

Potensi Energi Terbarukan di Sumatra Tahun 2020-2050 Menggunakan Long-range Energy Alternatives Planning System (LEAP)

Abeth Novria Sonjaya, Dolar Marpaung, Sri Wiji Lestari, Nur Witdi Yanto, Yeti Widyawati

Fakultas Teknologi Industri, Universitas Jayabaya, Jakarta, Indonesia

*) *Corresponding author*: abethw21@gmail.com

Abstract

In an effort to increase the value of the electrification ratio to 99.9% and the use of new and renewable energy (EBT) to 25% by 2025, a General Plan of National Energy (RUEN) is needed which is downgraded to the General Plan of Regional Energy (RUED). The potential of new renewable energy in the form of solar, hydro, geothermal and marine energy potential requires strategic policies to manage and meet energy security. This study aims to predict energy needs and map the potential of new renewable energy, so that a balanced energy mix is obtained. This research was conducted using Long-range Energy Alternatives Planning system (LEAP) software with a dynamic system approach method. The results of this study show that the potential of new renewable energy can be integrated in the RUED to meet the energy needs of the region. This research can produce predictions that CO₂ emissions are projected to increase 1.8-fold from 32.5 million tons in 2019 to 59.1 million tons in 2028, most plants are still dominated by Hydro Power from 2020-2050, and investors are constrained by high production costs, so that power plants in Sumatra are still dominated by fossil fuel power plants.

Abstrak

Dalam upaya meningkatkan nilai rasio elektrifikasi mencapai 99,9% dan pemanfaatan energi baru terbarukan (EBT) hingga 25% pada tahun 2025 diperlukan Rancangan Umum Energi Nasional (RUEN) yang diturunkan menjadi Rancangan Umum Energi Daerah (RUED). Potensi energi baru terbarukan baik berupa potensi energi surya, hidro, panas bumi maupun laut memerlukan kebijakan strategis untuk mengelola dan memenuhi ketahanan energi. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksikan kebutuhan energi dan melakukan pemetaan potensi energi baru terbarukan, sehingga diperoleh bauran energi yang seimbang. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan piranti lunak *Long-range Energy Alternatives Planning system* (LEAP) dengan metode pendekatan sistem dinamik. Hasil Penelitian ini menunjukkan bahwa potensi energi baru terbarukan dapat diintegrasikan dalam RUED untuk memenuhi kebutuhan energi di wilayah ini. Penelitian ini dapat menghasilkan prediksi bahwa emisi CO₂ diproyeksikan akan naik 1,8 kali lipat dari 32,5 juta ton pada tahun 2019 menjadi 59,1 juta ton pada tahun 2028, sebagian besar pembangkit masih didominasi oleh *hydro power* dari 2020-2050, dan investor terkendala biaya produksi yang tinggi, sehingga pembangkit listrik di Sumatera masih didominasi oleh pembangkit listrik bahan bakar fosil.

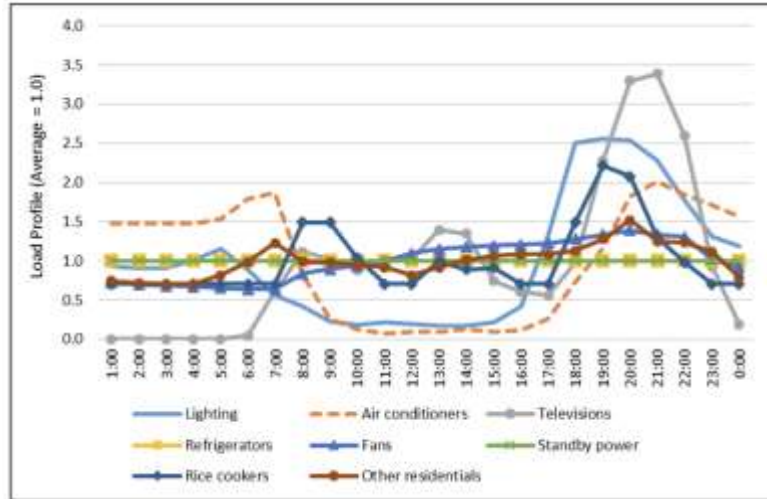
Kata Kunci: Sumatera, Energi Terbarukan, Long-range Energy Alternatives Planning system, emisi

PENDAHULUAN

Berdasarkan Keputusan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 Tentang Rancangan Umum Energi Nasional (RUEN) untuk mencapai nilai Rasio Elektrifikasi mencapai 99,9 % pada tahun 2025, maka untuk mendorong hal tersebut dengan harga Energi bersumber dari fosil akan mengalami penurunan sehingga inovasi dikembangkan pemanfaatan Energi Baru Terbarukan (EBT), secara nasional energy baru terbarukan memiliki bagian sebesar 23% dari pemanfaatan energi nasional dimana nilai 23% tersebut mencapai 92,2 MTOE atau setara dengan 45 Giga Watt (GW) [1][2][3]. Kebijakan-kebijakan mengenai energi nasional yang dibentuk agar dapat dijadikan sebagai payung hukum dalam hubungan kebijakan pemerintah mengenai energi. Disini Kebijakan Energi Nasional (KEN) dapat dijadikan sebagai acuan dalam menata dan juga mengelola energi Indonesia di masa mendatang khususnya untuk wilayah pulau Sumatra. KEN diterbitkan melalui Peraturan Pemerintah no. 79 Tahun 2014.

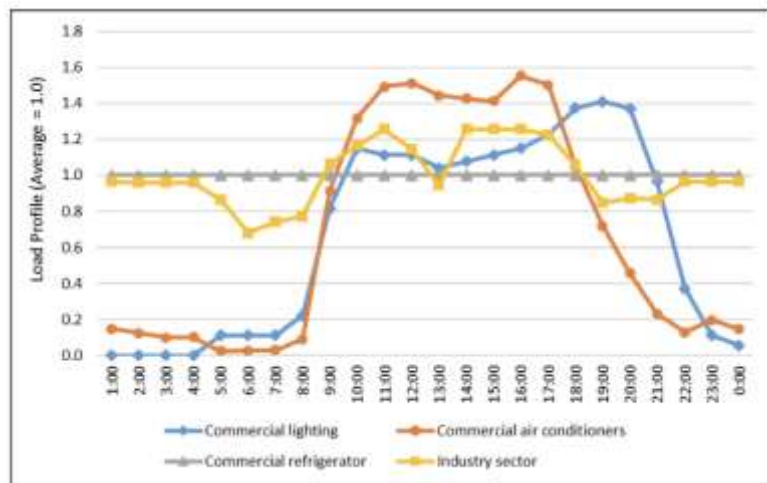
Hasil pemodelan pasokan energi primer EBT Indonesia dalam bauran energi primer tahun 2025 sebesar 23,0% (92,3 MTOE) dan pada tahun 2050 sebesar 31,2% (315,7 MTOE). Porsi bauran energi primer EBT tersebut sudah sesuai dengan target energi primer EBT dalam KEN yaitu pada tahun 2025 paling sedikit 23% dan pada tahun 2050 paling sedikit 31% [4]. Sumatra sebagai pulau dengan permintaan energi terbesar kedua di Indonesia [3], perlu mempertimbangkan sistem kelistrikan hingga tahun 2050 dengan perkiraan dan penyederhanaan. Kondisi penyediaan tenaga listrik di Pulau Sumatera mencakup kondisi sistem tenaga listrik di wilayah daratan dan kepulauan Sumatera. Total kapasitas terpasang pembangkit tenaga listrik pada tahun 2018 sekitar 13417 MW yang terdiri dari pembangkit PT PLN (Persero) sekitar 7656 MW, IPP sekitar 2368 MW, PPU sekitar 844 MW, Pemerintah sekitar 10 MW dan IO Non BBM sekitar 2539 MW. Panjang jaringan transmisi di Pulau Sumatera adalah sekitar 16888 kms dan gardu induk sekitar 386 unit dengan total kapasitas sekitar 23358 MVA. Panjang jaringan distribusi tenaga listrik sebesar 248236 kms (kilometer sirkuit) dan gardu distribusi berjumlah 105929 unit dengan total kapasitas 10604 MVA. Adapun konsumsi tenaga listrik termasuk konsumsi di luar wilayah usaha PT PLN (Persero) mencapai sekitar 47 TWh [3]. Hasil Focus Group Discussion (FGD) Sektor Sumber Daya Energi Mineral dan Pertambangan tahun 2014 dan Kementerian ESDM yang diolah oleh Bappenas 2014, kondisi sumber daya energi di untuk wilayah Sumatra memiliki potensi minyak bumi 5026,58 MMSTB, gas bumi 84,99 TSCF, panas bumi 12807 MWe, dan batubara 55,4 milyar ton [5].

Dalam pemodelan sistem kelistrikan, khususnya di Indonesia, dalam setiap pengamatannya selalu pendekatan per jam. Pada umumnya alat dan profil beban harian khususnya di sektor rumah tinggal menggunakan peralatan listrik (alat pendingin ruangan (*Air Conditioning*), memasak (yaitu, penanak nasi dan alat pemanas makanan), kipas angin, penerangan, lemari es, alarm, televisi (yaitu, tabung sinar katoda (*Cathode-Ray Tube*), plasma, layar kristal cair (LCD dan LED), mesin cuci pakaian dan pompa air dalam periode 24 jam. Begitu juga untuk di sektor komersil, industri, dan transportasi. Untuk membedakan variasi musiman dan hari-minggu pada profil beban harian. Namun, karena iklim di Indonesia adalah tropis dengan curah hujan yang melimpah, suhu tinggi, dan kelembaban tinggi di seluruh negeri, hanya satu profil beban karakteristik yang dipertimbangkan untuk setiap penggunaan akhir dan sektor dalam analisis ini. Selain itu, dalam mengasumsikan profil beban harian tetap tidak ada perubahan dalam periode analisisnya. Pemodelan perubahan dalam permintaan individu sulit dan di luar cakupan makalah ini. Profil beban penggunaan akhir yang digunakan di sektor perumahan dan sektor industri dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2.



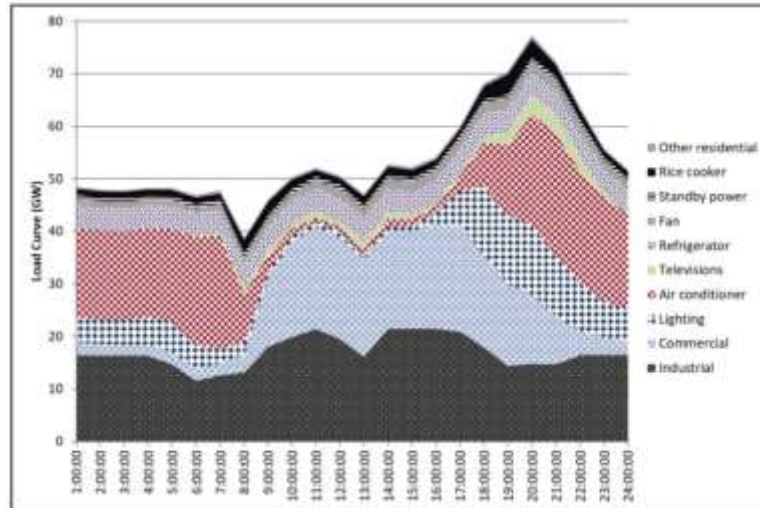
Gambar 1. Profil beban penggunaan akhir yang digunakan di sektor perumahan.[6]

Gambar 1 dan Gambar 2 menunjukkan profil beban yang dinormalisasi untuk berbagai sektor dan penggunaan akhir di sektor perumahan, komersial, dan industri di Indonesia. Permintaan daya siaga diasumsikan independent dari geografi, suhu, dan waktu, sehingga bentuk beban untuk penggunaan akhir ini dianggap konstan (distribusi rata). Permintaan daya lemari es dapat bervariasi dibandingkan dengan suhu sekitar, tetapi diasumsikan tidak tergantung pada geografi, suhu, dan waktu, sehingga bentuk beban untuk penggunaan akhir ini dianggap konstan (distribusi rata) serta pada jam operasi di sektor komersial dan industri terlihat profil beban yang lebih rendah saat waktu pembebanan 19.00-23.00 bila dibandingkan dengan sektor perumahan seperti yang terlihat dalam Gambar 3 terutama beban dari *rice cooker*, *standby power*, *fan*, *refrigerator*, *television*, dan *air conditioning*. Kurva beban akhir merupakan kerugian transmisi dan distribusi, yang mencapai 9,77% pada tahun 2015 (KESDM (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia), 2016). Perbedaan antara beban aktual dan model untuk 2011 dapat ditelusuri ke berbagai faktor. Tidak diragukan lagi adabeberapa penggunaan akhir, seperti beban plug kecil dan peralatan industri, tidak ditangkap oleh model. Selain itu, meskipun menyesuaikan profil beban alat yang digunakan untuk Indonesia berdasarkan survei perumahan yang dilakukan oleh ESDM pada tahun 2015.



Gambar 2. Profil beban penggunaan akhir yang digunakan di sektor komersial dan industri [6]

Energi terbarukan sebuah konsep energi terbarukan diperkenalkan pada tahun 1970 sebagai bagian dari usaha mencoba bergerak melewati pengembangan bahan bakar nuklir dan fosil. Definisi paling umum adalah sumber energi yang dapat dengan cepat diisi kembali oleh alam dan proses berkelanjutan. Di bawah definisi ini, bahan bakar nuklir dan fosil tidak termasuk ke dalamnya. Sumber energi ini belumlah banyak dimanfaatkan oleh banyak orang. Sumber energi ini dapat berasal dari alam [2].



Gambar 3. Kurva beban harian rata-rata Indonesia dalam skenario BAU pada tahun 2030 menurut penggunaan akhir dan sektor [6].

Sumber-sumber energi terbarukan memiliki beragam jenis diantaranya, energi air, matahari, angin dan lain sebagainya. Sumber energi terbarukan jika dapat dimanfaatkan dengan maksimal akan memberikan dampak kepada ketersediaannya energi bersih dimasa depan. Secara tidak langsung pemanfaatan energi terbarukan juga memberikan pengaruh yang besar terhadap keberlangsungan makhluk hidup lainnya [3].

M.R. Gaffari dan Nurhalim (2017) melakukan pemodelan yang berjudul Analisis Kebutuhan dan Penyediaan Energi Listrik Kota Pekanbaru Tahun 2015-2024 dengan menggunakan perangkat lunak LEAP. Prakiraan konsumsi daya dalam wilayah Pekanbaru dalam beberapa dekade mendatang di analisis dengan menggunakan perangkat lunak LEAP. Perhitungan yang dilakukan dengan meletakkan beberapa variabel konsumsi energi listrik dan pertumbuhan konsumsi energi listrik. Hasil analisa LEAP menunjukkan pertumbuhan konsumsi daya selama periode 2015-2024 sebesar 9,63% pertahun atau dengan kata lain peningkatan dari 1667.43% GWh menjadi 3943,04 GWh [7].

Sri Ulina *et al.* (2022) dalam penelitiannya Analisis Potensi Energi Baru dan Terbarukan Di Sumatera Utara sampai tahun 2028 menggunakan Software LEAP dinamakan potensi energi baru dan terbarukan di Sumatera Utara pada tahun 2028 yang sangat mempunyai potensi yaitu energi air, energi angin dan energi biomass. Energi air memiliki pertumbuhan potensi sebesar 3,7 juta megawatt-hours pada tahun 2028. Sedangkan, energi angin memiliki potensi sebesar 2,6 juta megawatt-hours dan energi biomass memiliki pertumbuhan potensi sebesar 27,0 juta megawatt-hours pada tahun 2028 [8].

Tampubolon *et al.* (2014) dalam penelitiannya yang berjudul Kajian Perencanaan Energi Listrik di Wilayah Kabupaten Sorong menggunakan perangkat lunak LEAP. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksikan besarnya tingkat konsumsi (permintaan) energi listrik tahun 2013 hingga 2020 per sektor tarif untuk Kabupaten Sorong. Selain itu dihitung pula jumlah pelanggan energi listrik Kabupaten Sorong dan elastisitas. Hasil yang diperoleh dari prediksi permintaan

energi listrik pada tahun 2013-2030 menunjukkan angka yang positif yaitu meningkat dari 2,5 MW menjadi 38,1 MW. Pertumbuhan rata-rata setiap tahunnya adalah 15,9% [9].

Surya *et al.* (2014) dalam penelitiannya berjudul *Perencanaan Kebijakan Dan Strategi Pengelolaan Energi Indragiri Hilir Menggunakan Model Long Range Energy Alternative Planning System (Leap)*. Dalam skenario *Business as Usual (BaU)* memprediksi upaya pencapaian kemerdekaan energi membutuhkan kebijakan, strategi, instrumen kebijakan, kelembagaan upaya dan program pengembangan energi yang mendukung kebijakan pengelolaan energi tersebut. sehingga diharapkan usulan-usulan diatas dapat mendukung kebijakan pemerintah, kebutuhan energi tertinggi adalah kebutuhan energi listrik yang diproyeksikan pada tahun 2025 sebesar 1.818,4 GWh, sementara pada tahun 2010 hanya sebesar 1.437,8 GWh. Pemakaian energi per sektor energi meningkat sebesar 101% dibanding tahun 2010. Pemakaian energi di sektor rumah tangga meningkat sebesar 371,7 GWh dari tahun 2010 ke tahun 2025. Pemakaian energi di sektor Industri meningkat sebesar 2172,3 GWh dari tahun 2010 ke tahun 2025. Pemakaian energi di sektor transportasi meningkat sebesar 787,3 GWh dari tahun 2010 ke tahun 2025. Program konversi minyak tanah ke LPG masih perlu ditingkatkan. Total intensitas penggunaan minyak tanah sebesar 678,6 Liter, sedangkan total intensitas penggunaan LPG sebesar 42,3 Kg. Hal ini disebabkan karena sebagian masyarakat Kabupaten Indragiri Hilir masih takut menggunakan kompor gas LPG. Diharapkan pembangunan PLTU di Parit 21 Tembilahan segera selesai untuk pemenuhan kebutuhan energi dapat tercapai sehingga rasio elektrifikasi sebesar 69% dapat ditingkatkan [8].

Gumelar *et al.* (2016) dalam penelitian yang berjudul *Proyeksi Kebutuhan Energi Listrik Rayon Kota Cirebon Tahun 2015-2020 dengan Metode Dkl 3.2 dan Base as Usual (BaU)* menggunakan Software LEAP versi 2015.0.19.0. Dalam pembuatan perencanaan proyeksi kebutuhan energi listrik di Rayon Kota Cirebon tahun 2015-2020 penulis menggunakan 2 metode perencanaan yaitu DKL 3.2 merupakan suatu model yang disusun oleh dinas kebutuhan listrik dengan menggabungkan beberapa metode seperti ekonometri, kecenderungan dan analitis dengan pendekatan sektoral dan metode BaU (*Base as Usual*) merupakan metode dimana kecenderungan pola pemakaian energi listrik masih sama di tahun dasar. Hasil proyeksi di Rayon Kota Cirebon dengan menggunakan metode DKL [10].

Long-range Energy Alternatives Planning system (LEAP) adalah suatu model simulasi yang dapat digunakan untuk melakukan analisa dan evaluasi kebijakan dan perencanaan energi yang mampu melakukan analisis energi dari kebutuhan hingga penyediaan secara terintegrasi. Permodelan energi LEAP (*software LEAP*) yang telah digunakan sebagai salah satu pendukung perencanaan energi dalam penyusunan RPJMN 2015-2019. Hal ini dikarenakan keunggulan dari LEAP adalah kefleksibelannya tergantung tingkat kesulitan dari perencanaan energi dan kualitas model yang diharapkan. Dengan kefleksibelannya, LEAP dapat dioperasikan mulai dari ahli energi dengan reputasi global yang ingin mendesain kebijakan dan membantu sumbang saran bagi pengambil keputusan sampai pengajar untuk pengembangan kapasitas pemula dan dengan fleksibilitas pendekatan pemodelan yang dapat mengakomodir karakteristik negara berkembang seperti Indonesia. Permintaan energi atau pemasokan energi dalam metode akunting ini dihitung dengan menjumlahkan pemakaian dan pemasokan energi masing-masing jenis kegiatan. Saat ini LEAP juga digunakan untuk membantu perencanaan gas rumah kaca yang tertuang dalam Perpres No. 61 Tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Pengurangan Gas Rumah Kaca (RAN-GRK) dan implementasinya di daerah melalui Rencana Aksi Daerah Pengurangan Gas Rumah Kaca (RAD-GRK) [10].

Tujuan penulisan makalah ini adalah mengetahui jenis pembangkit energi bauran untuk periode 2020-2050 setiap scenario, total investasi selama periode setiap scenario, biaya pembangkitan rata-rata dalam sen USD / kWh setiap scenario, dan profil intensitas CO₂ dari listrik menghasilkan setiap scenario. kebutuhan energi yang tepat khususnya pemanfaatan sumber energi bersih di daerah untuk mewujudkan ketahanan energi di Sumatra yang hebat dan bermartabat

dalam mendorong terbentuknya RUED di provinsi Sumatra selaras dengan strategi indikator program SDGs yang dicanangkan pemerintah, baik pemerintah pusat maupun pemerintah daerah khususnya program energi bersih berdasarkan hasil perhitungan model LEAP (*Long-range Energy Alternatives Planning System*).

METODE PENELITIAN

Definisi Masalah

Tahap pertama dalam penyusunan model adalah mendefinisikan masalah, yang akan menjadi rujukan dan arahan dalam melakukan pemodelan. Dalam tahap ini perlu dikenali/ditentukan pola referensi (*reference mode*), yaitu gambaran perilaku sistem, hipotesis tentang interaksi-interaksi perilaku yang mendasari pola referensi, batas model (*boundary*), yaitu batasan, asumsi, dan ruang lingkup model, dan jangka waktu (*time horizon*), yaitu perioda waktu kajian.

Konseptualisasi Sistem

Konseptualisasi sistem adalah menyusun suatu rancangan model. Di dalam metodologi *Long-range Energy Alternatives Planning system* (LEAP), konseptualisasi sistem ini berupa penyusunan diagram pohon (*Tree*) dari permintaan energi dan diagram pemasokan energi (*Reference Energy System*). Langkah selanjutnya adalah menyiapkan data. Tahap penyiapan data merupakan tahap yang cukup berat, mengingat ketersediaan data yang terbatas. Untuk memudahkan proses pencarian data dan mendokumentasikan, perlu dibuat tabel-tabel data. Tabel data untuk modul permintaan energi mencakup data aktivitas, data intensitas, dan sumber data yang diambil dari parameter intensitas dan aktifitas dari berbagai sektor pemakai seperti rumah tangga, transportasi, industry, komersial, pembangkit listrik, konstruksi, pertanian, dan pertambangan. Untuk modul pemasokan energi, umumnya data yang diperlukan adalah kapasitas produksi, efisiensi produksi, volume produksi, dan input dan output energi. Metode pemodelan dalam LEAP adalah akunting permintaan energi atau pemasokan energi. Dalam metode akunting ini dihitung dengan menjumlahkan pemakaian dan pemasokan energi pada masing-masing jenis kegiatan. Data sumber daya energi diambil dari Perpres, KESDM, RUPTL, KEN, RUEN, RUKN, dan lainnya. Karakteristik berbagai jenis pembangkit listrik diambil dari IEA dan IRENA.

Representasi Model

Representasi model adalah proses untuk mentransformasikan konsep sistem yang telah disusun ke dalam bentuk persamaan atau bahasa komputer.

Evaluasi Model

Evaluasi model adalah tahap pengujian model, yaitu dengan membandingkan hasil simulasi dan pola referensi. Evaluasi model dimaksudkan untuk memperbaiki model agar dapat mewakili kondisi aktualnya. Proses pencarian struktur atau parameter terus dilakukan sampai diperoleh perilaku model yang dapat mewakili atau mendekati keadaan nyatanya.

Analisis Kebijakan

Setelah model diyakini dapat mewakili kondisi nyatanya, tahapan selanjutnya adalah mengujikan beberapa skenario kebijakan. Setelah diperoleh hasil yang diinginkan melalui simulasi model, maka hasilnya dapat diterapkan pada sistem nyata.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemakaian Energi Listrik di Sumatra

Jika produsen bertindak sebagai pengambil harga di Sumatra dengan harga tunjangan emisi CO₂ akan menjadi 30 USD / t CO₂ pada tahun 2020 dan meningkat hingga 50 USD / t CO₂ pada tahun 2050. Permintaan listrik yang diasumsikan akan menjadi 1.0 elastisitas terhadap PDB. Model ini berjalan dalam periode 5 tahun ($t = 2020, 2025, 2030, 2035, 2040, 2045, 2050$), dan tingkat diskonto adalah 7%.

Data demand

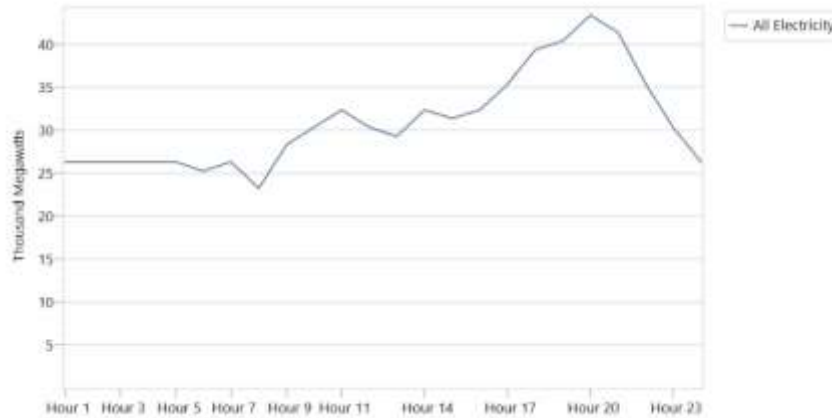
Pertumbuhan kebutuhan tenaga listrik diasumsikan elastisitasnya terhadap produksi *Domestic Regional Bruto* (PRDB) pulau Sumatera. Untuk itu pertama-tama dicari data historis PRDB Sumatera di Badan Pusat Statistik. Kemudian ditentukan pertumbuhannya berdasarkan data historis tersebut. Selanjutnya data PRDB dan pertumbuhannya diinput sebagai *key assumption* pada aplikasi LEAP. Kemudian data asumsi ini digunakan sebagai input parameter di *demand electricity* sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perhitungan pertumbuhan PRDB Pulau Sumatera.

No	Provinsi	PRDB (Juta Rupiah)						CAGR(%)
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	
1	ACEH	127.897.070	129.092.659	136.843.818	145.806.923	155.911.115	164.210.636	5,13
2	SUMATERA UTARA	521.954.952	571.722.009	626.062.907	684.634.427	741.751.634	801.733.340	8,96
3	SUMATERA BARAT	164.944.257	179.951.980	196.099.177	213.893.468	230.571.986	246.422.725	8,36
4	RIAU	679.395.860	652.761.631	681.699.030	704.705.027	755.435.017	765.198.299	2,41
5	JAMBI	144.814.418	155.065.656	171.199.468	189.787.722	208.366.821	217.711.779	8,50
6	SUMATERA SELATAN	306.421.601	331.765.702	353.866.965	382.885.701	419.723.507	455.232.777	8,24
7	BENGKULU	45.389.904	50.334.018	55.384.172	60.657.677	66.412.895	72.143.373	9,71
8	LAMPUNG	230.794.450	252.883.103	279.417.617	306.700.431	333.670.883	360.663.625	9,34
9	KEP. BANGKA BELITUNG	56.373.615	60.987.325	65.048.232	69.865.208	73.121.005	75.829.324	6,11
10	KEP. RIAU	180.879.983	199.570.394	216.007.664	227.706.877	249.075.504	268.079.987	8,19
	Total	2.458.866.109	2.584.134.477	2.781.629.050	2.986.643.460	3.234.040.367	3.427.225.865	6,87

Profil Demand

Profil demand yang di input pada model adalah profil beban harian yang terbagi dalam 24 jam. Profil ini diasumsikan sama nilainya sepanjang tahun karena negara Indonesia merupakan negara tropis yang variasi musimnya tidak seekstrim negara subtropis. Data profil beban harian regional Sumatera menggunakan profil beban negara Indonesia karena dianggap nilai dapat mewakili kondisi sistem kelistrikan disana. Profil beban juga diasumsikan sama dari awal periode simulasi hingga akhir periode simulasi. Grafik profil beban Sumatera dapat dilihat pada Gambar 4. dibawah ini.



Gambar 4. Demand Load Profile Regional Sumatera untuk semua scenario

Data Losses

Data losses yang dipertimbangkan pada simulasi ini merupakan total dari perhitungan susut jaringan transmisi dan distribusi, pemakaian sendiri di pembangkitan (PS KIT), pemakaian sendiri di Gardu Induk (PS GI), dan pemakaian sendiri sistem distribusi (PSSD). Data ini didapatkan dari RUPTL dengan membandingkan total produksi terhadap penjualan tenaga listrik sistem sumatera tahun 2019. Diasumsikan pada akhir tahun periode simulasi nilai losses sistem Sumatera dapat berkurang nilainya dari 17,07% menjadi sama dengan nilai losses sistem Jawa Bali tahun 2019 sebesar 12,53%.

Tabel 2. Perhitungan Losses Regional Sumatera dan Jamali

Tahun	Sistem	Demand (TWh)	Produksi (TWh)	Losses (TWh)	Losses (%)
2019	Sumatera	34,7	41,8	7,1	17,7
2019	Jamali	180,8	206,7	25,9	12,53

Data Kapasitas Pembangkit

Untuk penyederhanaan perhitungan pada perencanaan jangka panjang tenaga listrik, data pembangkit pada RUPTL di simplifikasi kedalam 9 kategori sebagai berikut:

Tabel 3. Kapasitas Pembangkit Terpasang Tahun 2019

No.	Jenis KIT Input LEAP	Jenis Bahan Bakar	Kapasitas (MW)
1.	PLTA	Air	1459
2.	PLTP	Panas Bumi	724
3.	PLTBm	Biomasa	24
4.	PLTS	Surya	-
5.	PLTB	Bayu/Angin	-
6.	PLTG	Gas Alam	1240
7.	PLTGU	Gas Alam	1022
8.	PLTD	Bio Diesel	540
9.	PLTU	Batubara	2626
	Total		7635

Penyederhanaan pembangkit tersebut mempertimbangkan keseragaman jenis mesin pembangkit, kemampuan *ramping rate*, jenis bahan bakar yang digunakan, serta besarnya nilai investasi dan operasional masing-masing pembangkit di RUPTL.

Tabel 4. Gambaran teknologi pembangkit di dunia tahun 2020

No	Jenis KIT	Nilai Base Year (2020)											
		Heat Rate (Btu/Kwh)	Capital Cost \$/kW	Fixed OM \$/kW-year	Variable OM \$/MWh	NOx (lb/MMBtu)	SO2 (lb/MMBtu)	CO2 (lb/MMBtu)	Lifetime	Efficiency (%)	Capacity Factor (%)	Merit Order	Dispatch Rule
1	PLTU	10.035	1650	45,25	0,13	0,0060	0,0090	206	30	34,00	85,00	2	Running Cost
2	PLTGU	6.093	750	23,20	0,13	0,0075	0,0000	117	25	56,00	87,00	2	Running Cost
3	PLTG	10.339	770	23,20	0,11	0,0900	0,0000	117	25	33,00	30,00	2	Running Cost
4	PLTA	-	2000	37,70	0,65	0,0000	0,0000	0	50	95,00	36,00	2	Running Cost
5	PLTS	-	1755	32,17	-	0,0000	0,0000	0	30	100,00	29,00	2	Running Cost
6	PLTP	-	3500	30,00	1,00	0,0000	0,0000	0	25	10,00	80,00	2	Running Cost
7	PLTB	-	1677	35,14	-	0,0000	0,0000	0	25	100,00	40,00	2	Running Cost
8	PLTBm	12.186	8700	243,70	24,10	0,0800	0,0300	206	25	28,00	83,00	1	Running Cost
9	PLTD	7.582	800	8,00	6,40	0,6513	0,0000	151	25	45,00	30,00	2	Running Cost

Sumber: Data teknologi yang dikumpulkan dari IEA, IRENA, dan DEN

Diasumsikan bahwa pada akhir periode simulasi terjadi penurunan biaya investasi pembangkit surya, angin, dan air karena semakin bertambahnya instalasi pembangkit berbasis energi terbarukan dari tahun ke tahun di dunia. Biaya bahan bakar yang digunakan pada simulasi ini adalah batubara 51,8 USD/ton, Natural Gas 7,60 USD/MMBTU, dan Oil 60,00 USD/Barrel. Pertambahan instalasi pembangkit *renewable* diambil datanya dari IRENA dan *learning curve* yang digunakan adalah nilai moderat.

Tabel 5. Perhitungan *learning curve* untuk teknologi pembangkit surya, angin, dan air

No.	Uraian	Satuan	PLTA	PLTS	PLTB
1.	Global Capacity 2015	GW	1132	297	459
2.	Global Capacity 2015	GW	1626	4443	3300
3.	CAGR	%	1,04	8,03	5,80
4.	Learning Rate	%	1,4	23,0	12,0
5.	Learning Coefficient		-0,02034	-0,37707	-0,18442
6.	Capex 2019	USD/kW	2000	1755	1677
7.	Capex 2050	USD/kW	1987	711	1215

Tabel 6. Potensi pembangkit energi listrik bersumber dari energi terbarukan (MW)

No	Provinsi	PLTP	PLTB	PLTA	PLTAL	PLTS	PLTBio	PLTM	PLTSa	Total
1.	Aceh	332	894	5062	-	7881	1174	1538	0,9	16881,9
2.	Sumatera Utara	2316	356	3808	-	11851	2912	1204	31,0	22478,0
3.	Sumatera Barat	1035	428	1804	-	5898	958	1353	7,0	11483,0
4.	Riau	-	22	1804	-	753	4195	284	8,0	7066,0
5.	Kep. Riau	-	922	-	6027	7763	16	-	17,0	14745,0
6.	Kep. Bangka Belitung	-	1787	-	-	2810	223	-	-	4820,0
7.	Jambi	621	37	776	-	8847	1840	447	2,0	12570,0
8.	Sumatera Selatan	964	301	776	-	17233	2133	448	12,0	21867,0
9.	Bengkulu	780	1513	776	-	3475	645	108	0,4	7297,4
10.	Lampung	1339	1137	776	2273	2238	1492	352	5,0	9612,0
	Total	7387	7397	15582	8300	68749	15588	5734	83,3	128820,3

Sumber: Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) sesuai Perpres No. 22 Tahun 2017 yang ditetapkan tanggal 13 Maret 2017 untuk provinsi di Sumatera.

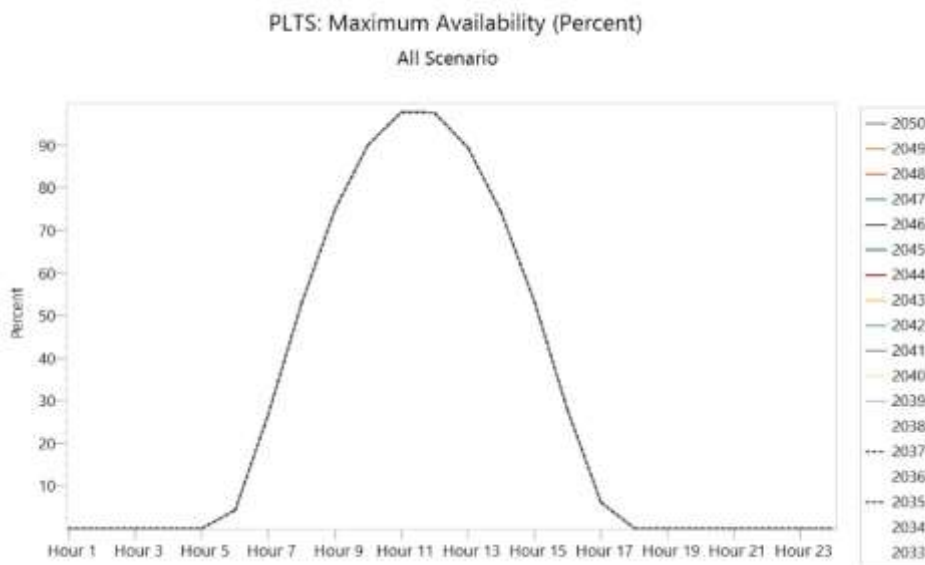
Tabel 7. Teknologi Penyimpanan Baterai

No.	Uraian	Nilai	
		2019	2050
1.	Efisiensi	87%	87%
2.	Exogenous Capacity	-	-
3.	Maximum Availability	90%	90%
4.	Initial Cost (USD/kW)	1608	872
5.	Fixed OM (USD/kW)	43	43
6.	Variable OM (USD/kW)	-	-
7.	Capacity Credit	100	100
8.	Minimum Charge	30%	30%
9.	Full Load Hours	4hr	4hr
10.	Life Time	20yr	20yr

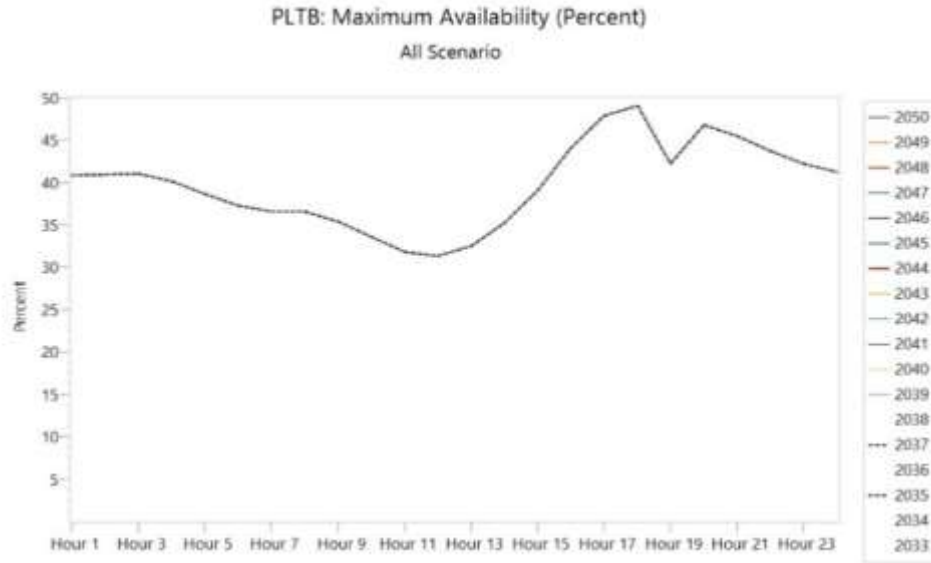
Sumber: IEA, Lazard, Leap, dan Homer

Data profil *availability* pembangkit *renewable* menggunakan data yang didapatkan dari situs *renewable* ninja yang dihitung rata-ratanya selama tahun 2019. Asumsi yang digunakan pada profil *availability* pembangkit *renewable* sama dengan profil *demand* yaitu pola harian *availability* terbagi atas 24 jam dimana nilainya diasumsikan sama setiap sepanjang tahun dan tidak berubah dari awal periode simulasi hingga akhir periode simulasi.

Profil *availability* pembangkit tenaga surya dan tenaga angin dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6. Nilai *availability* pembangkit tenaga surya bertambah seiring dengan naiknya intensitas energi matahari di pagi hingga sore hari. Puncak nilai maksimum *availability* pembangkit tenaga surya terjadi pada siang hari yaitu pukul 11.00 s.d. 13.00. Profil *availability* pembangkit tenaga angin berbeda dengan tenaga surya dimana nilainya tersedia sepanjang waktu dari pagi hingga malam. Berdasarkan profil tenaga angin yang diinput, terlihat bahwa sumber energi angin terbesar tersedia di malam hari. Pada siang hari sumber energi angin berkurang dan selanjutnya kembali naik di sore hari hingga malam hari.



Gambar 5. Profil *maximum availability* pembangkit tenaga surya

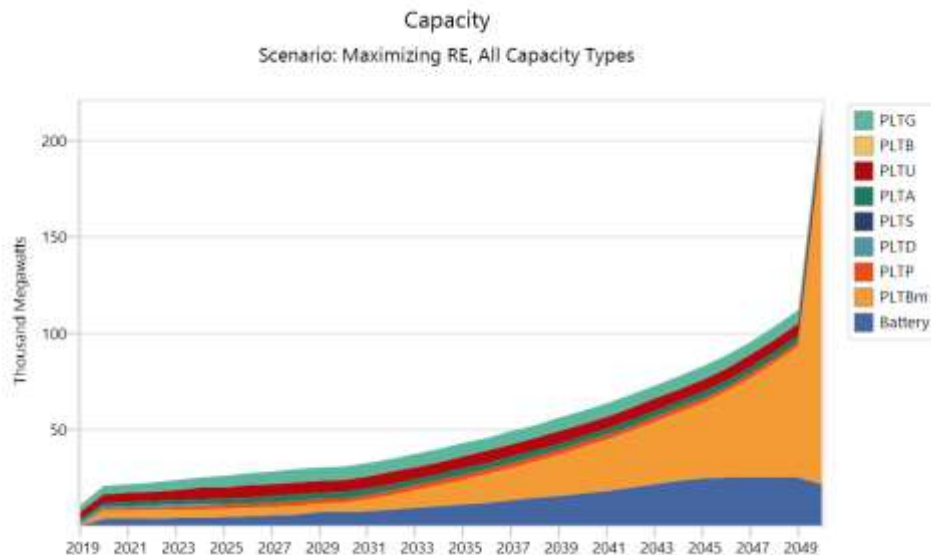


Gambar 6. Profil *maximum availability* pembangkit tenaga angin

Pertumbuhan energi bauran hingga tahun 2050 diperkirakan meningkat sangat signifikan mulai tahun 2035 khususnya pembangkit listrik berbasis panas bumi dan baterai yaitu dengan upaya meminimalkan biaya produksi. Disamping prospek PLTP sangat baik di Sumatra.

Berikut hasil perhitungan model LEAP (*Long-range Energy Alternatives Planning System*) dengan menggunakan data-data sampai tahun 2019.

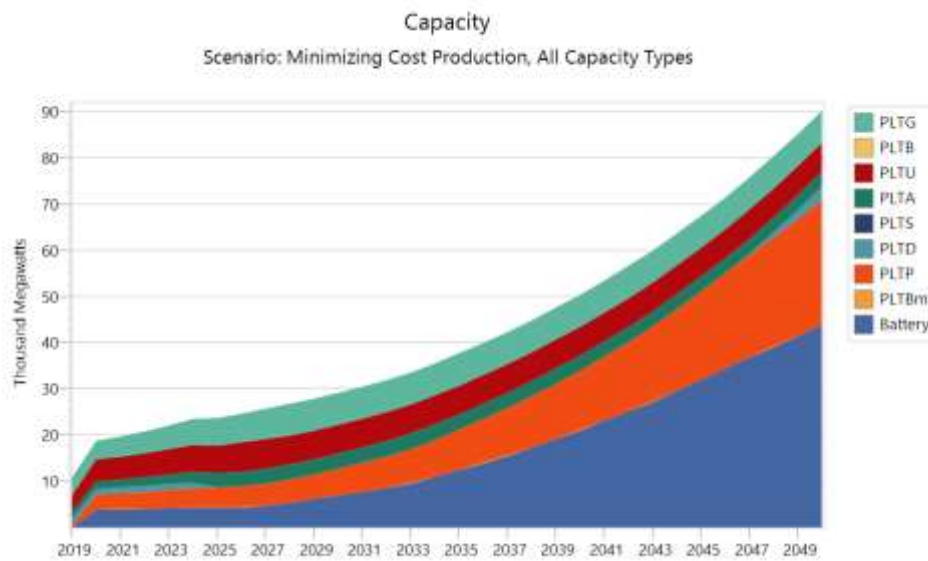
1. Kapasitas maksimal dan minimal pembangkit berbasis semua jenis sumber energi terbarukan. Dalam Gambar 7 terlihat dengan memaksimalkan potensi energi terbarukan dapat dikembangkan dari biomassa dan batere. Namun pada Gambar 8, bila biaya produksi diminimalkan potensi yang signifikan ada di pembangkit panas bumi dan batere diperkirakan sejak tahun 2040.



Gambar 7. Kapasitas pembangkit (GW) dengan skenario memaksilmalkan sumber semua pembangkit energi terbarukan

Tabel 8. Kapasitas maksimal pembangkit (GW) berbasis semua jenis sumber energi terbarukan

Branch	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
PLTG	4,1	5,9	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
PLTB	-	-	-	-	-	-	-
PLTU	4,6	5,9	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2
PLTA	1,7	3,2	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
PLTS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PLTD	1,3	-	-	-	-	-	-
PLTP	0,8	1,9	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
PLTBm	4,2	4,2	4,8	12,9	24,0	39,0	176,1
Battery	3,3	4,6	7,0	11,1	16,9	24,7	22,2
Total	19,9	25,6	30,7	43,0	59,9	82,7	217,3

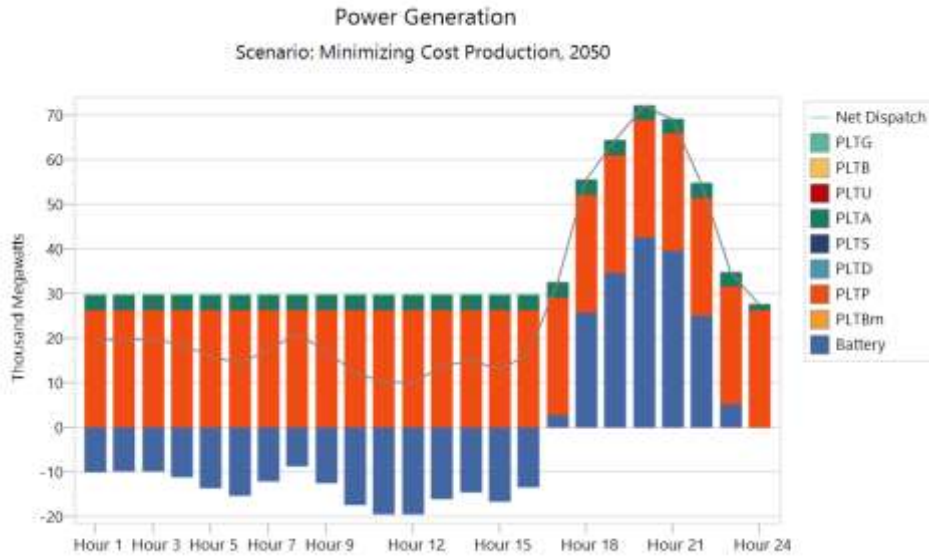


Gambar 8. Kapasitas pembangkit (GW) dengan skenario meminimalkan sumber energi terbarukan

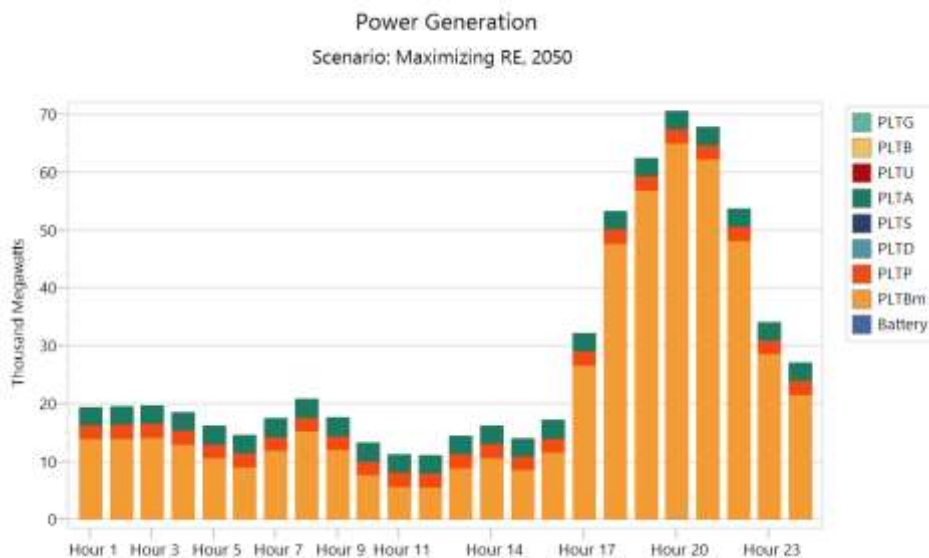
Tabel 10. Kapasitas minimal pembangkit berbasis semua jenis sumber energi terbarukan (GW)

Pembangkit	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
PLTG	4,1	5,9	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
PLTB	-	-	-	-	-	-	-
PLTU	4,6	5,9	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2
PLTA	1,7	3,2	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
PLTS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PLTD	1,3	-	-	-	-	-	2,7
PLTP	3,2	4,3	5,6	8,5	12,6	19,0	27,0
PLTBm	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Battery	3,9	4,4	7,1	12,6	21,2	31,8	44,0
Total	18,8	23,6	29,2	37,6	50,3	67,4	90,2

2. Pembangkit listrik (GW) dengan meminimalkan biaya produksi hingga tahun 2050 berbasis waktu pembebanan semua jenis sumber energi terbarukan tampak penggunaan batere meningkat di atas jam 18.00 (Gambar 9) dan memaksimalkan pembangkit yang berbasis biomassa yang banyak digunakan karena biaya produksi yang lebih murah (Gambar 10).

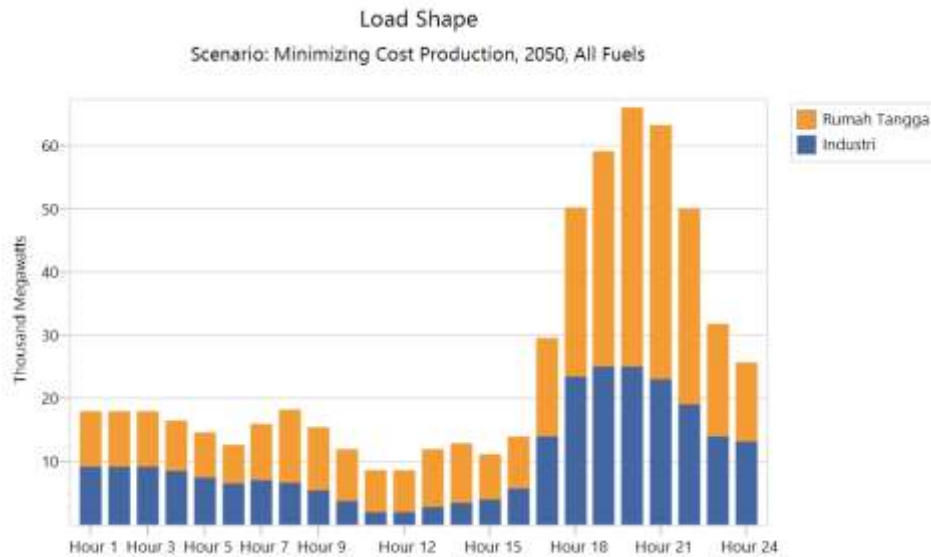


Gambar 9. Pembangkit listrik (GW) dengan meminimalkan biaya produksi hingga tahun 2050 berbasis waktu pembebanan semua jenis sumber energi terbarukan

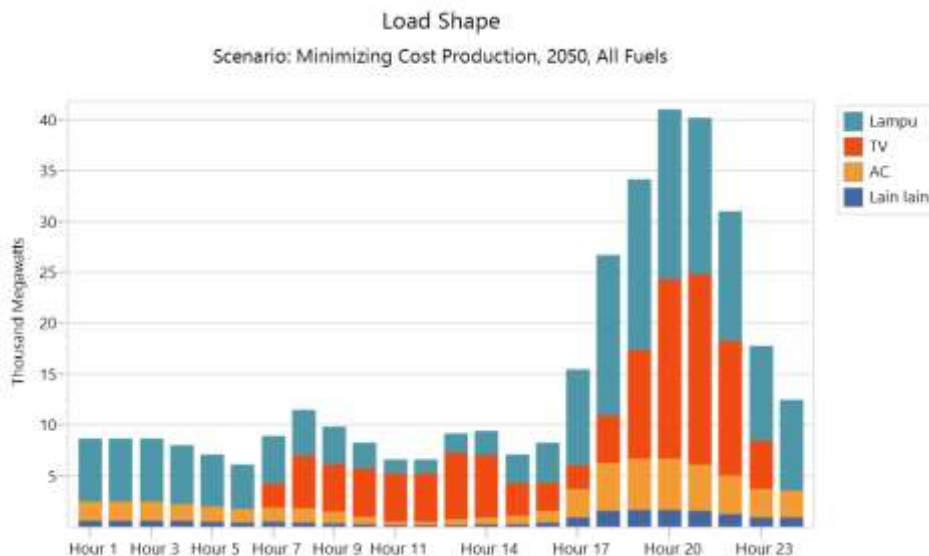


Gambar 10. Pembangkit listrik (GW) dengan memaksimalkan biaya produksi hingga tahun 2050 berbasis semua jenis sumber energi terbarukan

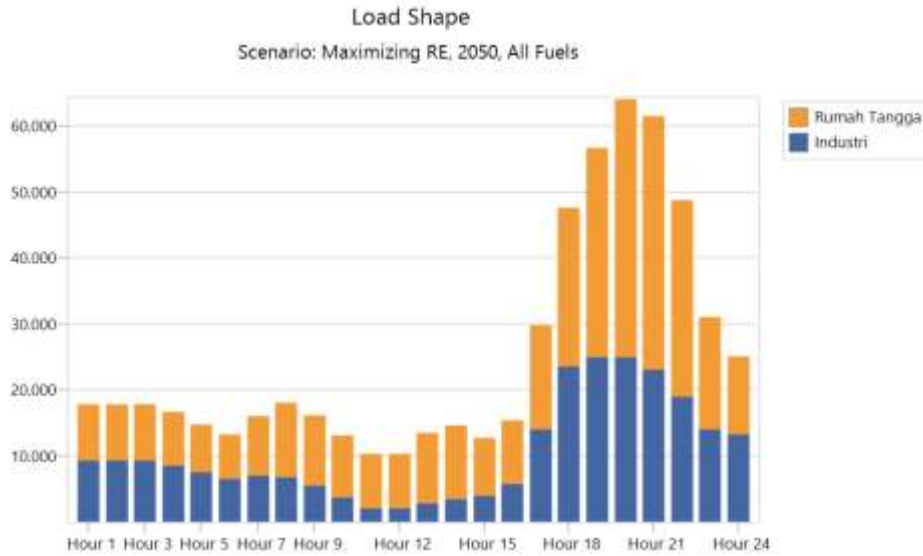
- Permintaan per jam pembangkit energi untuk 2020-2050 dengan meminimalkan dan memaksimalkan penggunaan energi terbarukan dan biaya produksi untuk semua jenis bahan bakar di sektor rumah tangga dan industri dengan dibebankan oleh peralatan elektronik pada umumnya memiliki trend yang serupa di atas jam 18.00-22.00 (Gambar 11 dan Gambar 12).



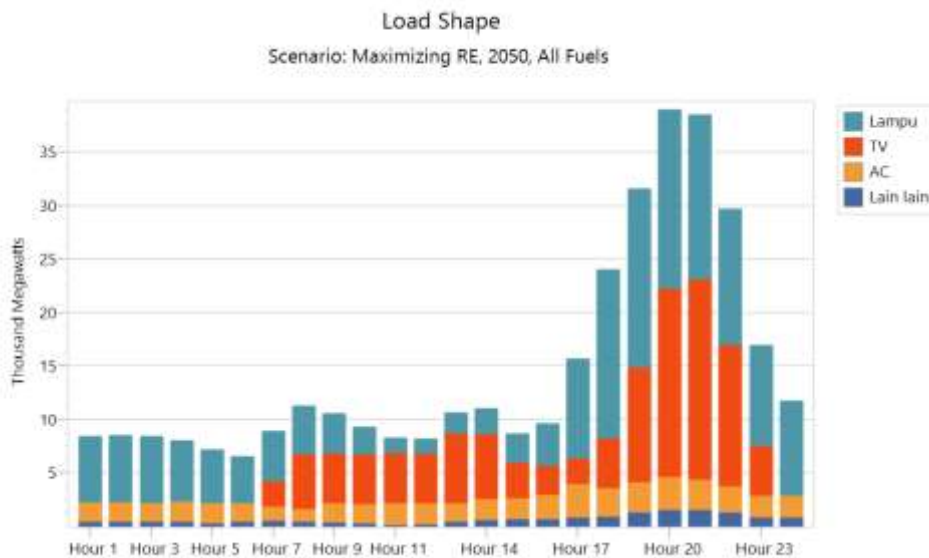
Gambar 11. Permintaan per jam untuk 2020-2050 dengan meminimalkan biaya produksi penggunaan energi terbarukan untuk semua jenis bahan bakar di sektor rumah tangga dan industri



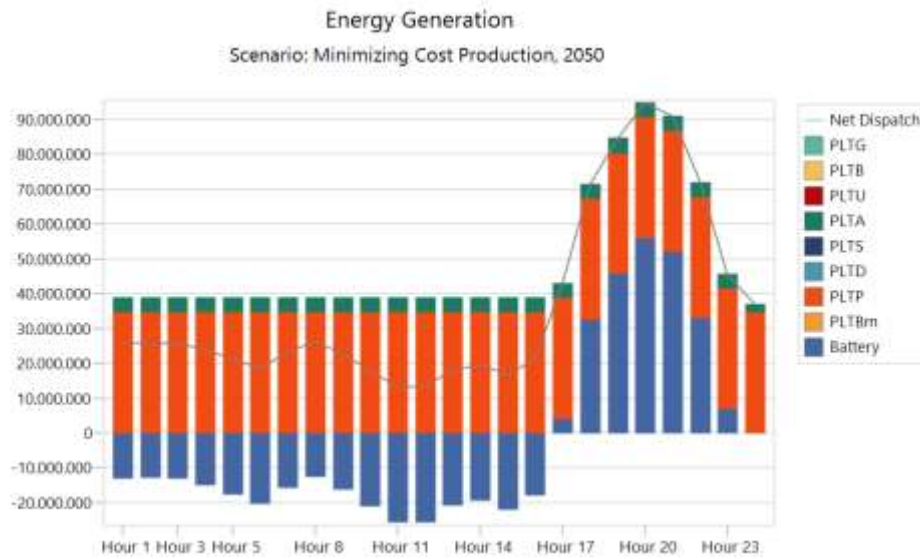
Gambar 12. Permintaan per jam untuk 2020-2050 dengan meminimalkan biaya produksi penggunaan energi terbarukan untuk semua jenis bahan bakar dengan penggunaan alat-alat elektronik



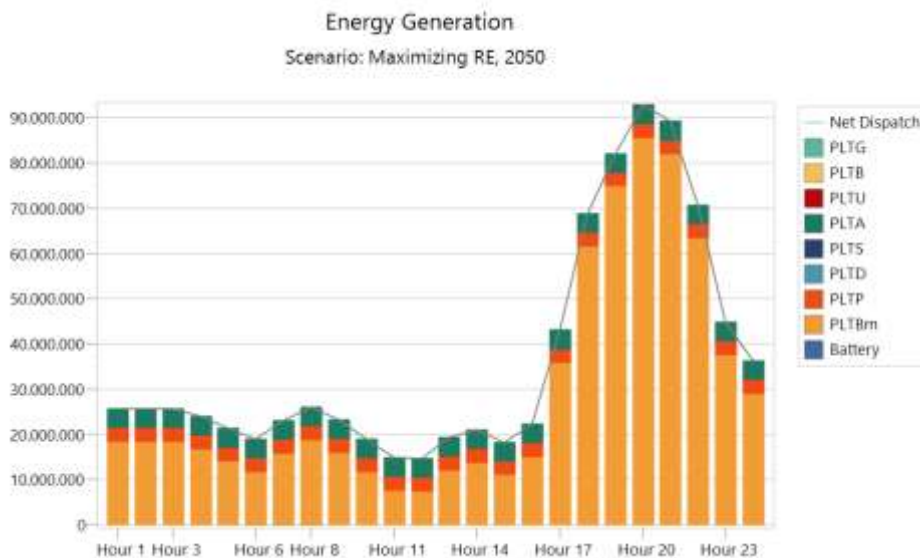
Gambar 13. Permintaan per jam untuk 2020-2050 dengan memaksimalkan biaya produksi penggunaan energi terbarukan untuk semua jenis bahan bakar di sektor rumah tangga dan industri



Gambar 14. Permintaan per jam untuk 2020-2050 dengan memaksimalkan biaya produksi penggunaan energi terbarukan untuk semua jenis bahan bakar dengan penggunaan alat-alat elektronik

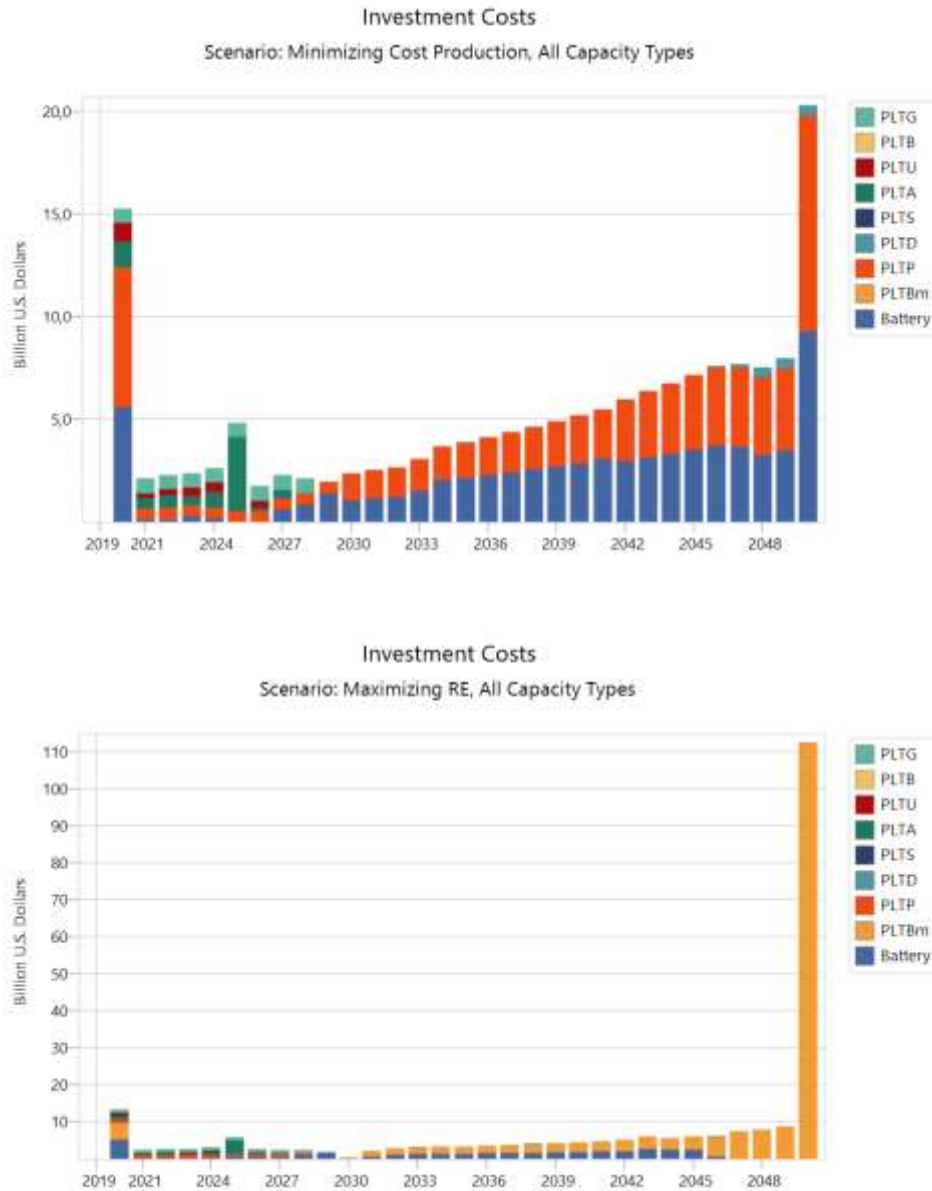


Gambar 15. Pembangkit energi untuk 2020-2050 dengan meminimalkan biaya produksi penggunaan energi terbarukan untuk semua jenis bahan bakar



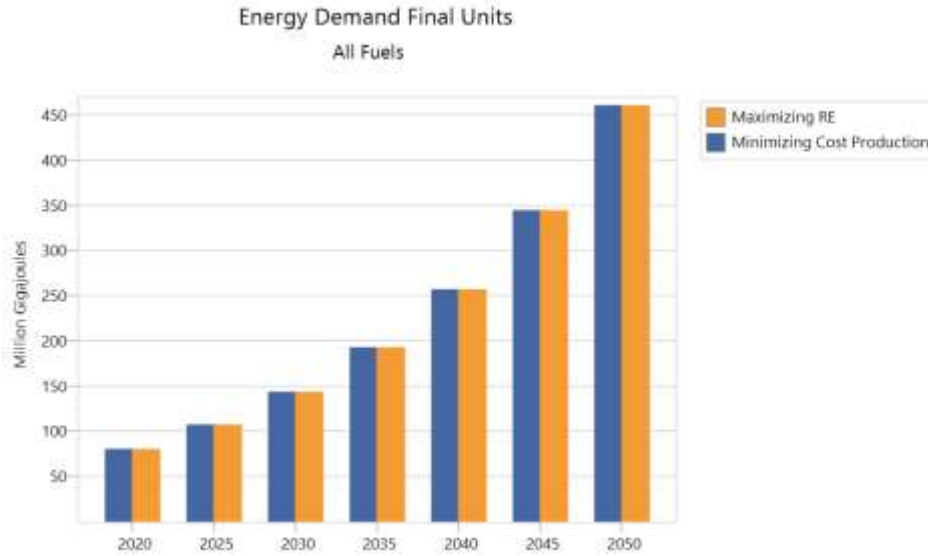
Gambar 16. Pembangkit energi untuk 2020-2050 dengan memaksimalkan biaya produksi penggunaan energi terbarukan untuk semua jenis bahan bakar

4. Dengan meminimal biaya investasi selama periode masing-masing skenario penggunaan energi terbarukan di semua jenis pembangkit tampak peningkatan yang signifikan pada energi berbasis panas bumi dan batere. Namun sebaliknya bila memaksimalkan biaya produksi maka akan berdampak pada peningkatan biaya investasi justru di energi terbarukan berbasis biomass (Gambar 17).



Gambar 17. Total investasi selama periode masing-masing scenario dengan meminimal dan memaksimalkan penggunaan energi terbarukan di semua jenis pembangkit

Sehingga dapat diprediksi bila kebutuhan energi (GW) setiap scenario sampai 2050 dalam memaksimalkan sumber energi terbarukan dan meminimalkan biaya produksi akan berkembang sama besarnya (Gambar 18), namun berbeda bahan bakunya. PLTP dan Batere masih terkesan pembangkit listrik dengan berbiaya mahal dari proses hulu ke hilir. Sedangkan untuk Biomassa merupakan bahan baku yang sampai saat ini menjadi pilihan karena biaya investasi yang lebih murah dibandingkan sumber energi panas bumi dan batere.



Gambar 18. Perbandingan kebutuhan energi (GW) setiap scenario sampai 2050 dalam memaksimalkan sumber energi terbarukan dan meminimalkan biaya produksi

Tabel 10. Biaya pembangkit rata-rata dalam sen USD/kWh setiap skenario

Scenario	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Maximizing RE	80,1	107,2	143,5	192,1	257,0	343,9	460,3
Minimizing Cost Production	80,1	107,2	143,5	192,1	257,0	343,9	460,3
Total	160,3	214,5	287,0	384,1	514,0	687,9	920,5

Cumulative Demand: 460,3 Billion kWh

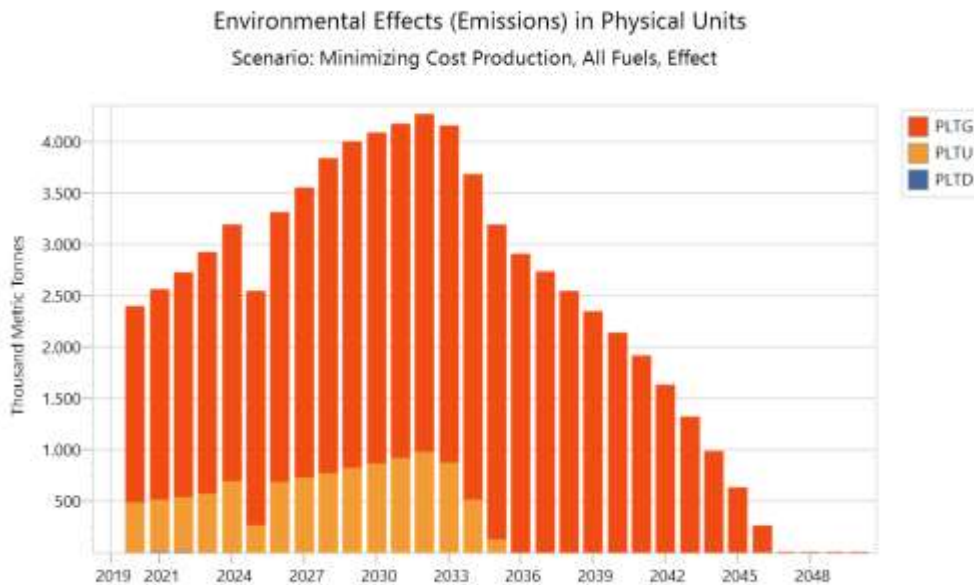
Dengan melihat hubungan Tabel 10 dan Gambar 19 yang merupakan hasil dari pengolahan data manfaat biaya akumulasi (miliar USD) terhadap meminimalkan biaya pasok dengan biaya dampak emisi CO₂, meminimalkan/ memaksimalkan biaya produksi untuk semua energi terbarukan yang berdampak pada emisi CO₂ selama periode 2019-2050 yaitu memaksimalkan energi terbarukan dalam USD 52 Miliar/460,3 Miliar kWh = USD 11,3 cent/kWh dan meminimalkan biaya produksi USD 40 Miliar/460,3 Miliar kWh = USD 8,7 cent/kWh maka didapat profil intensitas CO₂ pada Gambar 20 dan Gambar 21. Pada Gambar 19 merupakan hasil dari pengolahan data manfaat biaya akumulasi (miliar USD) terhadap meminimalkan biaya pasok dengan biaya dampak emisi CO₂, meminimalkan/ memaksimalkan biaya produksi untuk semua energi terbarukan yang berdampak pada emisi CO₂ selama periode 2019-2050 dalam miliar USD.

Kedua skenario (*Minimizing Cost Production dan Maximizing RE*) memberikan minat investor untuk membangun pembangkit PLTP, PLTBm, dan Battery di wilayah Sumatera. Untuk PLTS dan PLTB karena memiliki energi yang lebih kecil dari wilayah yang sudah ada (PLTS: Sidrap, Janeponto, dan NTB; PLTS: Likupang, NTB, dan Cirata). Dan pemerintah juga perlu mendukung prospek ini dengan mengeluarkan kebijakan berupa insentif untuk pajak emisi, dukungan keringanan bunga, kemudahan izin, dan kemudahan penggunaan lahan produksi.

Cumulative Costs & Benefits: 2019-2050, Discounted at 7.0% to year 2019. Units: Billion 2019 U.S. Dollar

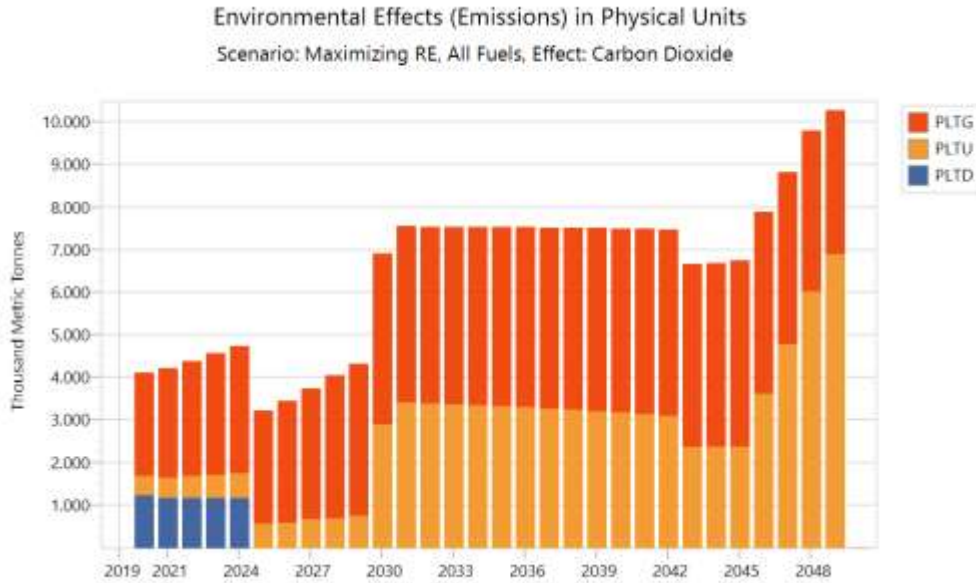
	Minimizing Cost Supply With CO2 Cost	Minimizing Cost Supply	Maximize Renewable
Demand	-	-	-
All Electricity	-	-	-
Transformation	50.1	40.0	50.2
Transmission and Distribution	-	-	-
Electricity Generation	50.1	40.0	50.2
Resources	-	-	-
Production	-	-	-
Imports	-	-	-
Exports	-	-	-
Unmet Requirements	-	-	-
Environmental Externalities	1.9	-	1.8
Non Energy Sector Costs	-	-	-
Net Present Value	52.0	40.0	52.0
GHG Emissions (Mill Tonnes CO2e)	165.9	1,245.1	162.9

Gambar 19. Data hasil dari pengolahan data manfaat biaya akumulasi (miliar USD) terhadap meminimalkan biaya pasok dengan biaya dampak emisi CO₂, meminimalkan/ memaksimalkan biaya produksi untuk semua energi terbarukan yang berdampak pada emisi CO₂ selama periode 2019-2050 dalam miliar USD.



Gambar 20. Profil intensitas CO₂ listrik dengan meminimalkan biaya produksi

Adanya gap saat konsumsi energi antara waktu malam dan siang, maka diperlukan *energy storage* dalam menyediakan pasokan energi untuk sektor rumah tangga dan industri. Battery merupakan salah satu solusi hingga prediksi tahun 2050 apalagi bila biaya produksinya dapat ditekan menjadi lebih murah dari energi fosil. Dukungan pemerintah untuk menciptakan biaya produksi yang minim dan membuat regulasi yang mendukung investor (hulu) bukannya BUMN (PLN) seperti dalam Permen ESDM no. 12/2017 dimana nilai FIT (Feed In Tarriff) berdasarkan 85% BPP (Bahan Pokok Industri) yang tentunya memberatkan investor).



Gambar 21. Profil intensitas CO₂ listrik dengan memaksimalkan penggunaan sumber energi terbarukan

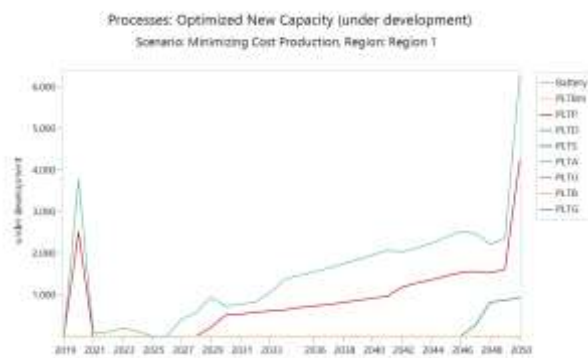
Perbandingan profil intensitas CO₂ listrik yang dihasilkan, biaya produksi dan biaya investasi, dan pembangkit listrik terhadap skenario selama perjalanan pertengahan tahun sampai tahap akhir dapat dilihat pada tabel 12 dan Gambar 22 sampai Gambar 25. Ini sangat berpengaruh terhadap biaya produksi yang disiapkan oleh investor sehingga berdampak terhadap potensi pembangkit listrik untuk pulau Sumatera.

Tabel 12. Perbandingan dan analisis terhadap profil intensitas CO₂ listrik yang dihasilkan, biaya produksi dan biaya investasi, dan pembangkit listrik

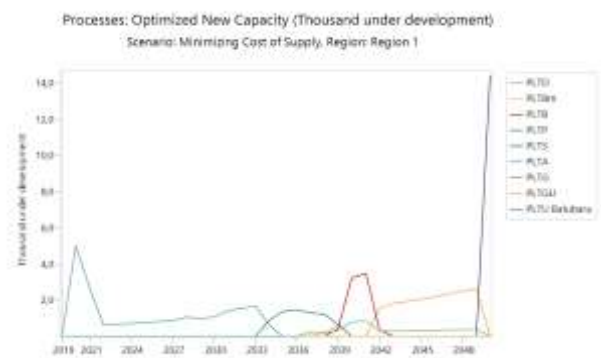
Item	Skenario		Kesimpulan
	Pertengah Tahun	Tahap Akhir	
Profil intensitas CO ₂ listrik yang dihasilkan	Banyak investasi di Battery yang membantu pemerintah dalam mereduksi emisi CO ₂ dan namun belum menjadi pembangkit hingga 2035.	Dengan biaya produksi rendah dan meningkatnya penggunaan energi terbarukan, menghasilkan emisi yang rendah.	Emisi CO ₂ diproyeksikan akan naik 1,8 kali lipat dari 32,5 juta ton pada tahun 2019 menjadi 59,1 juta ton pada tahun 2028.
Biaya Produksi dan Biaya Investasi	Akan bertransisi ke <i>renewable energy</i> yaitu di PLTBm dan battery.	Investor akan tertarik di sektor energi karena biaya produksi rendah dan lebih banyak menggunakan RE dan ketersediaan bahan bakunya.	Sebagian besar masih didominasi oleh <i>Hydro Power</i> dari 2020-2050. Investor terkendala biaya produksi yang tinggi.
Power Generation	PLTP dan Battery bisa menjadi paduan di sektor energi Sumatra. Dimana	Biaya produksi murah di PLTP dimana masih didominasi oleh BUMN dan	Pembangkit listrik di Sumatera masih didominasi oleh

	saat battery tidak digunakan saat siang hari, akan men-support PLTP di malam hari. Karena tambahan beban di malam hari	keter-tarikan di sektor energi terbarukan dengan teknologi battery yang semakin baik menjadi potensi bagus di Sumatera.	pembangkit listrik bahan bakar fosil.
--	--	---	---------------------------------------

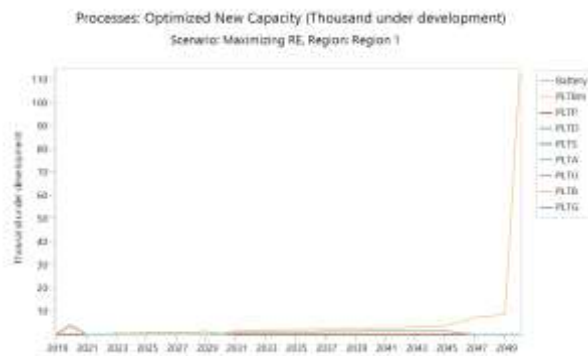
Bila diamati Gambar 7 sampai Gambar 17, maka terlihat perubahan signifikan potensi energi di batere sangat dominan di Sumatera. Data profil *availability* pembangkit *renewable* menggunakan data yang didapatkan dari situs *renewable* ninja yang dihitung rata-ratanya selama tahun 2019. Asumsi yang digunakan pada profil *availability* pembangkit *renewable* sama dengan profil *demand* yaitu pola harian *availability* terbagi atas 24 jam dimana nilainya diasumsikan sama setiap sepanjang tahun dan tidak berubah dari awal periode simulasi hingga akhir periode simulasi.



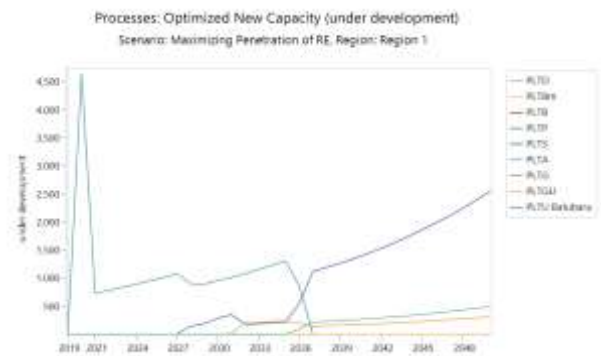
Gambar 22. Skenario Meminimalkan Biaya Produksi (Tahap Akhir)



Gambar 23. Skenario Meminimalkan Biaya Pasokan (Pertengahan Tahun)



Gambar 24. Skenario Memaksimalkan RE (Tahap Akhir)



Gambar 25. Skenario Pemaksimalan RE (Pertengahan Tahun)

Nilai *availability* pembangkit tenaga surya bertambah seiring dengan naiknya intensitas energi matahari di pagi hingga sore hari. Puncak nilai *availability* pembangkit tenaga surya terjadi pada siang hari yaitu pukul 11.00 s.d. 13.00. Profil *availability* pembangkit tenaga angin berbeda dengan tenaga surya dimana nilainya tersedia sepanjang waktu dari pagi hingga malam. Berdasarkan profil tenaga angin yang diinput, terlihat bahwa sumber energi angin terbesar tersedia di malam hari. Pada siang hari sumber energi angin berkurang dan selanjutnya kembali naik di sore hari hingga malam hari.

KESIMPULAN

Emisi CO₂ diproyeksikan akan naik 1,8 kali lipat dari 32,5 juta ton pada tahun 2019 menjadi 59,1 juta ton pada tahun 2028. Sebagian besar masih didominasi oleh *Hydro Power* dari 2020-2050. Investor terkendala biaya produksi yang tinggi. Pembangkit listrik di Sumatera masih didominasi oleh pembangkit listrik bahan bakar fosil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Aryanto, A. Jaya, and C. Hudaya, "Pemodelan Energi Baru Terbarukan (Ebt) Melalui Pendekatan Dinamis Untuk Ketahanan Energi Kabupaten Sumbawa 2017-2027," *J. TAMBORA*, vol. 4, no. 2A, pp. 122–132, 2020, doi: 10.36761/jt.v4i2a.783.
- [2] President Indonesia, "Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 Tentang Rencana Umum Energi Nasional." 2017.
- [3] Kementerian ESDM, "Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional Tahun 2019-2038." pp. iii–225, 2019.
- [4] President Indonesia, "Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 Lampiran I tentang Rencana Umum Energi Nasional." pp. i–102, 2017.
- [5] Kementrian PPN/BAPPENAS, "Kajian Pengembangan Model LEAP Dalam Mendukung Perencanaan Energi." pp. 2–78, 2014.
- [6] M. A. McNeil, N. Karali, and V. Letschert, "Forecasting Indonesia's electricity load through 2030 and peak demand reductions from appliance and lighting efficiency," *Energy Sustain. Dev.*, vol. 49, pp. 65–77, 2019, doi: 10.1016/j.esd.2019.01.001.
- [7] N. N. M Ridwan Gaffari, "Analisis Kebutuhan Dan Penyediaan Energi Listrik Di Kota Pekanbaru Tahun 2015-2024 Dengan Menggunakan Perangkat Lunak LEAP," *J. Online Mhs. Bid. Tek. dan Sains. Univ. Riau. ISSN 2355-6870*, vol. 4, no. 2, 2017, [Online]. Available: <https://jnse.ejournal.unri.ac.id/index.php/JOMFTEKNIK>
- [8] S. Ulina, S. Hasan, E. Warman, and Y. T. Nugraha, "Analisis Potensi Energi Baru dan Terbarukan Di Sumatera Utara Sampai Tahun 2028 Menggunakan Software LEAP," *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 5, no. 1, pp. 4–8, 2022, doi: 10.30596/rele.v5i1.10786.
- [9] E. . Tampubolon, H. Tumaliang, and M. . Rumbayan, "Kajian Perencanaan Energi Listrik di Wilayah Kabupaten Sorong Menggunakan Perangkat Lunak LEAP," *E-Journal Tek. Elektro Dan Komput.*, vol. 3, no. 2, pp. 69–78, 2014.
- [10] B. W. and A. N. Y. A. Gumelar, "Proyeksi Kebutuhan Energi Listrik Rayon Kota Cirebon Tahun 2015 –2020 Dengan Metode Dkl 3.2 Dan Base As Ussual (Bau) Menggunakan Softwareleap Versi 2015.0.19.0," *J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 5, no. 4, pp. 482–490, 2016, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/>