CITIZEN: Jurnal Ilmiah Multidisiplin Indonesia
Vol 2, No. 1, 2022
ISSN: 2807-5994
https://journal.das-institute.com/index.php/citizen-journal

# SIMULASI PERBANDINGAN PERUBAHAN *TILT* TERHADAP ENERGI *ARRAY* PADA 34 UNIT PLTS *ROOFTOP* 100 KWP DI INDONESIA

Hero Gunawan, Budi Sudiarto
Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Indonesia
E-mail: hero.gunawan81@ui.ac.id

Copyright © 2021 The Author
This is an open access article
Under the Creative Commons Attribution Share Alike 4.0 International License

**DOI: 10.53866/jimi.v2i1.27**

***Abstract***

*One of the activities to developing the use of rooftop solar panels in Indonesia in accordance with the mandate of RUEN is the mandatory use of solar cells at a minimum of 30% of the roof area for all government buildings. In this regard, good planning related to engineering is needed, one of which is the orientation and tilt aspects used. In International, to assist countries in achieving sustainable development goals for new and renewable energy, the World Bank Group partnered with Solargis, releasing a web-based application called Global Solar Atlas (GSA) with optimum tilt and energy arrays as research references. From this study, it was found that tilt changes greatly affect the resulting array energy, an average change of $1^0$ from $0^0$-$16^0$ can result in changes in addition of up to 578 kWh and reduction of up to 483 kWh. The largest array energy potential value is located in the province of Bali at 16.5872 kWh and the smallest in West Kalimantan at 12.1924 kWh., while compared to the modeling in the GSA application, the largest array energy value is in NTT with a value of 16.5673 kWh and the smallest is in East Kalimantan with rated 12.1843 kWh. The tilt value in Indonesia from 34 simulated locations is at $0^0$-$13^0$ and is still in the tilt range in Indonesia according to the GSA application, which is $0^0$-$14^0$.*

*Keywords: GSA, PLTS Rooftop, Tilt, and Energy Array*

**Abstrak**

Salah satu kegiatan yang bertujuan untuk mengembangkan penggunaan PLTS *rooftop* di Indonesia sesuai amanat RUEN adalah pemberlakuan kewajiban pemanfaatan sel surya minimum sebesar 30% dari luas atap untuk seluruh bangunan pemerintah. Berkaitan dengan hal tersebut dibutuhkan perencanaan yang baik terkait keteknikan, salah satunya aspek orientasi dan tilt yang digunakan. Di dunia internasional, untuk membantu negara-negara dalam mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan energi baru terbarukan, Grup Bank Dunia bermitra dengan Solargis, merilis aplikasi berbasis web bernama *Global Solar Atlas* (GSA) dengan *tilt* optimum dan energi *array* yang dijadikan referensi penelitian. Dari penelitian ini didapati bahwa perubahan *tilt* sangat mempengaruhi energi *array* yang dihasilkan, rata-rata perubahan $1^0$ mulai dari $0^0$ sampai dengan $16^0$ dapat mengakibatkan perubahan penambahan hingga 578 kWh dan pengurangan hingga 483 kWh. Nilai potensi energi *array* terbesar terletak pada provinsi Bali sebesar 16.5872 kWh dan terkecil pada Kalimantan Barat sebesar 12.1924 kWh., sedangkan jika dibandingkan dengan pemodelan yang terdapat pada aplikasi GSA nilai energi *array* yang terbesar terletak pada NTT dengan nilai 16.5673 kWh dan terkecil pada Kalimantan Timur dengan nilai 12.1843 kWh. Nilai *tilt* di Indonesia dari 34 lokasi yang disimulasikan berada pada $0^0$ -$13^0$ dan masih masuk range *tilt* di Indonesia menurut aplikasi GSA yakni sebesar $0^0$ – $14^0$.

Kata Kunci: GSA, PLTS *Rooftop*, *Tilt,* dan Energi *Array*

## 1. Pendahuluan

Dalam menyeimbangkan antara laju ketersediaan energi dengan kebutuhan energi di masyarakat, tentunya menjadi kewajiban pemerintah untuk dapat meningkatkan peran pemanfaatan energi baru terbarukan sebagai solusi penyediaan energi yang ramah lingkungan, namun saat ini upaya tersebut memiliki tantangan besar dengan kondisi geografis Indonesia yang cukup luas dan beberapa sulit untuk dijangkau meskipun sebenarnya memiliki potensi yang besar dalam pengembangan energi terbarukan untuk masa yang akan datang.

Salah satu teknologi energi surya fotovoltaik yang saaat ini sedang berkembang adalah teknologi pembangkit listrik tenaga surya di atap bangunan atau PLTS *rooftop*. Sistem PLTS *rooftop* adalah sistem PV yang lebih kecil dibandingkan dengan sistem PV yang dipasang di tanah, PLTS *rooftop* dipasang diatap perumahan, bangunan komersial atau kompleks industri.

Sebagai bentuk pemenuhan amanat RUEN didalam mencapai sasaran pengembangan PLTS *rooftop* salah satu kegiatan yang dimandatkan pemerintah berupa pemberlakuan kewajiban pemanfaatan sel surya minimum sebesar 30% dari luas atap untuk seluruh bangunan pemerintah.

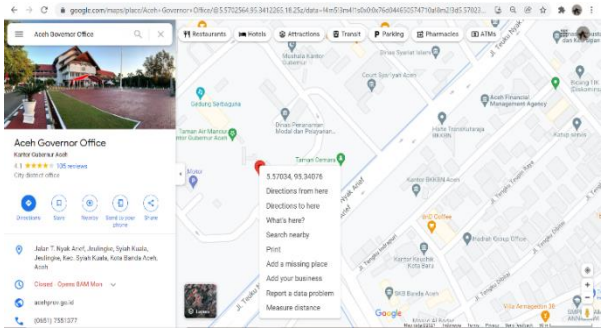
Dari sisi internasional untuk membantu negara-negara dalam mencapai tujuan pembangunan energi baru terbarukan yang berkelanjutan, Grup Bank Dunia bermitra dengan Solargis, merilis aplikasi berbasi web bernama *Global Solar Atlas* (GSA) yang menyediakan akses cepat dan mudah didalam memproyeksikan potensi energi surya di suatu lokasi atau wilayah dimanapun didunia. Tidak hanya potensi berbagai macam informasi keluaran tentang PLTS dimana salah satu informasi yang dijadikan referensi dalam penelitian ini adalah *tilt* optimum dan energi *array*.

PVsyst merupakan salah satu simulator yang dapat menyimulasikan pemodelan sistem PLTS baik yang bersifat *on-grid* maupun *off-grid*, dimana keluaran yang akan dianalisis berupa energi *array* pada PLTS *rooftop* dengan asumsi-asumsi diantaranya kapasitas terpasang sebesar 100 kWp, jenis mounting yang digunakan *fixed tilt* tanpa adanya bayangan. Dengan menggunakan simulasi ini harapannya dapat memberikan gambaran teknis terkait penetapan *tilt* optimum yang dapat memberikan nilai energi *array* yang terbesar dari 34 lokasi yang menjadi obyek yang simulasi penelitian.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1. Pengumpulan Data dan Tahapan Perancangan

Tahapan pertama di dalam melakukan penelitian ini adalah menentukan titik koordinat lokasi gedung yang direncanakan dijadikan obyek pemasangan. Terdapat 34 lokasi didalam penelitian ini, dimana 34 lokasi tersebut merupakan gedung kantor Gubernur se Indonesia. Alasan pemilihan kantor gubernur dikarenakan berada di masing-masing ibukota provinsi dan diasumsikan dapat dijadikan referensi untuk gedung-gedung di sekitar lokasi dalam merencanakan pembangunan PLTS *rooftop*. Penentuan titik koordinat ini menggunakan aplikasi google map seperti pada gambar 1. Adapun rekapitulasi koordinat yang telah didapatkan dari aplikasi google map dijabarkan pada tabel 1.



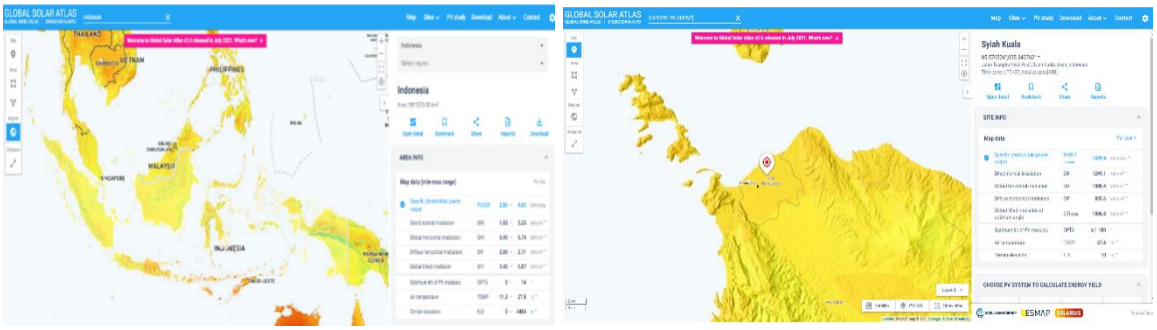
CITIZEN: Jurnal Ilmiah Multidisiplin Indonesia
Vol 2, No. 1, 2022
ISSN: 2807-5994
https://journal.das-institute.com/index.php/citizen-journal

**Gambar 1**. Penentuan Titik Koordinat Lokasi Gedung Pada Aplikasi Google Map

**Tabel 1**. Titik Koordinat 34 *Site* Berdasarkan Google Map

| Provinsi | Titik Koordinat | Provinsi | Titik Koordinat |
|---|---|---|---|
| Aceh | 5.57034, 95.34076 | NTB | -8.58152, 116.10974 |
| Sumatera Utara | 3.58071, 98.67200 | NTT | -10.17114, 123.60807 |
| Sumatera Barat | -0.93757, 100.36044 | Kalimantan Barat | -0.06114, 109.35337 |
| Riau | 0.51775, 101.44584 | Kalimantan Tengah | -2.21711, 113.91884 |
| Kep Riau | 0.87646, 104.44515 | Kalimantan Selatan | -3.48435, 114.83387 |
| Jambi | -1.60387, 103.58358 | Kalimantan Timur | -0.50085, 117.13933 |
| Bengkulu | -3.82071, 102.28414 | Kalimantan Utara | 2.84200, 117.37403 |
| Sumatera Selatan | -2.97645, 104.75045 | Sulawesi Utara | 1.46989, 124.84484 |
| Kep Bangka Belitung | -2.15276, 106.15822 | Gorontalo | 0.52435, 123.07745 |
| Lampung | -5.44100, 105.25827 | Sulawesi Tengah | -0.89052, 119.87100 |
| DKI | -6.18149, 106.82828 | Sulawesi Barat | -2.66487, 118.85280 |
| Banten | -6.17338, 106.15655 | Sulawesi Selatan | -5.13945, 119.45211 |
| Jawa Barat | -6.90215, 107.61875 | Sulawesi Tenggara | -4.02426, 122.54030 |
| Jawa Tengah | -6.99394, 110.42017 | Maluku Utara | 0.75675, 127.60997 |
| DIY | -7.79471, 110.36720 | Maluku | -3.69368, 128.18314 |
| Jawa Timur | -7.24556, 112.73911 | Papua Barat | -0.91807, 134.03051 |
| Bali | -8.66789, 115.23411 | Papua | -2.53620, 140.71508 |

Titik koordinat yang telah didapatkan tersebut kemudian dimasukan kedalam aplikasi berbasis web GSA untuk mendapatkan informasi terkait nilai *tilt* optimum, elevasi panel dan orientasi yang disarankan untuk Indonesia, dimana dari aplikasi tersbeut menginformasikan potensi surya sebesar 2.82 - 4.62 kWh/kWp dengan nilai optimum tilt nya berkisar mulai dari $0^0$ - $14^0$. Namun jika kita memasukan titik koordinat pada tabel 1 maka potensi surya nya akan berbeda-beda satu sama lain.



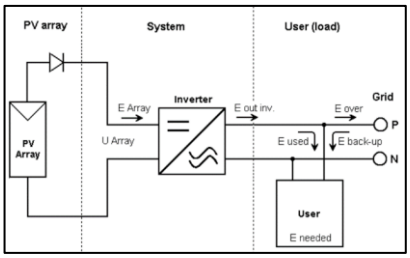

**Gambar 2.** Potensi Surya di Indonesia dan Gedung di Provinsi Aceh Pada Aplikasi GSA

Dalam simulasi ini peneliti menggunakan struktur *mounting* jenis *fixed tilt* dari ketiga jenis *tilt* yang ada, jenis ini merupakan jenis yang paling sederhana dengan harga yang lebih murah dari jenis lainnya, kelemahan jenis ini mengakibatkan panel hanya yang mampu mengikuti satu orientasi saja dengan sifat tetap dan tanpa pergerakan seperti terlihat pada gambar 3.

CITIZEN: Jurnal Ilmiah Multidisiplin Indonesia
Vol 2, No. 1, 2022
ISSN: 2807-5994
https://journal.das-institute.com/index.php/citizen-journal

**Gambar 3.** Struktur *Mounting*

Terdapat berbagai standar yang mengatur terkait fotovoltaik didalam standar SNI, namun ada satu standar yang membahas perhitungan orientasi dan sudut kemiringan fotofoltaik didalamnya yakni SNI 04-6394-2000 dimana dijelaskan pada poin 4.3.1 bahwa pada bagian belahan bumi utara, rangkaian modul harus menghadap selatan kompas (*true south*) atau $180^0$ dan pada bagian belahan bumi selatan, rangkaian modul harus menghadap utara kompas (*true north*) atau $0^0$. Sedangkan pada poin 4.3.2 dijelaskan bahwa untuk lokasi dengan lintang antara $15^0$ S dan $15^0$ Utara, rangkaian modul PV harus diatur dengan sudut kemiringan pada $15^0$, agar optimasi jaturnya radiasi surya terpenuhi dan untuk memastikan air hujan dapat mengalir.




**Gambar 4.** Diagram Blok PLTS *Rooftop* di PVSyst

Kapasitas PLTS *rooftop* yang disimulasikan untuk masing-masing gedung sebesar 100 kWp dengan skema diagram mengikuti desain dari PVSyst seperti pada gambar 4 dengan asumsi-asumsi yang hampir sama antara masing-masing gedung seperti yang terlihat pada tabel 2.

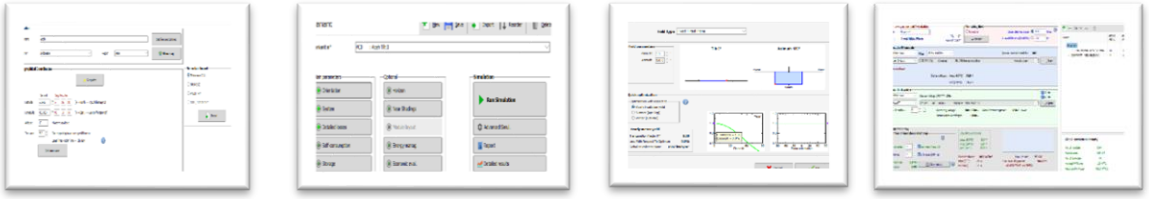
Tabel 2 Parameter Inputan Simulasi Per Unit

| No | Asumsi | Keterangan |
|---|---|---|
| 1 | Kapasitas | 100 kWp |
| 2 | Modul PV | Len 330 Wp *Monocrystalline*<br>19 String dari 16 Modul Seri = 304 Modul |
| 3 | Inverter | 4 Inverter Growatt MID25KTL3-X |
| 4 | Koordinat | Tagging berdasarkan Google Map (Tabel 1) |
| 5 | Struktur Mounting | *Fixed tilt* |
| 6 | Elevasi | Referensi Global Surya Atlas |
| 7 | Orientasi | Referensi Global Surya Atlas |
| 8 | Tipe Atap | Dak Datar |
| 9 | Bayangan | Tanpa Bayangan |
| 10 | Simulator | PVSyst 7.0 |

CITIZEN: Jurnal Ilmiah Multidisiplin Indonesia
Vol 2, No. 1, 2022
ISSN: 2807-5994
https://journal.das-institute.com/index.php/citizen-journal

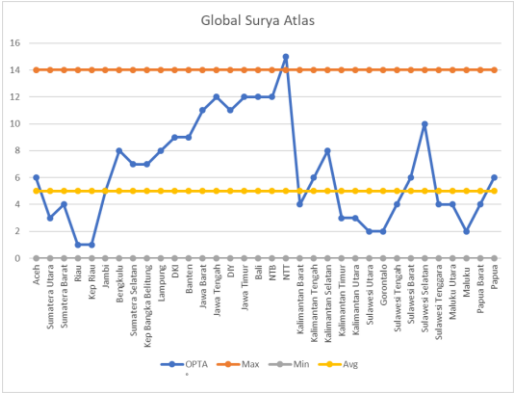
## 2.2. Teknik Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan secara simulasi dengan menggunakan aplikasi PVSyst. Langkah Pertama adalah dengan memasukan titik koordinat dari tabel 1 dan *altitude* diambil dari *terrain elevation* GSA pada *Geographical Site Parameters* di PVSyst setelah selesai kemudian dilanjutkan dengan mengimpor data meteronorm 7.3. setelah selesai pada *Geographical Site Parameters* kemudian langkah kedua dilanjutkan dengan pembuatan proyek, dimana didalam PVSyst sendiri memiliki 5 parameter utama diantaranya: *orientation, system, detailed losses, self consumption dan storage*. Dari 5 parameter tersebut simulasi ini hanya menggunakan 2 parameter saja yakni *orientation* dan *system*. Pada parameter *orientation* ditetapkan nilai *tilt* dan *orientation* dari PV dimana nilai orientasi disesuaikan dengan pengaturan SNI untuk lokasi yang berada dibelahan bumi bagian selatan orientasinya mengarah kearah utara begitu juga sebaliknya sedangkan untuk *tilt* ditetapkan nilai mulai dari $0^0$ sampai dengan $16^0$ dan ditambah $90^0$ untuk melihat nilai energi yang dihasilkan pada keadaan *tilt* maksimal. Pengaturan proyek ini dapat dilihat pada gambar 5.



**Gambar 5.** Pengaturan Parameter di PVSyst

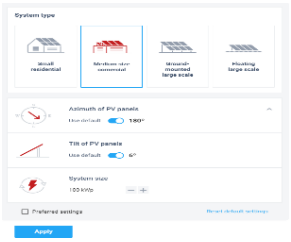
Dalam aplikasi berbasis web GSA informasi potensi surya yang didapatkan berdasarkan data solargis dimana informasinya tidak hanya potensi surya saja melainkan informasi lain seperti *tilt* Optimum yang disarankan pada suatu lokasi atau dalam aplikasi ini istilah tersebut dinamakan OPTA. Nilai OPTA tersebut akan bervariasi pada masing-masing titik koordinat atau *site* seperti yang dijelaskan pada gambar 6 dimana garis biru menginterpretasikan *tilt* optimum pada masing-masing lokasi dan garis kuning jingga, kuning, serta abu abu merupakan nilai perkiraan *tilt* yang terdapat di Indonesia dengan nilai minimal $0^o$ dan maksimal $14^0$ serta $5^0$ untuk niali rata-ratanya, jika kita lihat *tilt optimum* yang besar dimiliki oleh Ibukota Provinsi NTT sebesar $15^0$.




**Gambar 6**. Perbandingan OPTA antara *Region* dan *Site*

Dengan memilih tipe konfigurasi sistem *medium size comercial* maka peneliti dapat memilih besaran kapasitas terpasang sebesar 100 kWp yang terdapat pada pemodelan sistem di aplikasi GSA seperti yang ditampilkan pada gambar 7.

CITIZEN: Jurnal Ilmiah Multidisiplin Indonesia
Vol 2, No. 1, 2022
ISSN: 2807-5994
https://journal.das-institute.com/index.php/citizen-journal



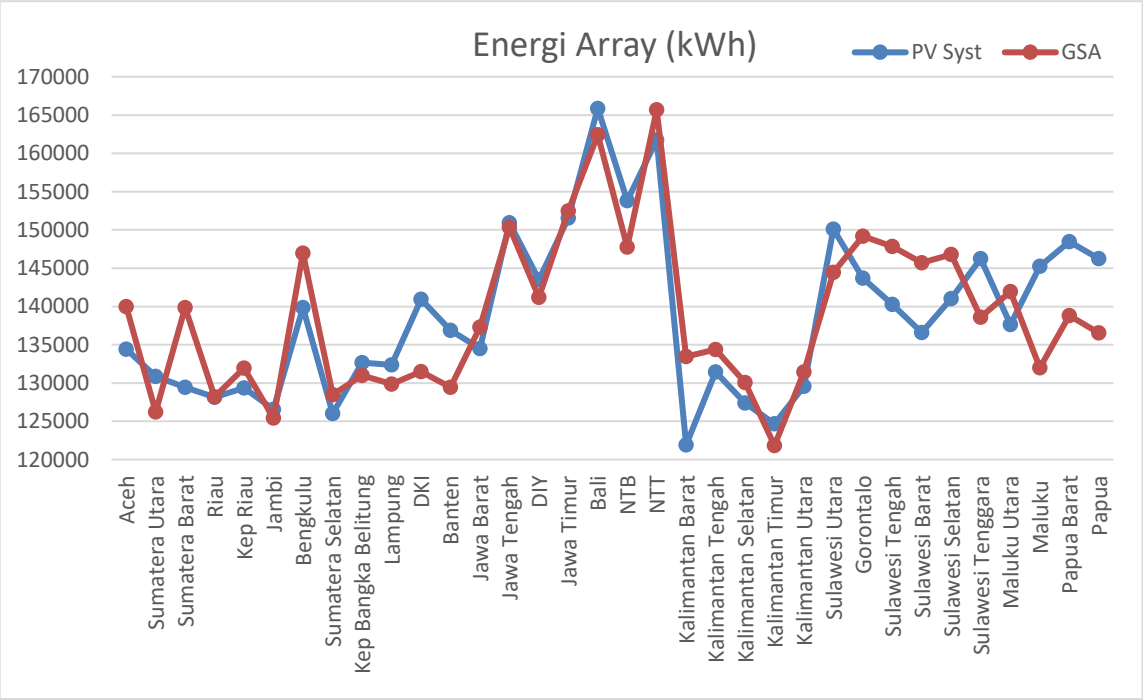
**Gambar 7.** Pemodelan PLTS *Rooftop* Pada Aplikasi GSA

## 3. Hasil dan Pembahasan

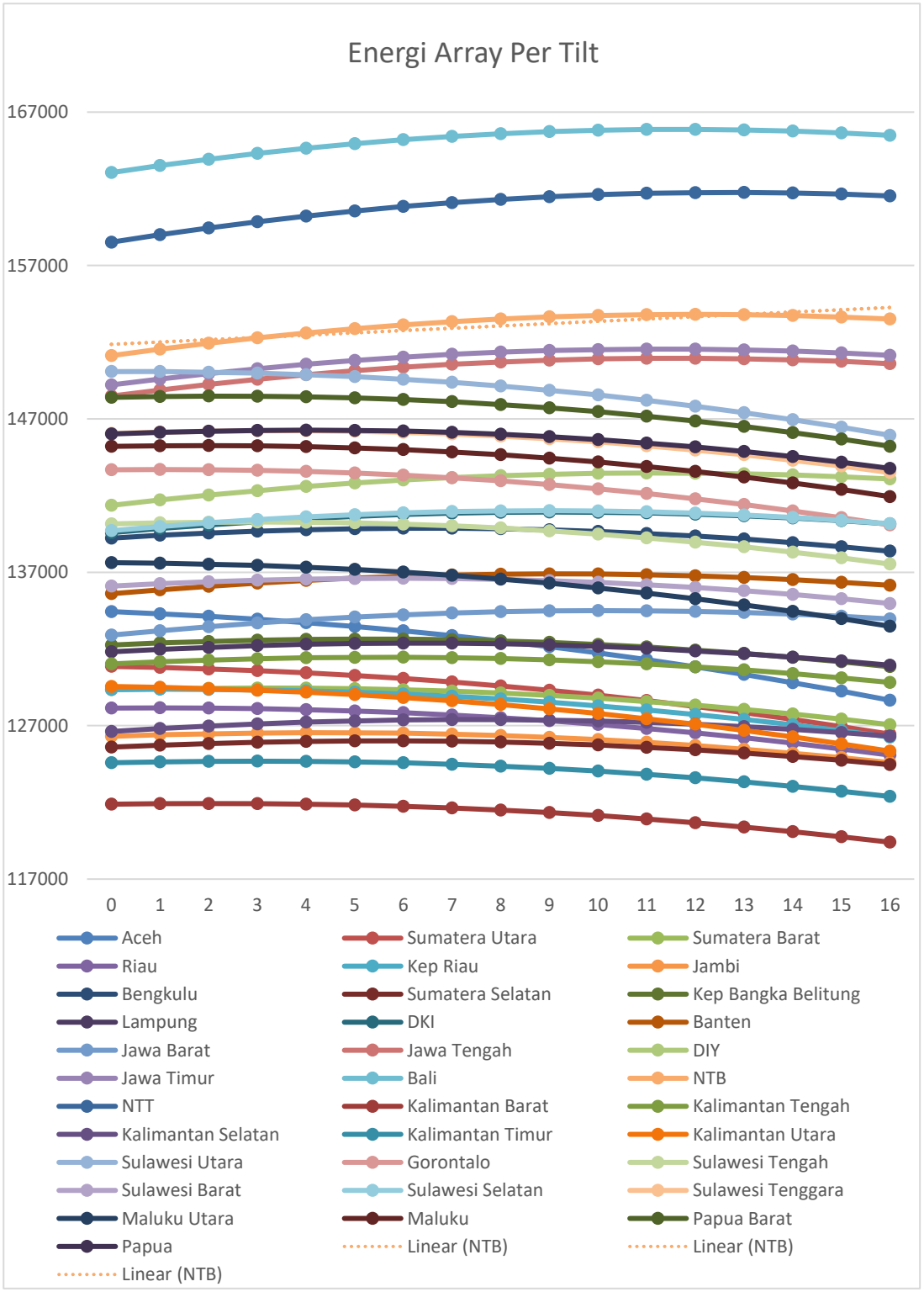
Penelitian ini memfokuskan pada 2 analisis dari hasil yang didapatkan diantaranya yang pertama menganalisis energi *array* yang terbesar dari 34 lokasi yang disimulasikan dengan menggunakan asumsi kapasitas terpasang dan komponen PLTS *rooftop* yang sama, sedangkan yang kedua menganalisis berapa besar energi *array* yang dihasilkan dari simulasi dengan merubah atau memvariasikan *tilt* modul fotovoltaik pada parameter *orentation* di PVSyst seperti yang dijelaskan pada bab 2.

Jika kita melihat nilai energi yang dihasilkan oleh *array* dengan memasukkan nilai kapasitas terpasang PLTS *rofftop* pada pemodelan yang terdapat di aplikasi GSA maka didapatkan potensi surya yang terbesar terdapat di provinsi NTT dengan nilai sebesar 16.5673 kWh dan yang terendah dimiliki provinsi Kalimantan Timur dengan nilai potensi energi *array* sebesar 12.1843 kWh.

Sedangkan pada simulasi dengan menggunakan PV Syst didapatkan nilai potensi surya terbesar jatuh kepada provinsi Bali dengan nilai potensi energi *array* sebesar 16.5872 kWh sedangkan nilai terkecil jatuh kepada provinsi Kalimantan Barat dengan nilai potensi energi *array* sebesar 12.1924 kWh. Kedua perbandingan ini dijelaskan pada gambar 8 dan gambar 9.

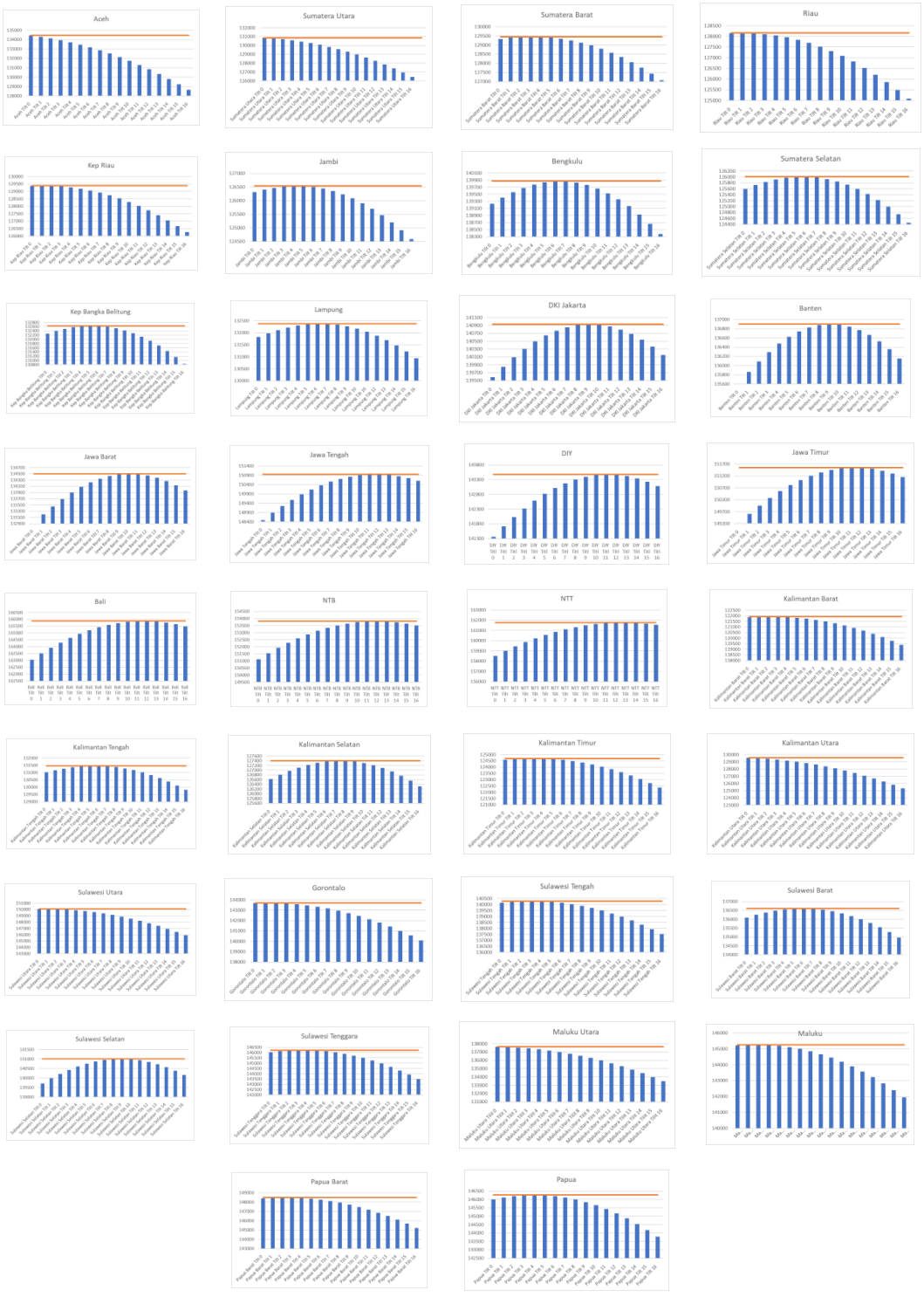



**Gambar 8.** Perbandingan Energi *Array* Pada PvSsyt dan GSA




**Gambar 9.** Perbandingan Energi *Array* per 34 Provinsi

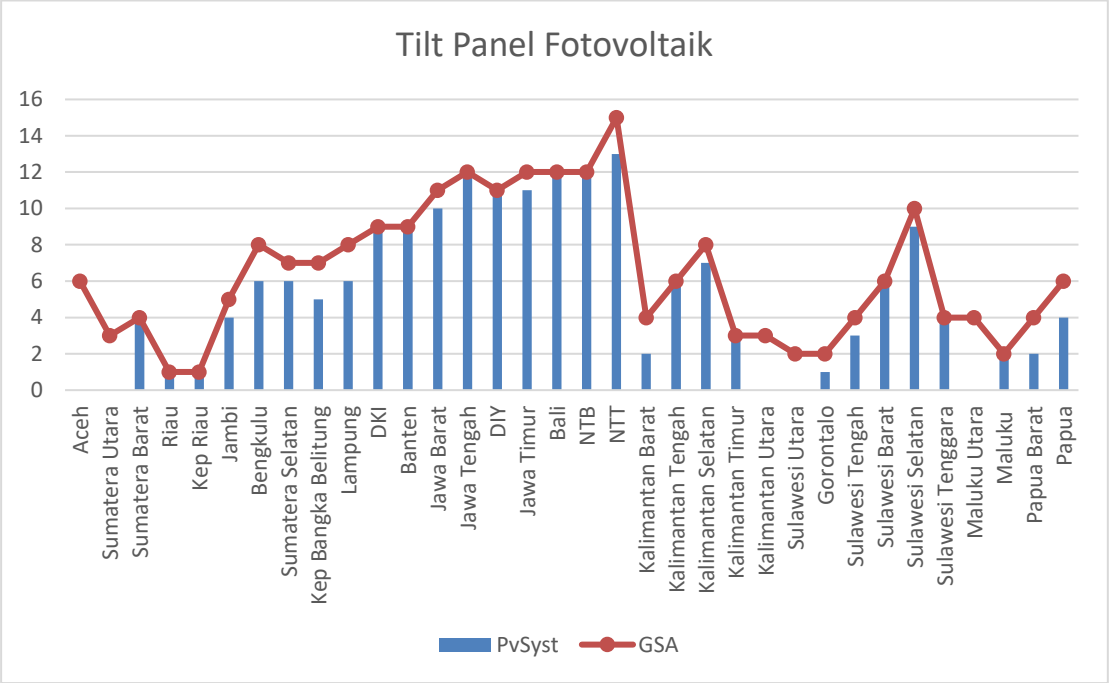
CITIZEN: Jurnal Ilmiah Multidisiplin Indonesia
Vol 2, No. 1, 2022
ISSN: 2807-5994
https://journal.das-institute.com/index.php/citizen-journal




**Gambar 10.** Perubahan Energi *array* terhadap *Tilt* Per 34 Provinsi

CITIZEN: Jurnal Ilmiah Multidisiplin Indonesia
Vol 2, No. 1, 2022
ISSN: 2807-5994
https://journal.das-institute.com/index.php/citizen-journal

Dari Gambar 10 dapat dijelaskan bahwa pola grafik energi *array* yang dihasilkan pada masing-masing lokasi tidak seragam namun terdapat kesamaan pola dimana setelah titik puncak energi *array*, nilai energi *array*nya mengalami penurunan. Nilai puncak energi *array* ini merupakan nilai yang didapatkan dari hasil penetapan *tilt* yang optimum dari masing-masing lokasi. Beberapa provinsi seperti Aceh, Sumatera utara, Kalimantan utara, Sulawesi utara dan maluku utara memiliki nilai optimum *tilt* di $0^0$.




**Gambar 11.** Perbandingan *Tilt* Optimum Hasil Simulasi PVSyst dengan Data GSA

Didalam penentuan *tilt* disarankan lebih dari $0^0$ hal ini dikarenakan sudut kemiringan tersebut atau *tilt* yang lebih besar sangat dibutuhkan untuk proses pembersihan panel fotofoltaik baik dari debu genangan air maupun kotoran-kotoran lain yang sudah barang tentu mempengaruhi kualitas penyerapan sinar matahari pada panel fotofoltaik sesuai dengan SNI 04-6394-2000 yang menjelaskan bahwa untuk lokasi dengan lintang antara $15^0$ S dan $15^0$ Utara, rangkaian modul PV harus diatur dengan sudut kemiringan pada $15^0$, agar optimasi jaturnya radiasi surya terpenuhi dan untuk memastikan air hujan dapat mengalir namun dari hasil simulasi didapatkan dari penelitian ini nilai energi *array* akan terus berkurang mulai dari *tilt* $15^0$ sampai dengan $90^0$ dan dapat dijelaskan nilai *tilt* optimum dari 34 lokasi tidak ada yang melebihi dari $13^0$ dan masih berada di bawah nilai *tilt* optimum GSA, seperti yang terlihat pada gambar 11.

## 4. Conclusions

Dari hasil penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa perubahan *tilt* sangat mempengaruhi perubahan energi *array* yang dihasilkan, perubahan satu derajat mulai dari $0^0$ sampai dengan $16^0$ dapat mengakibatkan perubahan penambahan maksimal hingga 578 kWh dan pengurangan maksimal hingga 483 kWh. Simulasi PLTS *rooftop* 100 kWp ini memiliki nilai energi *array* yang berbeda beda setiap lokasi, dengan nilai potensi energi *array* terbesar terletak pada provinsi Bali sebesar 16.5872 kWh dan terkecil pada Kalimantan Barat dengan nilai potensi energi *array* sebesar 12.1924 kWh., sedangkan jika dibandingkan dengan pemodelan yang terdapat pada aplikasi GSA nilai energi *array* yang terbesar terletak pada NTT dengan nilai 16.5673 kWh dan terkecil pada Kalimantan Timur dengan nilai 12.1843 kWh. Hal ini dikarenakan salah satu pengaruhnya data potensi surya dan *tilt* pv yang digunakan berbeda antara kedua aplikasi tersebut.

Berbagai referensi menyatakan nilai optimum *tilt* di Indonesia, namun dalam simulasi ini didapatkan bahwa nilai optimum di Indonesia dari 34 lokasi yang dijadikan lokasi simulasi didapatkan range nilai $0^0$-$13^0$ dan masih masuk range *tilt* di Indonesia menurut aplikasi GSA yakni sebesar $0^0$-$14^0$. Penelitian ini dilakukan dengan asumsi yang sederhana tanpa memperhitungkan beberapa aspek penting diantaranya bayangan yang ditimbulkan, akurasi data potensi energi surya dengan kondisi di lapangan, ketersediaan luasan lahan pada masing-masing gedung dimana penambahan parameter ini dapat dijadikan obyek penelitian selanjutnya.

**Bibliografi**

Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional

Keputusan Menteri ESDM Nomor: 188.K/HK.02/MEM.L/2021 Tentang Pengesahan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) Tahun 2021 sampai dengan 2030

Rencana Strategis Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi 2020-2024. Ditjen EBTKE. Jakarta. 2020

Laporan Kinerja Ditjen EBTKE Tahun 2020. Ditjen EBTKE. Jakarta. 2020

Eriko Arvin Karuniawan. (2021). *Analis Perangkat Lunak PVSYST, PVSOL dan HelioScope dalam Simulasi Fixed Tilt Photovoltaic*. Jurnal Teknologi Elektro Vol. 12. No.3 p-ISSN: 2086-9479 e-ISSN: 2621-8534, DOI: 10.22441/jte.2021.v12i3.001.

Aditya Rachamn. (2015). *Optimalisasi Teknologi Energi Surya Berbasis Penyesuaian Posisi Panel Bulanan di Sulawesi Tenggara*. Jurnal Teknologi Universitas Muhamadiyah Jakarta. Volume 8 No.1 ISSN:2085-1669 e-ISSN : 2460-0288.

Rudi Darrussalam, A.Ranjani, Kusnadi, dan Tinton D.A. (2016). *Pengaturan Arah Azimuth Sudut Tilt Panel Potovoltaic Untuk Optimalisasi Radiasi Matahari, Studi Kasus : Bandung-Jawa Barat*. Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF 2016 Volume V. p-ISSN: 2339-0654 e-ISSN: 2476-9398, DOI:doi.org/10.21009/0305020606.

Syukarni Ali, T.M. Azis Pandria. (2019) Penentuan Sudut Kemiringan Optimal Panel Surya Untuk Wilayah Meulaboh. Jurnal Mekanova Vol 5. No.1, April 2019. ISSN: 2502-0498.

Dr. Norbert Geuder. *Solar Resource Measurements And Satellite Data*. 4th Sfera Summer School 2013 Horenber castle, Germany. 2013

Carlos D. Rodríguez-Gallegos, dkk. (2020). *Global Techno-Economic Performance of Bifacial and Tracking Photovoltaic Systems*, Joule, Volume 4, Issue 7, 2020, Pages 1514-1541, ISSN 2542-4351, https://doi.org/10.1016/j.joule.2020.05.005.

https://globalsolaratlas.info/map diakses apada tanggal 14 Desember 2021 Pukul 12.47 WIB

https://ichi.pro/id/mengekstraksi-potensi-tenaga-surya-menggunakan-global-solar-atlas-196057459397182, diakses pada tanggal 14 Desember 2021 Pukul 12.47 WIB.

https://documents1.worldbank.org/curated/en/529431592893043403/pdf/Global-Solar-Atlas-2-0-Technical-Report.pdf

https://www.pvsyst.com/ diakses pada tanggal 2 Desember 2021 Pukul 12.00 WIB.