energi Baru dan Terbarukan. - Jakarta : Kementerian ESDM, 2015.

**Kementerian Lingkungan Hidup** Metodologi Penghitungan Tingkat Emisi Gas Rumah Kaca [Book]. - Jakarta : Kementerian Lingkungan Hidup, 2012.

**Khan Ribero SS Kobayashi, M Bautre, J Gasca** Transportasi dan prasarananya dalam perubahan iklim 2007 [Journal]. - New York : Cambridge University Press, 2007.

**Komoto K** Energi from the dessert [Report]. - [s.l.] : IEAPVPST 801, 2015.

**Kwo Young Caisheng Wang, Le Yi Wang, Kai Strunz** Electric Vehicle Battery Technologies [Book Section] // Electric Vehicle Integration into modern power networks. - [s.l.] : Power Electronic and Power System, 2013.

**Lajunen A., Lipman, T** Lifecycle cost assessment and carbon dioxide emission of diesel, natural gas, hybrid electric, fuel cell hybrid and electric transit bus [Journal]. - California : Elsevier, 2016. - Vol. 106.

**Lubis Abubakar** Energi berkelanjutan dalam pembangunan berkelanjutan [Journal]. - Jakarta : Jurnal Teknik Lingkungan , 2007. - 2 : Vol. 8.

**M Gohul T Jayachandran, AMS Ali, TG Raju** A new design of grid tie inverter for grid interactive solar photovoltaic power generation - an inovative option for energi conservation and security [Journal]. - [s.l.] : Power, 2011. - Vol. 7109.

**MA Ramli E Prasetyono, RW Wicaksana, NA Windarko, K Sedraoui, YA Al Turki** On the investigation on photovoltaic output power reduction due to dust accumulation and weather condition [Journal]. - [s.l.] : Renewable Energi, 2016. - Vol. 99.

**Mahmoud M., Garnett, R., Ferguson, M., Kanaroglou** Electric Buses : A review of alternative powertrains [Journal]. - Canada : Elsevier, 2016. - May 2016 : Vol. 62.

**Manajit Sengupta Yu Xie, Anthony Lopez** The National Solar Radiation Data Base [Journal]. - United States : Elsevier, 2017. - 2018 : Vol. 89.

**Marco Ernst Andrew Thomson, Ingrid Haedrich, Andrew Blakers** Comparison of ground based and satellite based irradiance data for photovoltaic yield estimation [Journal]. - Australia : Procedia, 2016. - Vol. 92.

**Michael Brylawski Amory Lovins** Smart Gerage Charrette Report [Online] // RMI.Org (Rocky Mountain Institute. - 2008. - January 4, 2019. - [https://rmi.org/wp-content/uploads/2017/05/RMI\\_Document\\_Repository\\_Public-Reprts\\_SmartGarageCharretteReport\\_2.10.pdf](https://rmi.org/wp-content/uploads/2017/05/RMI_Document_Repository_Public-Reprts_SmartGarageCharretteReport_2.10.pdf).

**Monzur Alam Imteaz Amimul Ahsan** Solar Panel Real Efficiency, potential production and pay back periods for major Australian cities [Journal]. - [s.l.] : Sustainable Energi Technologies and Assessment, 2018. - Vol. 25.

**NREL** [Online]. - 2015. - [http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency\\_chart.j](http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.j).

**Pokrzywa J** SAE ground vehicle standards smartgrid [Online] // SAE Taipe. - 2010. - <http://sae-taipei.org.tw/image/1283265726.pdf>.

**REN21** Renewable energi policy network for the 21 st century [Online] // Renewables 2017 global status report. - January 1, 2019. - <http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report/>.

**S Edelstein** Electric Car Price Guide [Online] // Green Car Reports. - 2017. - February 10, 2017. - [http://www.greencarreports.com/news/1080871\\_electric-car-price-guide-every-2015-2016-plug-in-car-with-specs-updated](http://www.greencarreports.com/news/1080871_electric-car-price-guide-every-2015-2016-plug-in-car-with-specs-updated).

**S Griffiths R Milis** Potential roof top solar photovoltaic in the energi system evolution of the United Arab Emirates [Journal]. - [s.l.] : Energi Strategy, 2016. - Vol. 9.

**S Mekhilef R Saidur, M Kamalisarvestani** Effect of dust, humidity and air velocity on efficiency of photovoltaic cell [Journal]. - [s.l.] : Renewable Sustainable Energi Rev, 2012. - Vol. 16(5).

**Sekjen Dewan Energi Nasional** Indonesia Energi Outlook 2016 [Book]. - Jakarta : Dewan Energi Nasional, 2016.

**SH Aly** Emisi Transportasi [Book]. - Jakarta : Penebar Plus, 2016.

**SH Aly** Studi Emisi kendaraan bermotor dengan metode international vehicle emission model [Journal]. - Jakarta : FSTPT International symposium, 2013.

**Sharp Corporation** Sharp Data Sheet [Online]. - ww.sharp.EU.

**SM Robaa** Validation of the existing models for estimating global solar radiation over Egypt [Journal]. - [s.l.] : Energi Convers Manage, 2009. - 1 : Vol. 50.

**SN Jha** A text of automotive technology [Journal]. - New Delhi : Goyal Brothers Prakhasan, 2013.

**Stoffel T Reda I, Myers D, Renne D** Current issue in terrestrial solar radiation instrumentation for energi, climat and space application [Journal]. - [s.l.] : Metrologia, 2000. - 2000 : Vol. 37.

**Sunu** Melindungi lingkungan dengan menerapkan ISO 14001 [Book]. - Jakarta : PT Grasindo, 2001.

**The World Bank** Solar Resource and Photovoltaic potential of Indonesia [Report]. - Washington DC : The World Bank, 2017.

**TM Bruton** General trends about photovoltaics base on crystalline silocon [Journal]. - UK : Elsevier, 2002. - 2002 : Vol. 72.

**UNEP and Bloomberg** Global trends in renewable energi investment [Online] // UNEP center ORG. - 2016. - [http://fs-unesp-center.org/sites/default/files/publications/globaltrendsinrenewableenergiinvestmen t2016owres\\_0.pdf](http://fs-unesp-center.org/sites/default/files/publications/globaltrendsinrenewableenergiinvestmen t2016owres_0.pdf).

**Vepachedu Sreenivasarao** History of electric car [Journal]. - Mumbai : Vepachedu Educational Inc, 2017. - 160.

**Volkswagen Group Of America Inc** Basic of electric vehicles design and function [Book]. - [s.l.] : Volkswagen Acamedy, 2013. - Vol. 7.

**Wardhana** Dampak Pencemaran Lingkungan [Book]. - Yogyakarta : Andi Offset, 1995.

**WoodMackenzie** Oil Price Outlook [Report]. - [s.l.] : Wood Mackenzie, 2015.

**Xylia Maria** Impact of Bus Electrification on Carbon Emission [Journal]. - Stockholm : Elsevier, 2018.

**Y Du CJ Fell, B Duck, D Chen, K Liffman, Y Zhang, M Gu, Y Zhu** Evaluation of photovoltaic panel temperature in realistic scenario [Journal]. - [s.l.] : Energi Convers, 2016. - Vol. 108.

**Ye Ma Ruo-Yu Ke** The Analysis of the battery electric vehivcle's potentiality of enviromental effect [Journal]. - Beijing : Elsevier, 2016. - Vol. 145.

**Z.S Gelmanova GG Zhabalova** Electric car advantage and disadvantage [Journal]. - Kazakhstan : IOP, 2018. - Vol. 1015.

*halaman ini sengaja dikosongkan*