



Beyond 443 GW

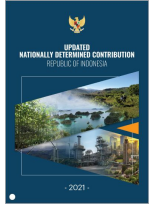
Indonesia's infinite renewable energy potentials



Launching technical paper
25 Oktober 2021

Handriyanti Diah Puspitarini
Peneliti Senior, IESR

Target NDC dan LTS Indonesia untuk mencapai masa depan rendah karbon dan ketahanan iklim



Nationally Determined Condition

- Pemerintah Indonesia menargetkan pengurangan emisi sebesar **29% (tanpa syarat) hingga 41% (bersyarat)** terhadap skenario BAU di tahun 2030
- Bauran EBT dalam energi primer paling tidak **23% di 2025 and 31% di 2050**

Dinilai masih belum sesuai dengan target Perjanjian Paris

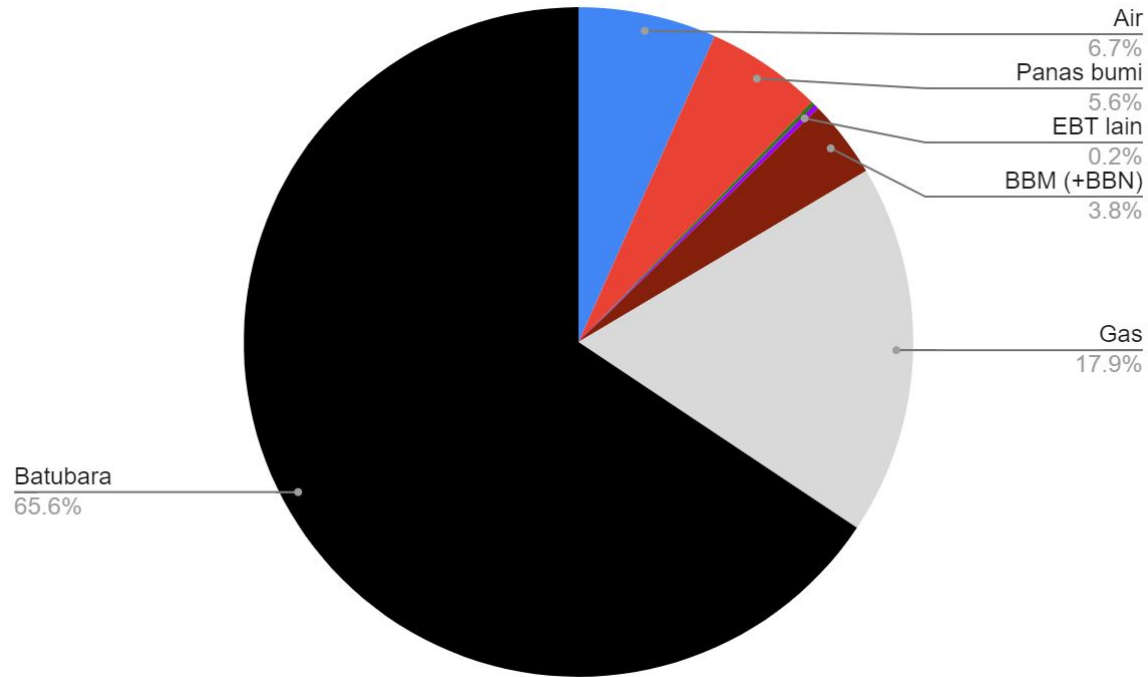


Long-term strategy

Pemerintah Indonesia menargetkan pencapaian emisi nol di tahun **2060 atau lebih cepat**

Masih ada skenario penggunaan PLTU yang dilengkapi dengan CCS/CCUS di dalam strategi tersebut

Bauran dalam pembangkitan listrik masih didominasi batubara hingga September 2021

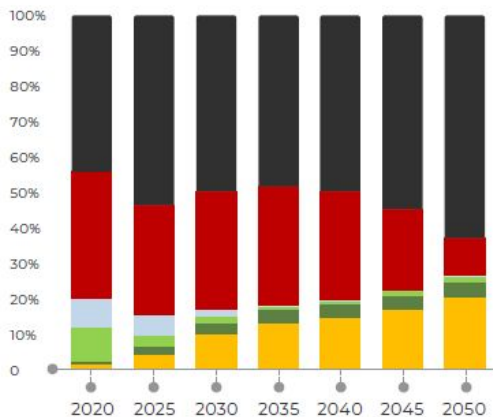


Sumber: Laporan Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan bulan Oktober 2021

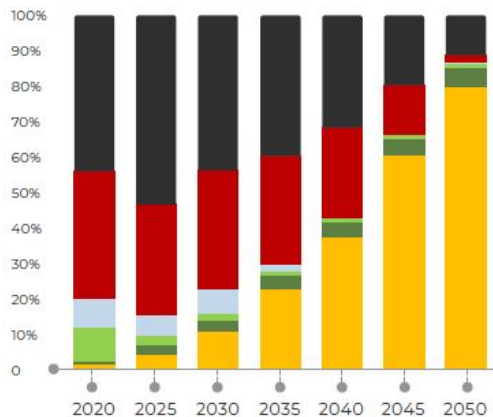
Dengan optimalisasi energi terbarukan, Indonesia layak secara teknis dan ekonomis mencapai emisi nol (*zero emission*) di 2050



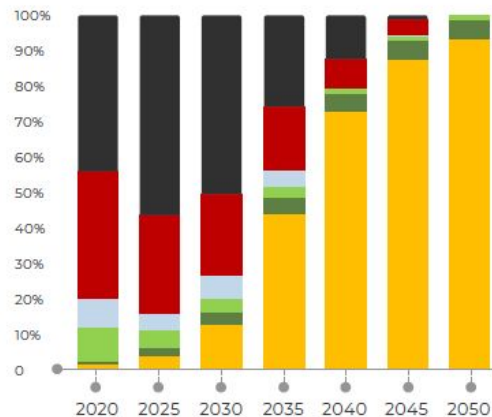
Primary Energy Demand
- Current Policy



Primary Energy Demand
- Delayed Policy



Primary Energy Demand
- Best Policy



RE Electricity RE Solar Thermal RE Geothermal RE Bioenergy Fossil gas Fossil oil Fossil coal



Current Policy
Fossil-based system

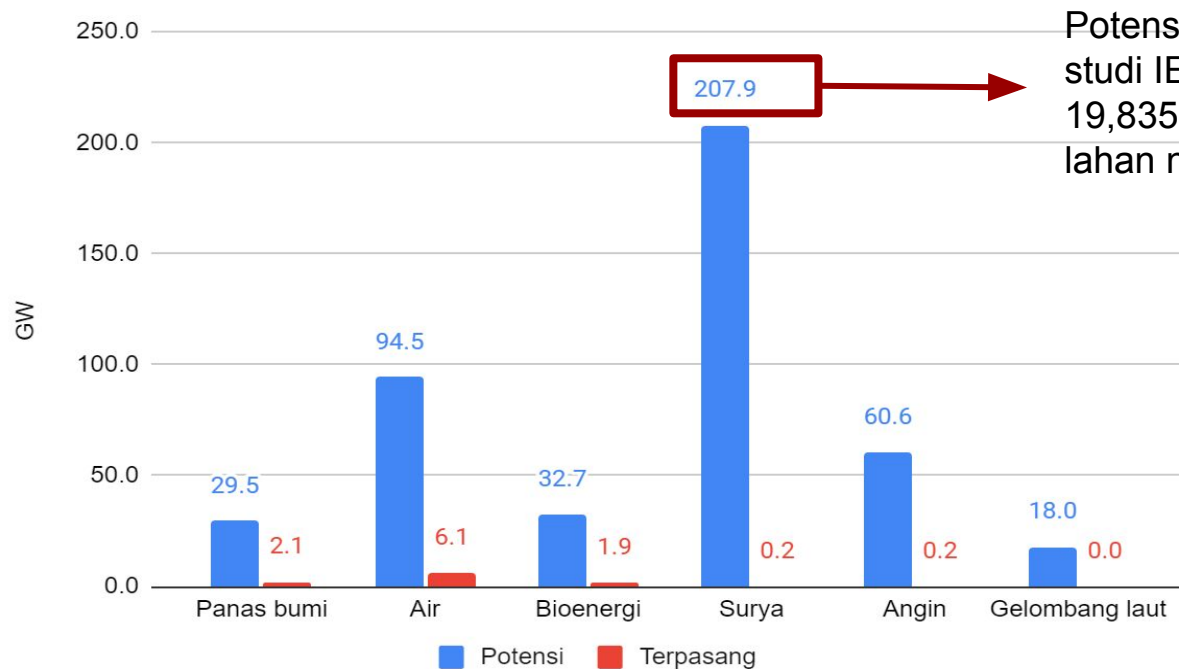


Delayed Policy
Renewable-based system

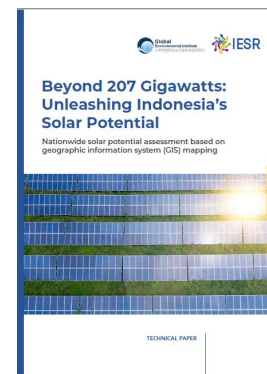


Best Policy
Renewable-based system

Potensi energi terbarukan yang jauh lebih banyak daripada yang tertera di RUEN



Potensi energi surya dari studi IESR (2021) adalah 19,835 GWp dari 24% total lahan nasional yang tersedia



Sumber: RUEN dan HEESI 2021

Evaluasi potensi energi terbarukan harus dilakukan

Tujuan studi:

Mengkaji ulang potensi energi terbarukan di Indonesia secara komprehensif menggunakan metode Sistem Informasi Geografis, sehingga dapat menjadi bukti bahwa **Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang besar**

Energi terbarukan yang dikaji:

Solar



Air



Angin



Biomassa



PHES



Garis besar presentasi

1

Pemilihan lokasi optimal

2

Metode perhitungan potensi teknis

3

Hasil perhitungan potensi teknis

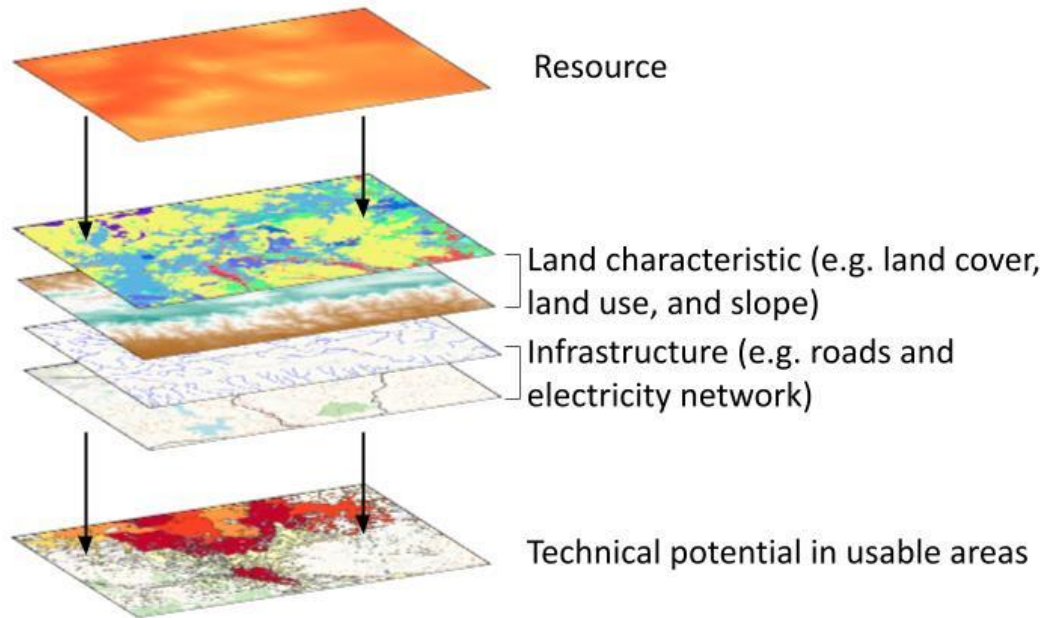
4

Kesimpulan dan rekomendasi

Penentuan lokasi terbaik



Metode penentuan lokasi - *Screening method*

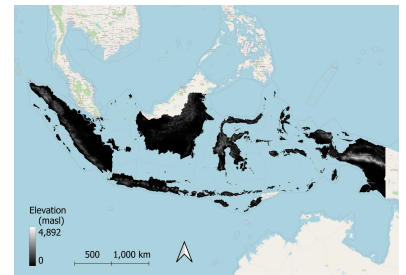
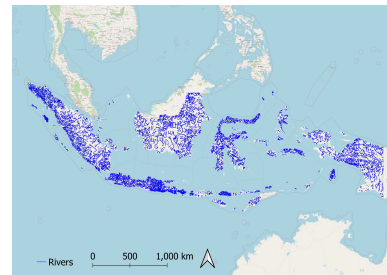
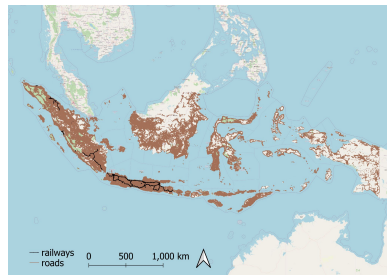
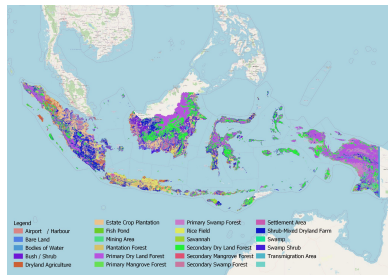


Tujuan:

Menentukan lokasi yang memiliki sumber energi besar dan tidak berada di daerah-daerah tertentu. Contohnya, tidak berada di lahan dengan kemiringan lebih dari 10° untuk PLTS

Data/peta untuk menentukan lahan di luar area-area tertentu

- Peta tutupan lahan dari KLHK beresolusi 125 meter atau 1 : 250.000
- Peta jalur transportasi, badan air, jalur listrik, bandara, dan pelabuhan dari OpenStreet Map
- Peta Digital Elevation Map beresolusi 125 meter



Langkah-langkah penentuan lokasi berdasarkan tutupan dan tipe lahan serta kondisi sumber daya alam

1. Mengecualikan area-area utama seperti area lindung yang didasarkan dari UNEP-WCMC (2019), hutan, bandara, pelabuhan, badan air (hanya untuk potensi surya dan angin), dan jalan
2. Mempertimbangkan tutupan lahan tertentu untuk potensi ET tertentu seperti:
 - a. Atap perumahan untuk perhitungan potensi solar photovoltaic (PV)
 - b. Lahan pertanian dan perkebunan untuk perhitungan potensi biomassa
 - c. Sungai untuk perhitungan potensi air dan Pumped Hydro Energy Storage (PHES)
 - d. Dam untuk perhitungan potensi floating photovoltaic dan PHES
3. Mengecualikan daerah yang memiliki karakteristik tertentu seperti daerah berkemiringan di atas 10°
4. Memilih lokasi yang berpotensi tinggi sumber daya alamnya seperti titik-titik yang memiliki debit air dalam batasan tertentu



Perhitungan potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya, Bayu, Air, Biomassa, dan PHES

Formula dan skenario (Solar dan Angin)

Type ET	Formula	Skenario 1	Skenario 2
Solar	$Cap_{PV} = A \times PD$	Seluruh permukaan lahan terpilih dapat ditutupi PV	Hanya 27% dari keseluruhan permukaan atap (NREL, 2013a) dan 5% dari permukaan waduk dapat ditutupi PV (Peraturan Menteri PUPR 6 tahun 2020 tentang bendungan)
Angin	$Cap_{wind} = A \times PD$ $A = \pi(0.5\phi)^2$	Kecepatan angin minimum 6 m/s di ketinggian 50 m dan 6.6 m/s di ketinggian 100 m	Kecepatan angin minimum 7.25 m/s di ketinggian 50 m dan 7.99 m/s di ketinggian 100 m

Formula dan skenario (Air, biomassa, dan PHES)

Tipe ET	Formula	Skenario 1	Skenario 2
Air	$Cap_{shp} = \rho \times g \times h \times Q$	Boleh terdapat lebih dari 1 PLTMH dalam satu basin untuk memaksimalkan potensi sungai	Hanya boleh satu PLTMH di satu basin untuk menjaga ekosistem
Biomassa	$Prod = A \times \square \times Y$ $Cap_{biomass} = Prod \times \alpha \times \eta \times \vartheta$	Sumber biomassa yang digunakan adalah limbah pertanian dan perkebunan (kelapa sawit, coklat, padi, dan kopi), dan kayu akasia	
PHES	Mengikuti peta potensi dari ANU		

Pembangkit Listrik Tenaga Surya, Bayu, Air, Biomassa, dan PHES

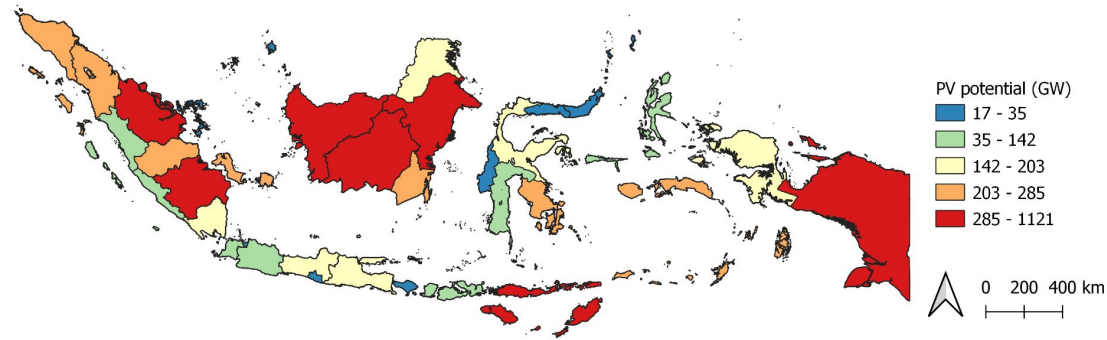


Area belukar dapat menjadi kontributor utama pemasangan PLTS

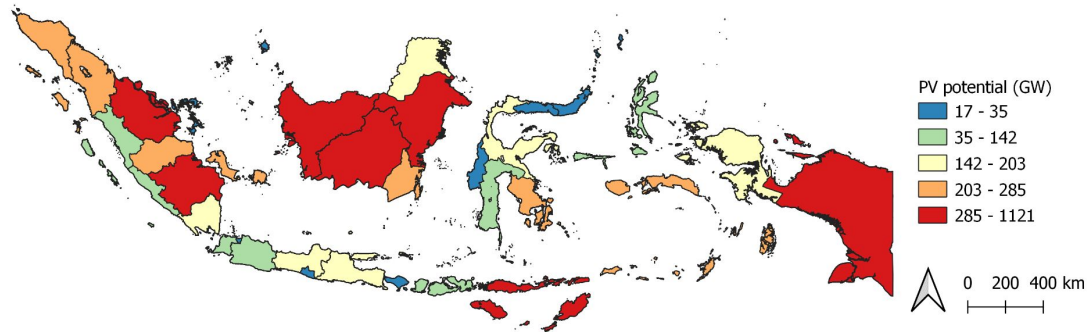
Tipe tutupan lahan	Area (km ²)	Potensi teknis Scenario 1 (GWp)	Potensi teknis Scenario 2 (GWp)
Belukar	101.937,4	4.179,4	4.179,4
Tanah terbuka	28.868,6	1.183,6	1.183,6
Pemukiman	32.006,8	1.312,3	354,3
Pertambangan	6.839,3	280,4	280,4
Savana	15.416,7	632,1	632,1
Area transmigrasi	2.737,1	112,2	112,2
Dam	355,1	14,6	7,3
Total	188.161,1	7.714,6	6.749,3

Potensi PLTS

Skenario 1
(7.714,6 GW)

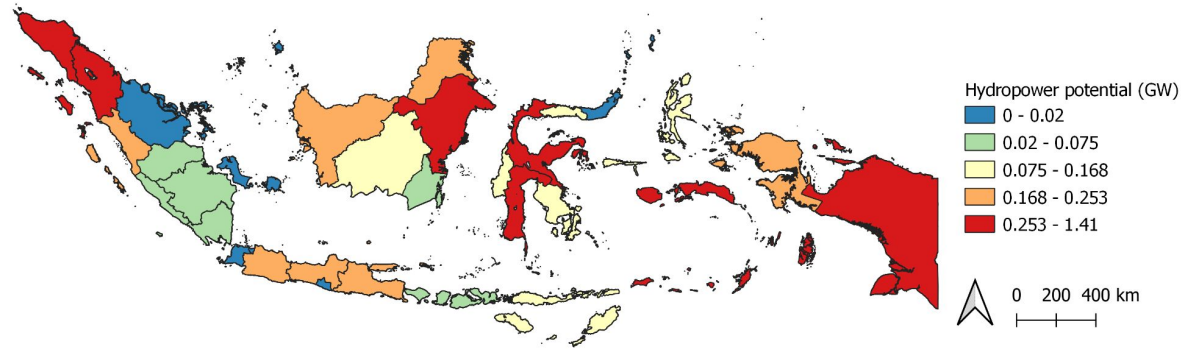


Skenario 2
(6.749,3 GW)

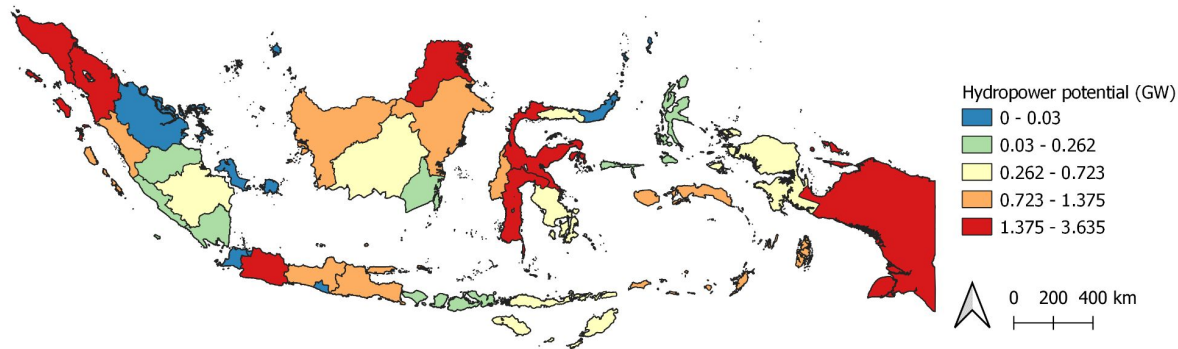


Potensi PLTMH

Skenario 1
(27,8 GW)

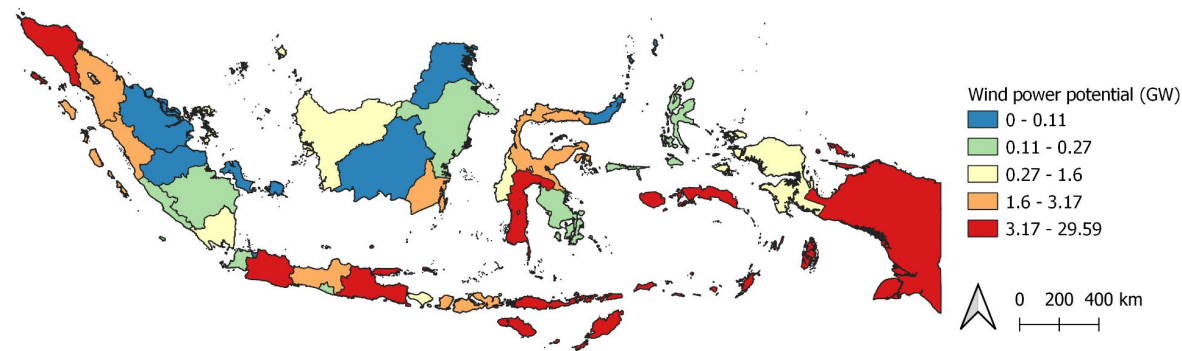


Skenario 2
(6,3 GW)

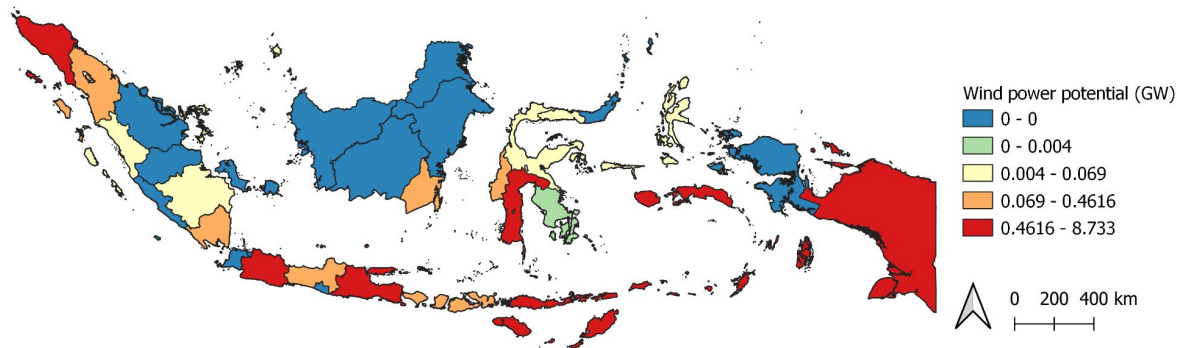


Potensi PLTB di ketinggian 50 m (batas kecepatan angin 6 m/s dan 7.25 m/s)

Skenario 1
(106 GW)

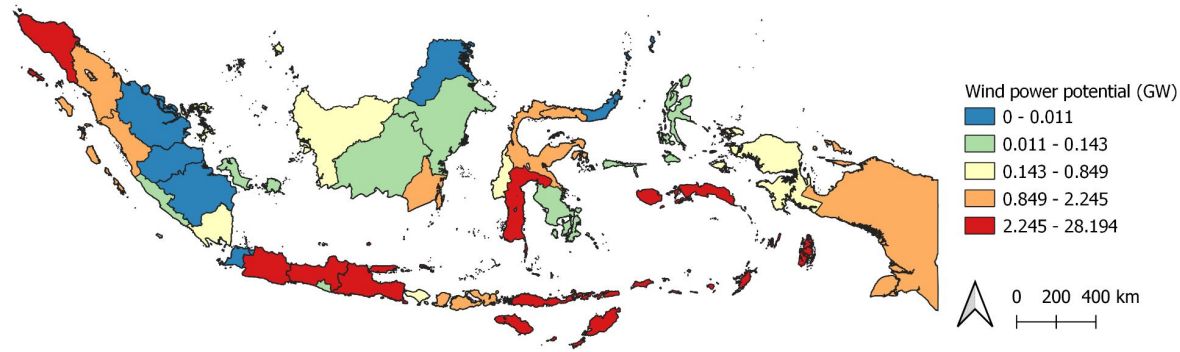


Skenario 2
(87,6 GW)

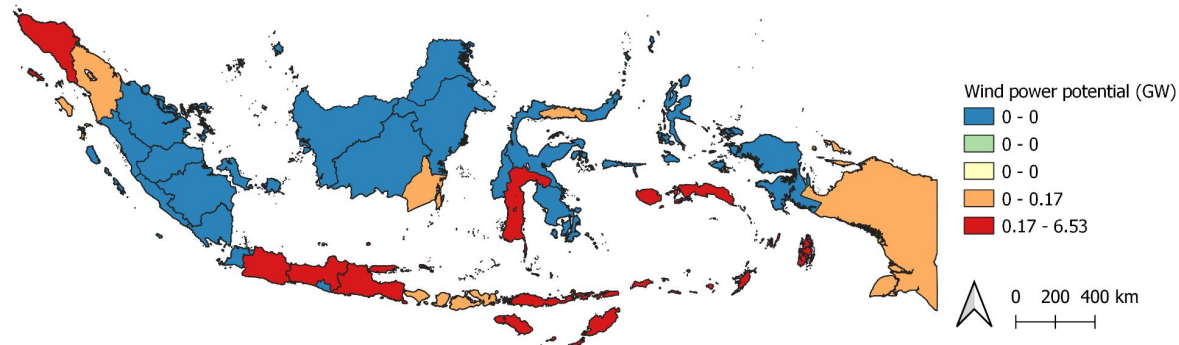


Potensi PLTB di ketinggian 100 m (batas kecepatan angin 6.6 m/s dan 7.99 m/s)

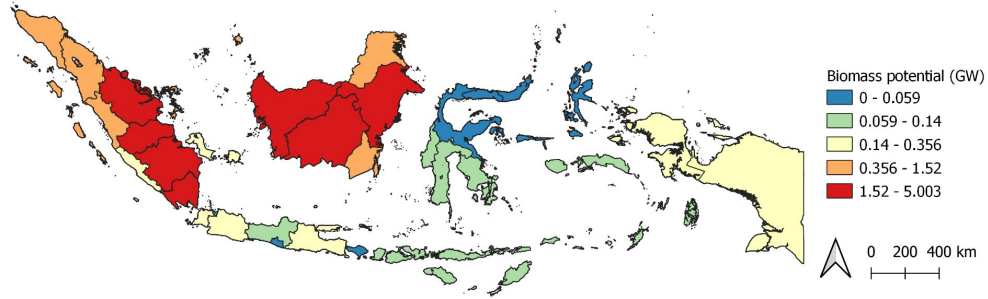
Skenario 1
(25 GW)



Skenario 2
(19,7 GW)

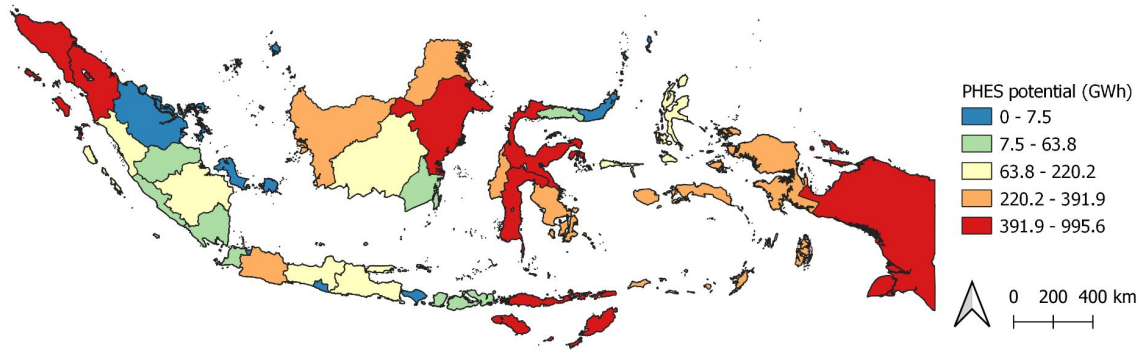


Potensi PLTBm



Komoditas	Jenis limbah	Potensi teknis (GW)
Coklat	Kulit buah	0,02
Kopi	Kulit buah	0,03
Padi	Kulit	3,08
Kelapa sawit	Inti	12,30
	Sabut	2,20
	Buah kosong	5,80
Akasia	Kayu	7,30
Total		30,73

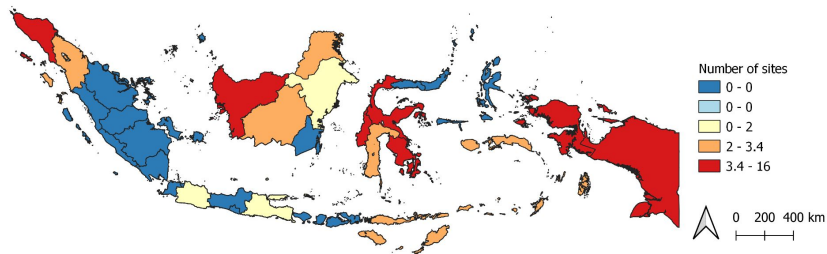
Potensi PHES Grade A



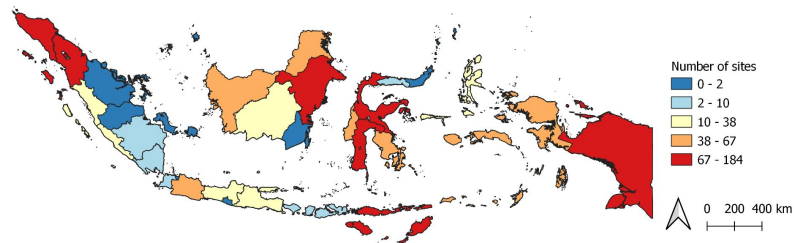
Potensi total
7.308,8 GWh

Contoh potensi PHES Grade A per energi terbangkitkan dan lama penyimpanan

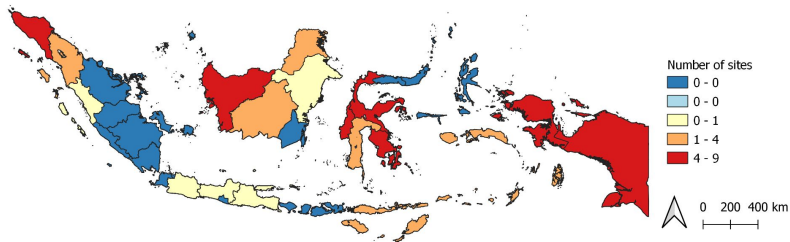
15 GWh - 6 jam



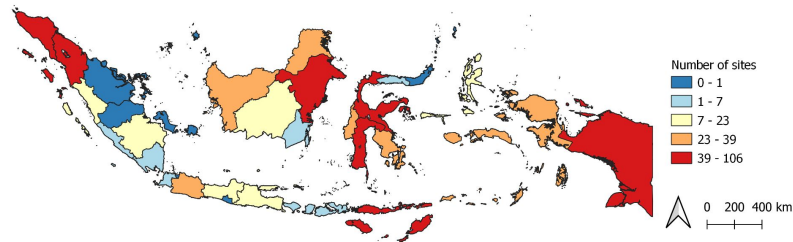
15 GWh - 18 jam



50 GWh - 6 jam



50 GWh - 18 jam





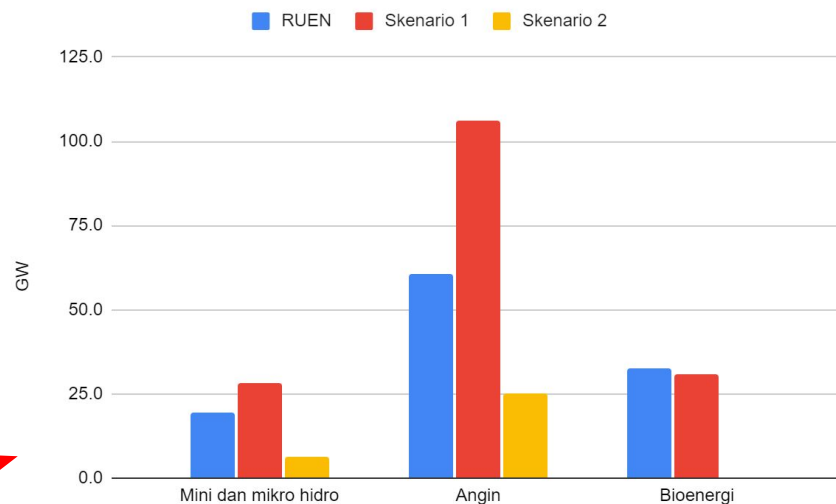
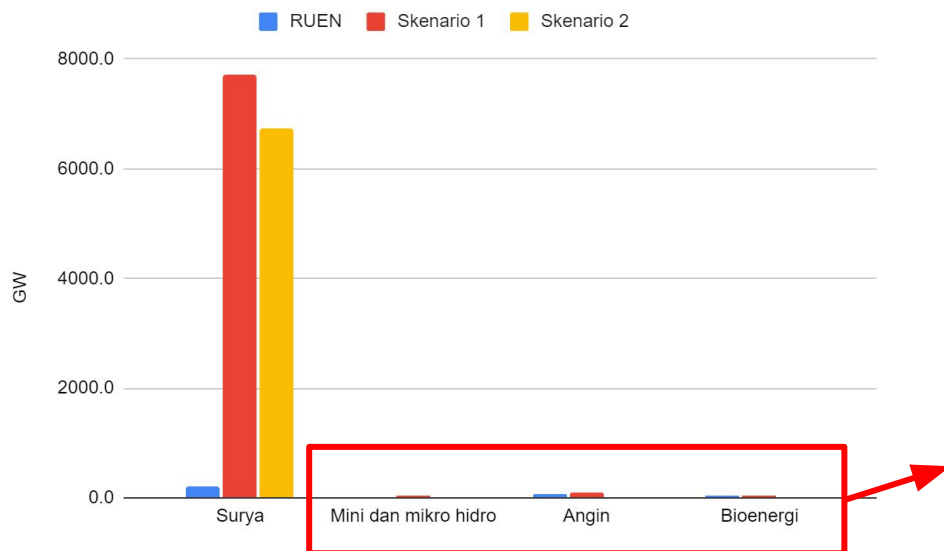
Kesimpulan dan rekomendasi

Lebih dari 7,000 GW potensi energi terbarukan di Indonesia dapat digunakan untuk mencapai target nol emisi lebih cepat (tahun 2050)

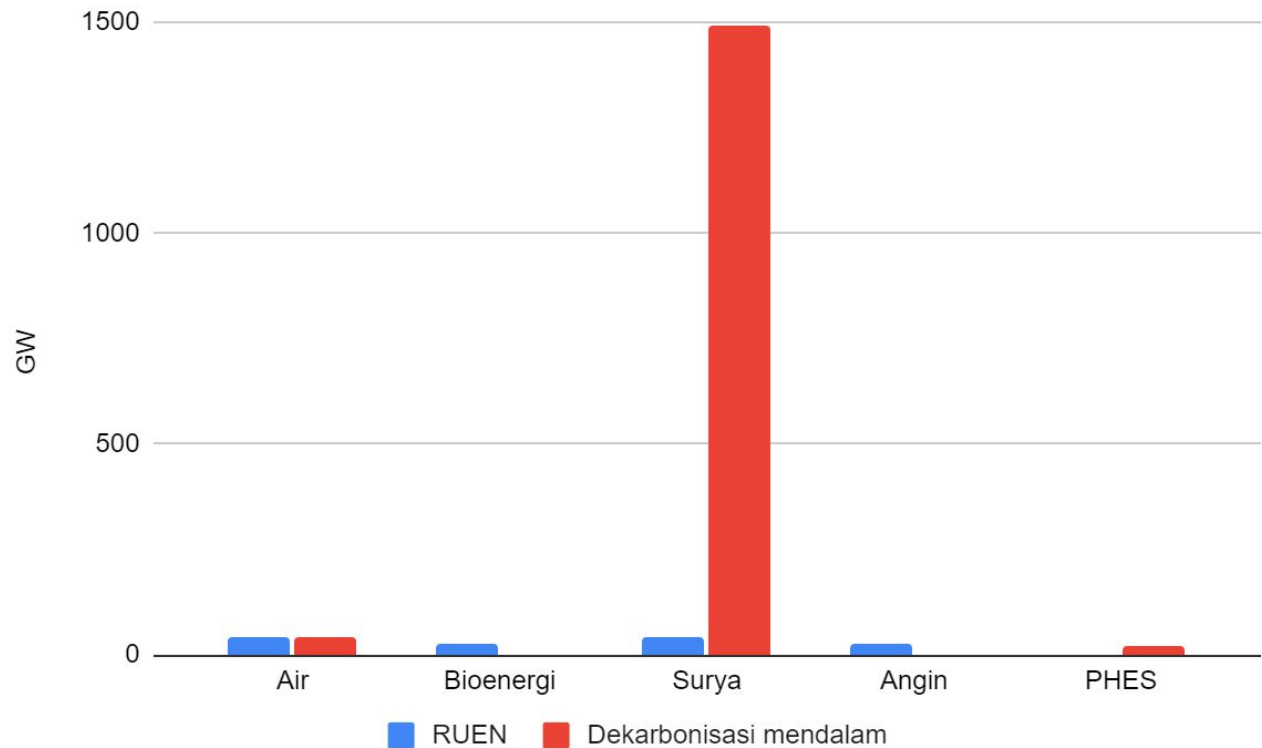
Jenis	Potensi teknis	
	Skenario 1	Skenario 2
PLTS	7.714,6 GW	6.749,3 GW
PLTMH	28,1 GW	6,3 GW
PLTB	106 GW di ketinggian at 50 m dan 88 GW di ketinggian 100 m	25 GW di ketinggian 50 m dan 19,8 GW di ketinggian 100 m
PLTBm	30,73 GW	
Pumped Hydro Energy Storage	7.308,8 GWh	

Total potensi PLTS, PLTMH, PLTB, dan PLTBm dari skenario 1 adalah 7,879.4 GW dan dari skenario 2 adalah 6,811.3 GW

Potensi energi terbarukan yang terhitung lebih tinggi daripada yang tertera dalam RUEN



PLTS banyak dibutuhkan untuk mencapai dekarbonisasi mendalam di 2050



Potensi ET di Indonesia sangat melimpah, bahkan lebih dari yang dibutuhkan untuk mencapai dekarbonisasi mendalam

Rekomendasi

1. Pemerintah memperbarui dan meninjau data potensi teknis energi terbarukan secara berkala seiring dengan berkembangnya teknologi
2. Peta potensi teknis perlu dilengkapi dengan analisis singkat mengenai intermitensi, variabilitas, dan kesiapan jaringan, termasuk prediksi kondisi di beberapa tahun ke depan
3. Pemerintah dan pemangku kepentingan harus mulai mempertimbangkan pengembangan sistem terdesentralisasi dan koneksi antar pulau sebagai cara untuk menyediakan listrik dari energi terbarukan yang dapat diakses oleh masyarakat di seluruh pulau, terutama daerah terpencil
4. Pemerintah perlu memberi dukungan lebih pada berbagai inovasi teknologi energi terbarukan sehingga dapat membuka peluang pemanfaatan potensi ET yang besar



Terima Kasih

 [iesr.id](https://www.facebook.com/iesr.id) [iesr.id](https://www.instagram.com/iesr.id) www.iesr.or.id [IESR](https://twitter.com/IESR) [iesr](https://www.linkedin.com/company/iesr)

Pemilihan lokasi berdasarkan tutupan lahan (1)

PLT	Area lindung	Jalan	Jalur listrik	Bandara	Pelabu- han	Sungai	Danau	Dam
Solar	X	X	X	X	X	X	X	O
Bayu	X	X	X	X ¹⁾	X	X	X	X
Air	X	X	X	X	X	O	X	X
Biomassa	X	X	X	X	X	X	X	X
PHES	X	X	X	X	X	O	O	O

¹⁾ < 4000 m dari bandara (Peraturan Menteri Perhubungan no. 44 tahun 2005 tentang kawasan keselamatan operasi penerbangan)

Pemilihan lokasi berdasarkan tutupan lahan (2)

PLT	Hutan	Sawah dan kebun	Belukar	Savana	Tanah terbuka	Tambang	Perumahan	Transmigrasi
Solar	X	X	O	O	O	O	O	O
Bayu	X	X	O	O	O	O	X ¹⁾	X
Air	X	X	O	O	O	O	X	X
Biomassa	X	O	X (mengikuti peta komoditas eksisting)				X	X
PHES	X	X	O	O	O	O	X	X

¹⁾ < 500 m dari perumahan

Pemilihan lokasi berdasarkan tipe lahan

PLT	Daerah datar	Daerah berbukit atau gunung
Solar	O ¹⁾	X
Bayu	O ¹⁾	X
Air	X	O ²⁾
Biomassa	O	X
PHES	O	O

1) kemiringan lahan < 10°

2) kemiringan lahan ≥ paling tidak 2.5 meter dan paling tidak 500 mdpl

Pemilihan lokasi berdasarkan kondisi alam

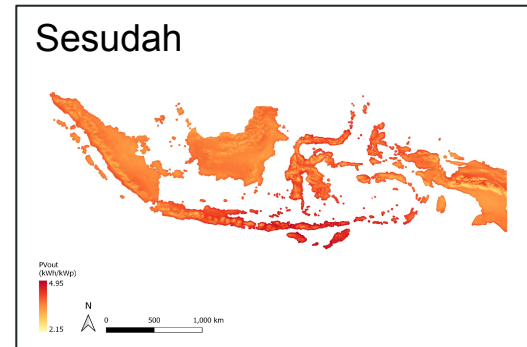
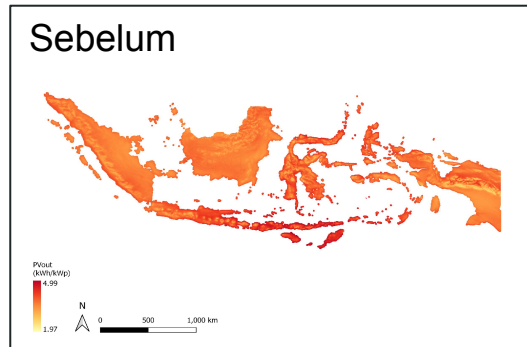
PLT	Aliran air paling tidak 200 m per bulan per 1 m ² di satu basin	Rata-rata angin tahunan minimum 7.25 m/s di ketinggian 50 m and 7.99 m/s di ketinggian 100 m
Solar	-	-
Bayu	-	O
Air	O	-
Biomass	-	-
PHES	-	-

Perhitungan potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya



Resampling peta dari Global Solar Atlas

- Sumber data: rata-rata harian listrik terbangkitkan dari PV panel per 1 kWp dari Global Solar Atlas beresolusi 1 km
- Resampling peta menggunakan bilinear interpolation untuk mendapatkan resolusi yang lebih tinggi (250m)



Rumus perhitungan potensi PV

Berdasarkan hasil pemilihan lokasi, potensi PV di lokasi-lokasi terbaik dapat dihitung menggunakan rumus:

$$Cap_{PV} = A \cdot PD$$

Cap_{PV} adalah kapasitas teknis (GWp), A adalah area (km²), PD adalah power density (0.041 GWp/km² berdasarkan NREL, 2013b)

Skenario perhitungan potensi PLTS

Untuk memaksimalkan potensi PV tanpa melupakan regulasi yang ada, maka dibentuk 2 skenario:

1. Seluruh permukaan lahan terpilih dapat ditutupi PV
2. Hanya 27% dari keseluruhan permukaan atap (NREL, 2013a) dan 5% dari permukaan waduk dapat ditutupi PV (Peraturan Menteri PUPR 6 tahun 2020 tentang bendungan)

Perhitungan potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro-Hidro



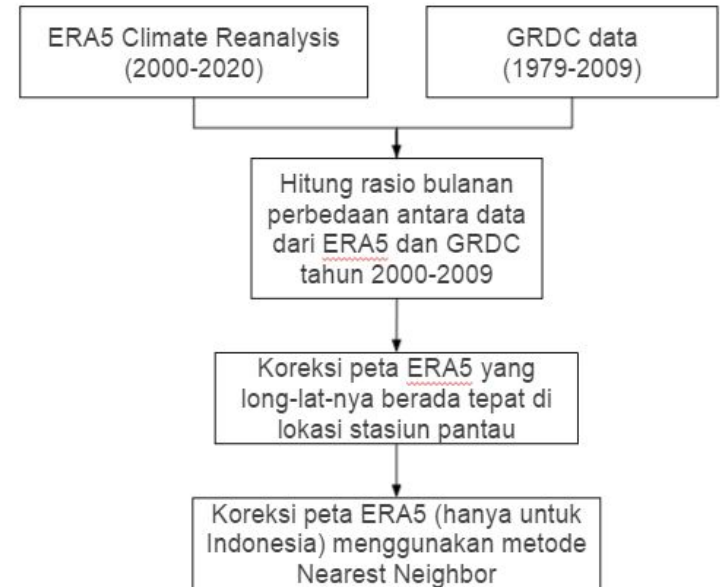
Linear Downscaling untuk memperoleh data limpasan air dari data global

Sumber data:

1. Peta limpasan air global dari ERA5 Climate Reanalysis
2. Pantauan limpasan air per stasiun pantau dari Global Runoff Dataset Center (GRDC)

catatan: kedua data mempunyai skala temporal berupa rata-rata limpasan air bulanan (satu angka untuk 12 bulan)

Langkah perhitungan downscaling linear



Rumus perhitungan potensi PLTMH

Dari lokasi-lokasi terpilih dan menggunakan data aliran air, maka potensi PLTMH dapat dihitung menggunakan:

$$Cap_{shp} = \eta \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot Q$$

Cap_{shp} adalah potensi teknis (kW), η adalah efisiensi sebesar 75%, ρ adalah densitas air (kg/m³), g adalah gravitasi (m/s²), h adalah perbedaan ketinggian inlet dan outlet yaitu minimal 2.5 m, Q adalah aliran air (m per bulan per m² grid) dari ERA5 reanalysis.

Skenario perhitungan potensi PLTMH

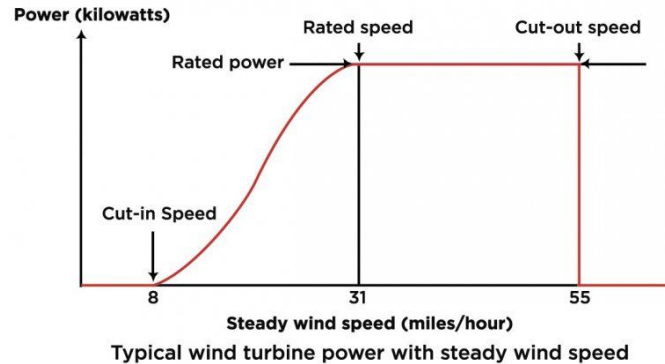
Untuk memaksimalkan potensi PLTMH tanpa melupakan keterbatasan sumber daya dan kondisi lingkungan, maka dibentuk 2 skenario:

1. Boleh terdapat lebih dari 1 PLTMH dalam satu basin untuk memaksimalkan potensi sungai
2. Hanya boleh satu PLTMH di satu basin untuk menjaga ekosistem

Perhitungan potensi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu



Batasan kecepatan angin



Rata-rata kecepatan angin tahunan minimal 7.25 m/s untuk tinggi turbin 50 m (data dari NREL yang tertera di Burton, et al., 2011) dan 7.99 m/s untuk tinggi turbin 100 m yang didapat dari rumus:

$$U(z) = U(50) \cdot (z/50)^{0.14}$$

dimana $U(z)$ dan $U(50)$ adalah rata-rata kecepatan angin tahunan pada ketinggian hub z dan 50 m

Rumus perhitungan potensi PLTB

Di lokasi yang memiliki angin cukup tinggi, potensi PLTB dihitung menggunakan:

$$Cap_{wind} = PD \cdot A$$

$$A = \pi(0.5 \cdot \phi)^2$$

Cap_{wind} adalah kapasitas teknis (W), PD adalah power density (W/m^2) dari Global Wind Atlas, A adalah area turbin yang bersentuhan dengan angin (m^2), ϕ adalah diameter rotor (m).

Skenario perhitungan PLTB

Berdasarkan hasil diskusi dengan P3GL, batas kecepatan angin tahunan minimum sebesar 7.25 m/s di ketinggian 50 meter kurang sesuai dengan kondisi angin di Indonesia sehingga dibuatlah 2 skenario perhitungan:

1. Kecepatan angin minimum 6 m/s di ketinggian 50 m dan 6.6 m/s di ketinggian 100 m
2. Kecepatan angin minimum 7.25 m/s di ketinggian 50 m dan 7.99 m/s di ketinggian 100 m

Perhitungan potensi Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa



Peta sumber biomassa

Sumber biomassa yang digunakan adalah limbah pertanian dan perkebunan, dan kayu akasia:

- Peta sebaran kelapa sawit, coklat, padi, kopi dari Institut Pertanian Bogor
- Peta sebaran pohon akasia dari Global Forest Watch

Perhitungan potensi PLTBm

Berdasarkan lokasi tersedianya sumber biomassa, potensi PLTBm dapat dihitung menggunakan:

$$Prod = A \cdot \beta \cdot \gamma$$

$$Cap_{biomass} = Prod \cdot \alpha \cdot \eta \cdot \vartheta$$

$Prod$ adalah total sumber yang dapat digunakan (ton), A adalah area (m^2), β adalah produksi per m^2 , γ adalah siklus panen per tahun, $Cap_{biomass}$ adalah potensi teknis (kW), α adalah nilai kalor (kJ/kg), η adalah efisiensi dengan angka 25%, ϑ adalah persentase limbah dari keseluruhan panen.

Data produksi dan masa panen per sumber biomassa

Komoditas	Produksi (ton/ha)	Siklus panen (per tahun)
Coklat	0.5	2
Kopi	0.6	1-2
Padi	5	3-4
Kelapa sawit	3	12-24
Akasia	20	1-2

Data persentase limbah per total panen dan nilai kalor per kilogram

Komoditas	Tipe limbah	Nilai kalor (kJ/kg)	Persentase limbah (%)
Coklat	Kulit buah	16670	67
Kopi	Kulit buah	18340	50
Padi	Kulit	12980	20
Kelapa sawit	Inti	23605	40
	Sabut	14512	11.5
	Buah kosong	17400	25.5
Akasia	Kayu	20083	100

Perhitungan potensi PHES



Metode perhitungan

Berdasarkan peta lokasi PHES dari Australia National University, PHES yang terpilih hanya grade A dan dipilih lebih lanjut berdasarkan:

- Kedua reservoir tidak berada di area pemukiman, jalan, dan area lindung
- Reservoir atas berada di dekat badan sungai
- Reservoir bawah berada di dekat sungai dan/atau waduk sehingga dapat menggunakan metode open loop atau dikoneksikan dengan PLTA