

Kajian Teoritis Penentuan Sudut Kemiringan Optimal Kolektor Surya Studi Kasus: Mataram - Nusa Tenggara Barat

Theoretical Study of The Determination of Optimal Tilt Angle of a Solar Collector

Case Study: Mataram - Nusa Tenggara Barat

Nanang Apriandi^{1*}, Yusuf Dewantoro Herlambang¹, Totok Prasetyo¹, Margana¹, Komang Metty Trisna Negara², Rani Raharjanti³

¹ Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang, Semarang, Indonesia.

² Program Studi Teknik Mesin, Universitas Samawa, Unter Iwes-Sumbawa, Indonesia.

³ Komputerisasi Akuntansi, Politeknik Negeri Semarang, Semarang, Indonesia.

Email*): nanang.apriandi@polines.ac.id

Received:
22 July 2022

Revised:
10 August 2023

Accepted:
10 September 2023

Published:
27 September 2023

DOI:
10.29303/jrpb.v11i2.416

ISSN 2301-8119
e-ISSN 2443-1354

Tersedia online di
<http://jrpb.unram.ac.id/>

Abstract: The performance of solar energy based apparatus in various locations is inseparable from the determination of the orientation direction and tilt angle. This study aims to determine an optimal tilt angle in Mataram city area. Photovoltaic Geographical Information System from European Commission (online) was used as the database to obtain global radiation and monthly average diffusion radiation on the horizontal surface with locus coordinates at Latitude/Longitude: -8.583°/116,107° South Latitude. That data was then processed mathematically using Microsoft Excel software. As the result, for the application of solar-based apparatus with a fixed structural configuration throughout the year, the optimal tilt angle (β) was 15° with the orientation facing north, and it was estimated that total solar radiation received throughout the year on average was 115,195 MJ/m².

Keywords: Mataram; optimal; solar collector; tilt angle

Abstrak: Kinerja dari perangkat berbasis energi surya di wilayah yang berbeda tidak terlepas dari penentuan orientasi arah dan sudut kemiringan/tilt (β). Penelitian ini bertujuan untuk menentukan sudut tilt optimal di wilayah kota Mataram. Photovoltaic Geographical Information System dari European Commission (online) dijadikan basis data radiasi global dan radiasi difusi rata-rata perbulan untuk bidang horizontal dengan koordinat lokus pada Latitude/Longitude -8.583°/116.107° Lintang Selatan. Data tersebut kemudian diolah secara matematis dengan menggunakan bantuan software Microsoft Excel. Hasilnya, untuk pengaplikasian pada perangkat berbasis surya dengan konfigurasi struktur tetap sepanjang tahun, sudut β optimal adalah 15° dengan orientasi arah bidang menghadap ke utara, dengan estimasi radiasi matahari total yang diterima sepanjang tahun rata-rata sebesar 115,195 MJ/m².

Kata kunci: kolektor surya; Mataram; optimal; sudut tilt

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Penggunaan energi matahari sebagai sumber energi, baik dalam bidang teknologi pascapanen (alat pengering tenaga surya) maupun pembangkit listrik (sistem *photovoltaic*) berkembang semakin masif seiring dengan semakin berkurangnya cadangan sumber energi berbasis fosil (Aji et al., 2022). Di sisi lain, fakta bahwa peningkatan jumlah penduduk berkolerasi positif dengan peningkatan kebutuhan energi, mendorong pencarian sumber energi alternatif untuk pemenuhan akan kebutuhan energi tersebut.

Nusa Tenggara Barat (NTB) sebagai salah satu provinsi di Indonesia terdiri dari dua pulau besar yaitu Lombok dan Sumbawa. NTB diketahui memiliki garis pantai yang panjang (2.333 km) (Qur'aini et al., 2019), sehingga dengan posisi ini sinar matahari tersedia sepanjang tahun, dengan rata-rata radiasi sinar matahari per hari sepanjang tahun sebesar 5,47 kWh/m² (Zurhalki, 2020). Hal ini berarti bahwa, NTB mempunyai potensi untuk mengaplikasikan dan mengembangkan perangkat teknologi pemanfaatan sinar matahari (*solar collector*), baik untuk keperluan pertanian ataupun keperluan elektrifikasi.

Studi terkait pemanfaatan energi surya di NTB sudah banyak di laporkan. Secara umum dilaporkan bahwa pemanfaatan energi surya digunakan untuk teknologi pengeringan hasil pertanian dan desalinasi air laut. Dari laporan tersebut diketahui bahwa kinerja sistem teknologi sel surya yang dihasilkan berbeda-beda (Sabani et al., 2021; Zamharir et al., 2016; Mukaddim Aldi et al., 2013; Tira et al., 2020). Ditemukan juga fakta bahwa desain dan pemasangan kolektor surya sangat bergantung pada orientasi arah dan sudut β . Orientasi arah pemasangan (menghadap selatan/utara) kolektor surya dan penyesuaian arah normal datangnya sinar matahari pada peralatan, β , penting guna mendapatkan intensitas sinar matahari yang diterima oleh peralatan lebih optimal.

Banyak laporan yang merekomendasikan penggunaan sudut β yang berbeda pada beberapa negara seperti Senegal (Adama et al., 2021); Jepang (Masrur et al., 2020); Pakistan (Ullah et al., 2019); Regional Mediterania (Darhmaoui & Lahjouji, 2013); China (Tang & Wu, 2004) demikian juga waktu yang dinyatakan dalam tahunan, bulanan, musim (Jain & Lalwani, 2017); musim hujan, musim panas (Kurnianto et al., 2017) yang berbeda untuk meningkatkan kinerja dari kolektor surya.

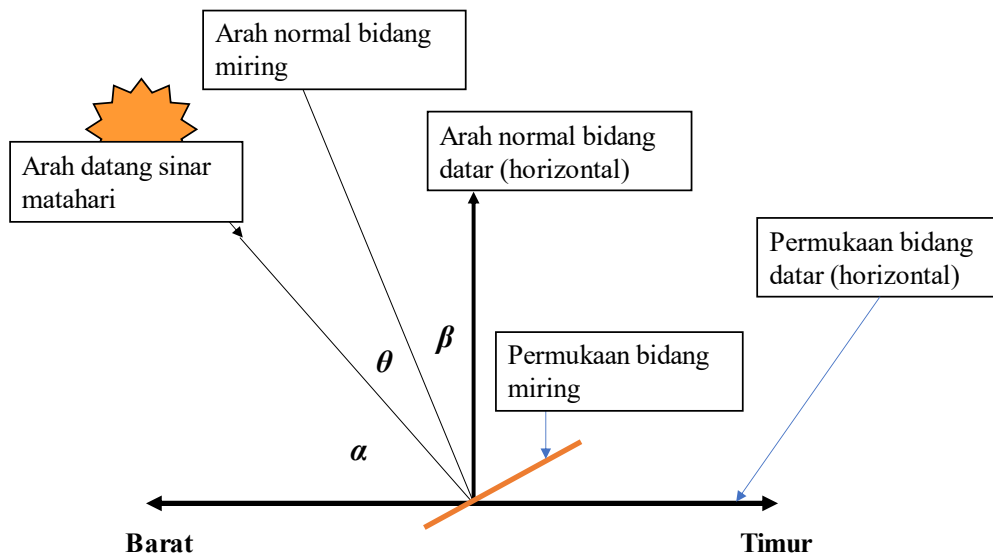
Di Indonesia, optimalisasi sudut β di beberapa wilayah sudah diinvestigasi oleh beberapa peneliti dengan rekomendasi sudut β yang berbeda. Darussalam et al. (2016) merekomendasikan besarnya β di daerah Bandung, Jawa Barat, pada bulan Oktober - Februari antara 5 - 10° dengan panel menghadap selatan, dan pada bulan Maret - September antara 5 - 25° dengan panel menghadap utara. Sedangkan untuk solar kolektor tipe tetap, sudut β yang direkomendasikan adalah 10° mengarah ke utara. Sutanto et al. (2021) merekomendasikan sudut kemiringan optimum di daerah Semarang, Jawa Tengah, berada pada kisaran 0 - 30,14° dengan orientasi menghadap utara, dan 0 - 16° dengan orientasi menghadap Selatan. Sementara untuk sudut β konstan direkomendasikan sebesar 7° menghadap utara.

Handoyo et al. (2013) dalam investigasinya di wilayah Surabaya, Jawa Timur, menghasilkan rekomendasi sudut β yang optimal antara 0 - 40° menghadap utara (12 Maret - 30 September) dan 0 - 30° untuk periode 1 Oktober - 11 Maret dengan orientasi menghadap ke selatan. Sementara itu, Kurnianto et al. (2017) merekomendasikan sudut β sebesar 0° menghadap utara pada musim hujan dan 1,86° (September) - 21,98° (Juni) pada musim panas, serta 1,69° untuk sudut tetap sepanjang tahun di daerah Pontianak.

Berdasarkan beberapa investigasi terkait dengan penentuan sudut β optimal di atas, dapat disimpulkan bahwa rekomendasi penggunaan sudut β akan berbeda tergantung dari koordinat suatu wilayah. Sejauh ini, belum ada laporan terkait dengan penentuan sudut β optimal di daerah Mataram, NTB. Oleh karena itu, investigasi terkait hal tersebut menarik untuk dilakukan guna mendapatkan nilai sudut β optimal sepanjang tahun, yang nantinya menghasilkan rekomendasi mengenai sudut β dan orientasi arah dalam desain dan pemasangan kolektor surya di wilayah Mataram, NTB.

Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan investigasi guna mendapatkan sudut β yang optimal di wilayah Mataram, NTB, sebagai upaya untuk meningkatkan kinerja dari sistem peralatan kolektor surya.



Gambar 1. Hubungan geometris antar berbagai sudut

METODE PENELITIAN

Metode

Investigasi dilakukan di Kota Mataram, Nusa Tenggara Barat, dengan mengambil lokasi di Universitas Mataram (*Latitude/Longitude*: $-8.583^{\circ}/116.107^{\circ}$ Lintang Selatan/LS). Data radiasi global dan radiasi difusi matahari pada permukaan horizontal didapatkan dari *European Commission: Photovoltaic Geographical Information System*, bersifat *open akses*, dan dapat diakses melalui https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#DR, dengan menginputkan koordinat *Latitude/Longitude* lokasi target. Data harian radiasi global (H_g), radiasi difusi (H_d), dan radiasi langsung (H_b) diperoleh dan disimpan dalam bentuk .csv. Data tersebut diolah secara matematis dengan menggunakan bantuan *software Microsoft Excel* untuk mendapatkan data radiasi bulanan yang nantinya digunakan untuk mengestimasi nilai sudut β optimum yang menghasilkan intensitas radiasi matahari yang paling optimal setiap bulan sepanjang tahun.

Prosedur Matematis untuk Menghitung Sudut *Tilt* Optimum

Dasar dari kalkulasi sudut β optimum adalah terletak pada nilai radiasi matahari yang jatuh pada permukaan bidang miring. Nilai rata-rata dari total radiasi matahari pada bidang miring (H_T) berhubungan erat dengan radiasi langsung (H_B), radiasi difusi (H_D) dan radiasi pantul (H_R) pada bidang miring mengikuti persamaan 1 (Duffie & Beckman, 2013).

$$H_T = H_B + H_D + H_R \dots\dots\dots (1)$$

A. Radiasi Langsung

Radiasi langsung pada permukaan bidang miring dapat diestimasi menggunakan Persamaan 2 dan 3 (Duffie & Beckman, 2013):

$$H_B = H_b R_b \dots\dots\dots (2)$$

$$H_b = H_g - H_d \dots\dots\dots (3)$$

dimana, H_B adalah total radiasi langsung untuk bidang miring (MJ/m^2), H_b adalah radiasi langsung untuk permukaan horizontal (W/m^2), H_g adalah radiasi global pada permukaan horizontal (W/m^2), H_d adalah radiasi difusi untuk permukaan horizontal (W/m^2). Sementara itu, R_b adalah rasio radiasi langsung pada bidang miring terhadap bidang horizontal, yang nilainya dapat dihitung berdasarkan pada persamaan yang telah diintegrasikan antara matahari terbit hingga matahari terbenam sebagai berikut (Xianping, 2012):

$$R_b = \frac{\cos(\varphi-\beta)\cos\delta\sin\omega_{st}+(\pi/180)\omega_{st}\sin(\varphi-\beta)\sin\delta}{\cos\varphi\cos\delta\sin\omega_s+(\pi/180)\omega_s\sin\varphi\sin\delta} \dots (4)$$

$$\omega_s = \arccos(-\tan\delta\tan\varphi) \dots\dots\dots (5)$$

$$\omega_{st} = \min \left[\begin{array}{l} \arccos(-\tan\delta\tan\varphi) \\ \arccos(-\tan(\varphi-\beta)\tan\varphi) \end{array} \right] \dots (6)$$

dengan φ adalah *latitude* atau posisi garis lintang, β adalah sudut *tilt* ($^\circ$), δ adalah sudut deklansi ($^\circ$), ω_s adalah sudut jam untuk permukaan horizontal ($^\circ$), dan ω_{st} adalah sudut jam untuk permukaan miring. Nilai sudut deklansi (δ) untuk masing-masing hari pada setiap bulan (n) ditunjukkan seperti pada Tabel 1.

B. Radiasi Difusi

Radiasi difusi untuk bidang miring dihitung menggunakan pendekatan *Ray's model*, Persamaan 7-9 (Xianping, 2012), dimana persamaan ini merupakan model anisentropik yang mempunyai ciri khas dan menghasilkan nilai yang lebih dekat dengan kenyataan serta penggunaannya dapat diadopsi secara luas:

$$H_D = H_d R_d \dots\dots\dots (7)$$

$$H_D = H_d \left[\frac{H_b}{H_0} R_b + 0,51 \left(1 - \frac{H_b}{H_0} \right) (1 + \cos\beta) \right] \dots (8)$$

$$H_0 = \frac{24 \times 3600 G_{sc}}{\pi} \left[1 + 0,033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] \times \left[\cos\varphi\cos\delta\sin\omega_s + \frac{2\pi\omega_s}{360} \sin\varphi\sin\delta \right] \dots\dots\dots (9)$$

dimana, H_D adalah total radiasi difusi pada bidang miring (MJ/m^2), R_d adalah rasio flux radiasi pada bidang miring terhadap radiasi difusi pada bidang horizontal, H_0 adalah radiasi *extraterrestrial* harian pada permukaan horizontal, dan G_{sc} adalah *solar constant* dengan nilai sebesar $1353 W/m^2$ (Xianping, 2012).

C. Radiasi Pantul

Radiasi pantul untuk bidang miring didekati dengan Persamaan 10 (Xianping, 2012):

$$H_R = \frac{1-\cos\beta}{2} (H_b + H_d) \rho \dots\dots\dots (10)$$

dimana, H_R adalah total radiasi pantul untuk bidang miring (MJ/m^2) dan ρ adalah reflektansi difusi dari tanah yang nilainya bisa diasumsikan 0,2 (Benghanem, 2011).

D. Total Radiasi

Untuk total radiasi harian pada permukaan bidang miring dengan sudut kemiringan β , dihitung menggunakan persamaan 11 (Xianping, 2012):

$$H_T = H_b R_b + H_d \left[\frac{H_b}{H_0} R_b + 0,5 \left(1 - \frac{H_b}{H_0} \right) (1 + \cos \beta) \right] + \frac{1 - \cos \beta}{2} (H_b + H_d) \rho \dots\dots\dots (11)$$

dimana, H_T adalah total radiasi harian pada bidang miring (MJ/m^2).

Tabel 1. Hari rata-rata yang direkomendasikan untuk bulan dan nilai n per-bulan (Duffie & Beckman, 2013)

Bulan	n untuk hari ke-i setiap bulan	Rata - rata hari setiap bulan		
		Tanggal	n	δ
Jan	i	17	17	-20,9
Feb	$31 + i$	16	47	-13,0
Maret	$59 + i$	16	75	-2,4
April	$90 + i$	15	105	9,4
Mei	$120 + i$	15	135	18,8
Juni	$151 + i$	11	162	23,1
Juli	$181 + i$	17	198	21,2
Agust	$212 + i$	16	228	13,5
Sept	$243 + i$	15	258	2,2
Okt	$273 + i$	15	288	-9,6
Nov	$304 + i$	14	318	-18,9
Des	$334 + i$	10	344	-23,0

*n=1 pada tanggal 1 Januari

HASIL DAN PEMBAHASAN

Radiasi Matahari Rata-rata Bulanan pada Permukaan Horizontal

Estimasi total radiasi matahari tahunan dapat diperoleh dengan menjumlahkan radiasi matahari rata-rata setiap bulan sepanjang tahun. Radiasi bulanan rata-rata tersebut berupa radiasi global, radiasi difusi, dan radiasi langsung pada bidang permukaan horizontal.

Tabel 2 memberikan gambaran terkait dengan besaran rata-rata radiasi matahari bulanan untuk permukaan horizontal di daerah Mataram, NTB. Pada sudut *Latitude/Longitude* -8.583/116.107 LS, didapatkan estimasi rata-rata radiasi matahari sepanjang tahun masing-masing untuk radiasi matahari global (H_g), difusi (H_d) dan radiasi langsung (H_b) pada permukaan horizontal adalah $40,57 \text{ MJ}/\text{m}^2$, $14,89 \text{ MJ}/\text{m}^2$, dan $25,69 \text{ MJ}/\text{m}^2$. Nilai rata-rata radiasi matahari bulanan tersebut cenderung lebih tinggi dari radiasi matahari rata-rata Indonesia menurut data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) yang berkisar $4,8 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{hari}$ (atau sekitar $17,28 \text{ MJ}/\text{m}^2$), yang berarti bahwa di wilayah Kota Mataram mempunyai potensi untuk menjadikan matahari sebagai salah satu sumber pengembangan energi alternatif (DESDM, 2005).

Tabel 2. Radiasi matahari rata-rata pada permukaan horizontal setiap bulan

Bulan	Radiasi Global, H_g (MJ/m^2)	Radiasi Difusi, H_d (MJ/m^2)	Radiasi Langsung, H_b (MJ/m^2)
Jan	38,62	17,51	21,11
Feb	40,07	16,6	23,47
Maret	39,93	15,99	23,94
April	39,51	14,15	25,36
Mei	37,86	12,21	25,65
Bulan	Radiasi Global, H_g	Radiasi Difusi, H_d	Radiasi Langsung, H_b

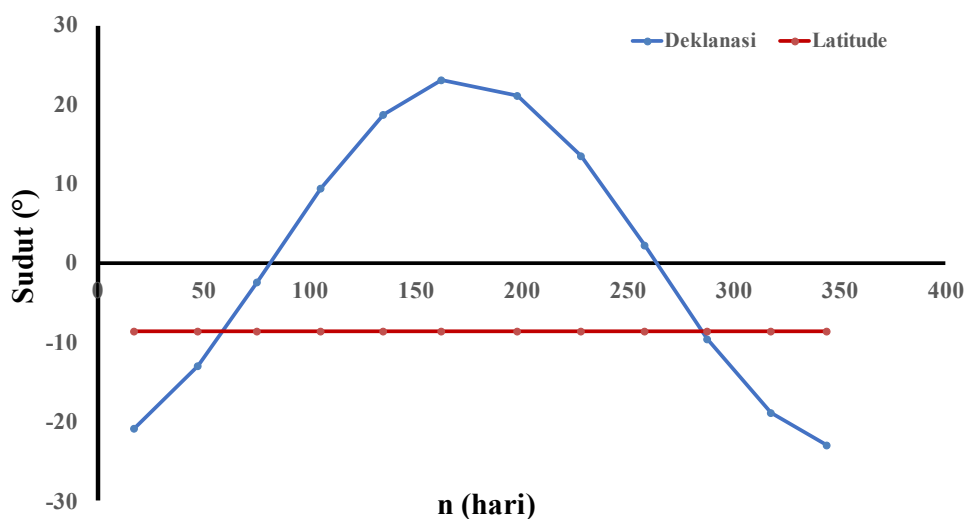
	(MJ/m ²)	(MJ/m ²)	(MJ/m ²)
Juni	37,62	11,35	26,27
Juli	38,77	11,99	26,78
Agust	42,57	13,45	29,12
Sept	45,65	14,82	30,83
Okt	45,67	16,12	29,55
Nov	43,86	16,7	27,16
Des	36,74	17,75	18,99

*diolah dari data *online* (European Commision, 2022)

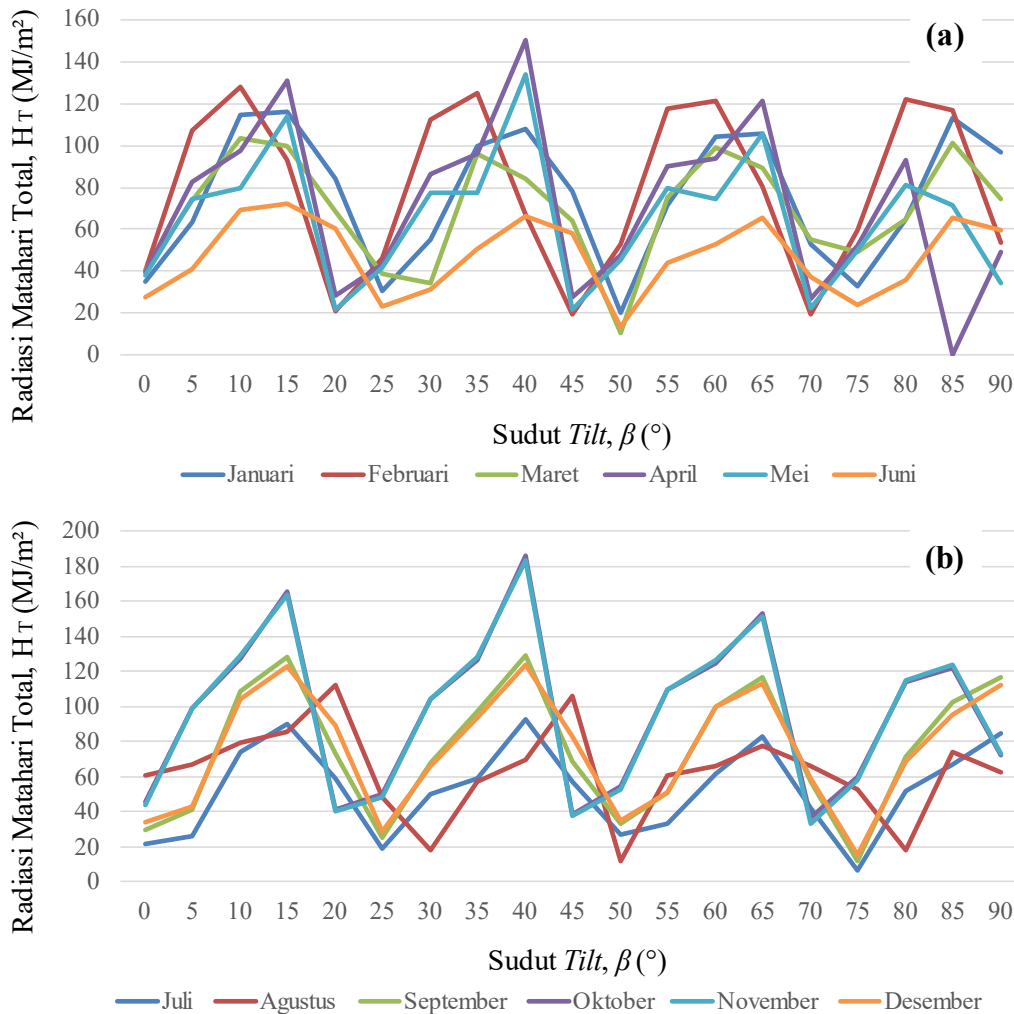
Sudut Deklanasi

Berdasarkan posisi dari Universitas Mataram sebagai titik pengujian yang berada pada garis Lintang Selatan, memiliki konsekuensi yaitu kecenderungan posisi matahari sepanjang tahun lebih banyak pada sisi utara.

Gambar 2 menunjukkan bahwa posisi matahari (berdasarkan sudut kedatangan, δ) lebih dominan di sisi utara lokus. Waktu edar matahari sepanjang tahun di sisi utara berkisar antara tanggal 1 Maret - 13 Oktober, sementara di sisi selatan antara 14 Oktober - 28 Februari. Artinya, hampir delapan bulan sepanjang tahun posisi matahari akan berada di sisi utara titik uji. Sudut kedatangan matahari harus diperhatikan didalam pengaplikasian peralatan yang mengandalkan sumber energi dari sinar matahari untuk mendapatkan hasil yang optimal. Dalam hal ini, untuk kasus perancangan dan/atau penempatan peralatan kolektor surya, di wilayah Kota Mataram dan sekitarnya disarankan lebih banyak menghadap ke sisi utara (Darussalam et al., 2016); (Sutanto et al., 2021).



Gambar 2. Sudut deklanasi (δ) pada n yang berbeda untuk setiap bulan sepanjang tahun dengan lokus (φ) di Universitas Mataram, NTB



Gambar 3. Radiasi matahari total bulanan untuk sudut *tilt* (β) yang berbeda di Universitas Mataram, NTB; (a). untuk bulan Januari – Juni, dan (b). untuk bulan Juli – Desember

Sudut *Tilt* Optimal Bulanan

Untuk mendapatkan besaran sudut β yang optimal di setiap bulan sepanjang tahun, dilakukan perhitungan secara matematis dengan memvariasikan nilai sudut β yang berbeda antara $0^\circ - 90^\circ$. Orientasi arah pengujian berdasarkan data sudut deklinasi (δ) matahari yaitu ke arah utara.

Sebagai bagian dari wilayah yang beriklim tropis, perubahan musim hujan dan musim kemarau di Kota Mataram tidak terlalu menampakkan perbedaan yang signifikan. Hal ini dikarenakan, meskipun pada kondisi musim penghujan, sinar matahari langsung juga selalu ada sepanjang tahun.

Perubahan orientasi sudut kemiringan, β , pada suatu permukaan terhadap arah datangnya sinar matahari, ditunjukkan pada Gambar 3. Dari hasil ini dapat diketahui bahwa nilai radiasi matahari total (H_T) pada bidang miring yang berfluktuasi. Untuk bulan yang berbeda diperoleh sudut β optimal yang berbeda pula. Hal ini sesuai dengan hasil investigasi yang dilakukan oleh beberapa peneliti lain, yaitu bahwa perbedaan titik uji (*Latitude/Longitude*), perbedaan sudut β , dan perbedaan waktu pengamatan akan menghasilkan radiasi total matahari optimal yang diterima pada suatu perangkat kolektor surya yang berbeda juga (Adama et al., 2021); (Masrur et al., 2020); (Ullah et al., 2019); (Darhmaoui & Lahjouji, 2013); (Tang & Wu, 2004); (Jain & Lalwani, 2017); (Kurnianto et al.,

2017). Dengan demikian, dalam pengaplikasian peralatan berbasis energi surya, pemilihan sudut β yang tepat pada daerah yang berbeda, mutlak diperlukan guna mendapatkan kinerja perangkat yang lebih optimal.

Perhitungan besaran sudut β optimal pada suatu wilayah dipengaruhi juga oleh besaran sudut *albedo* (ρ) atau sudut reflektansi difusi. Besaran sudut ρ digunakan untuk menentukan ratio antara radiasi matahari yang dipantulkan dari permukaan bukit dengan radiasi matahari yang datang ke permukaan bumi yang nilainya tergantung dari material penyusun permukaan bidang datar dan besarnya bervariasi antara 0-1 (Ni Wayan et al., 2015) Dengan asumsi bahwa besaran sudut *albedo* (ρ) atau sudut reflektansi difusi dari tanah sebesar 0,2 (Benghanem, 2011) dan dengan pendekatan *Ray's model* pada n yang direkomendasikan (Tabel 1), dengan menggunakan Persamaan 11, didapatkan bahwa besaran sudut β optimal untuk setiap bulan sepanjang tahun di wilayah Kota Mataram, NTB, berkisar antara $10^\circ - 40^\circ$ dengan orientasi arah secara umum menghadap ke utara (Tabel 3). Lebih detail, merujuk data pada Gambar 2 (dan digabungkan dengan data pada Tabel 3), untuk wilayah Kota Mataram, NTB, pada awal Maret hingga pertengahan bulan Oktober, sudut β optimal berada pada $10^\circ - 40^\circ$ dengan orientasi arah menghadap ke utara. Sementara itu, dari pertengahan bulan Oktober sampai akhir bulan Februari, sudut β optimal berada pada $10^\circ - 40^\circ$ dengan orientasi arah menghadap ke selatan.

Tabel 3. Sudut *tilt* optimal (β_{opt}) setiap bulan

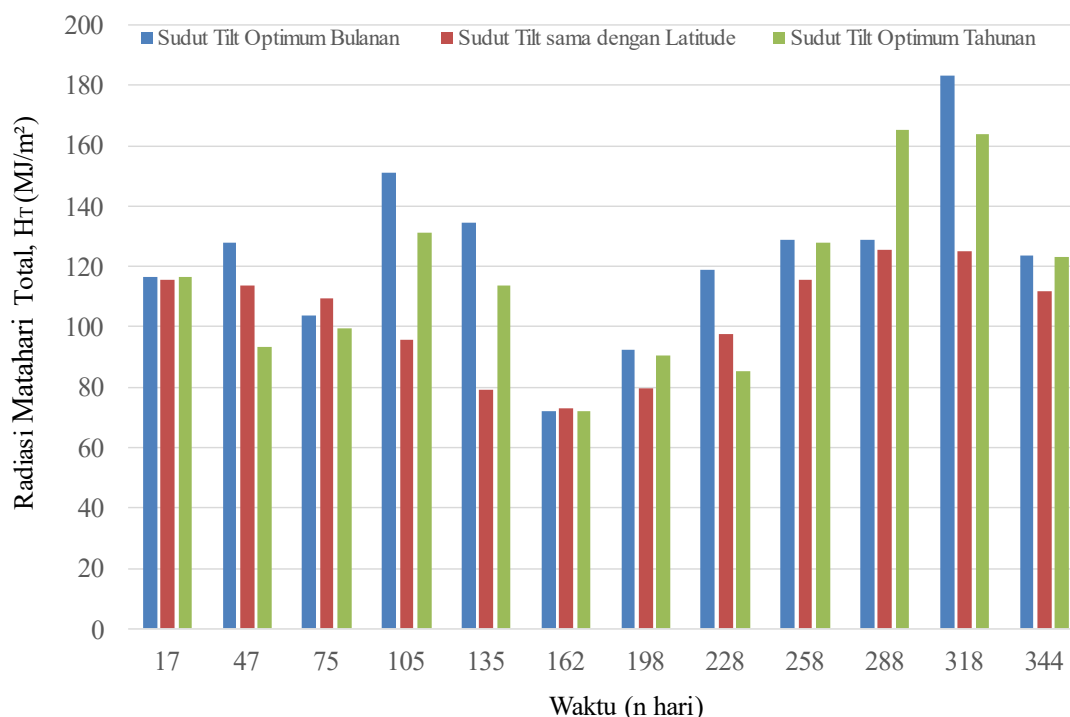
Bulan	Tanggal	n	β_{opt} ($^\circ$)	H_{Tmax} (MJ/m ²)
Jan	17	17	15	116,37
Feb	16	47	10	127,76
Mar	16	75	10	103,65
Apr	15	105	40	150,83
Mei	15	135	40	134,39
Juni	11	162	15	72,31
Juli	17	198	40	92,58
Agust	16	228	20	118,87
Sept	15	258	40	128,76
Okt	15	288	40	128,68
Nov	14	318	40	183,41
Des	10	344	40	123,71

Guna mendapatkan sudut β optimal yang bekerja pada peralatan energi surya yang memberikan kinerja paling baik, penggunaan *solar tracker* pada perangkat tersebut bisa direkomendasikan (Sutanto et al., 2021).

Sudut *Tilt* Optimal Tahunan

Sudut β optimal tahunan diaplikasikan pada pemasangan peralatan berbasis energi surya dengan konfigurasi struktur tetap sepanjang tahun. Besaran sudut β tahunan, yang diperoleh dari besaran sudut β rata-rata bulanan sepanjang tahun, untuk wilayah Kota Mataram adalah 15° dengan orientasi arah menghadap ke Utara. Hal ini berarti untuk perancangan dan/atau pemasangan kolektor surya, dengan konfigurasi struktur tetap sepanjang tahun di wilayah Kota Mataram, diestimasikan akan mendapatkan radiasi matahari total sepanjang tahun rata-rata sebesar 115,195 MJ/m².

Komparasi Total Radiasi Matahari Bulanan untuk Sudut *Tilt* yang Berbeda



Gambar 4. Komparasi total radiasi matahari bulanan untuk sudut *tilt* yang berbeda

Perbandingan nilai radiasi matahari total setiap bulan sepanjang tahun untuk sudut kemiringan yang berbeda, yaitu berdasarkan sudut β optimal bulanan, sudut β optimal tahunan, dan juga sudut *Latitude* (φ) dimaksudkan guna memperoleh pendekatan sudut β yang dapat diaplikasikan secara sederhana.

Gambar 4 memperlihatkan trend radiasi matahari yang dihasilkan dari masing-masing konfigurasi sudut β . Dapat diketahui bahwa pada bulan Januari, Maret, Juni, Juli, September, dan Desember tidak terdapat perbedaan yang signifikan terkait nilai radiasi matahari total yang diterima, yaitu rata-rata untuk β_{bulanan} , β_{tahunan} , dan $\beta = \varphi$ masing-masing sebesar 106,23 MJ/m², 104,96 MJ/m², dan 100,81 MJ/m².

Gambar 4 juga menggambarkan bahwa sudut β tahunan dapat digunakan sebagai acuan pada perancangan dan/atau pemasangan peralatan kolektor surya dengan konfigurasi struktur tetap sepanjang tahun tanpa khawatir akan kehilangan energi radiasi matahari yang signifikan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Investigasi terhadap upaya optimalisasi sudut β kolektor surya di wilayah Kota Mataram, NTB sudah dilakukan. Pada bulan Maret hingga pertengahan bulan Oktober, sudut β optimal berada pada kisaran 10° - 40° dengan orientasi arah menghadap ke utara. Sementara itu, dari pertengahan bulan Oktober sampai akhir bulan Februari, sudut β optimal berada pada kisaran 10° - 40° dengan orientasi arah menghadap ke selatan. Untuk kepentingan desain dan pemasangan kolektor surya dengan konfigurasi tetap sepanjang tahun, direkomendasikan sudut β sebesar 15° dengan orientasi arah bidang menghadap ke utara, dimana pada posisi tersebut, estimasi radiasi matahari total yang diterima sepanjang tahun rata-rata sebesar 115,195 MJ/m².

Saran

Perlu dilakukan investigasi secara eksperimental pada perangkat berbasis energi surya (baik itu untuk keperluan desain maupun pemasangan) alat pengering tenaga surya, alat desalinasi, dan sel surya dengan menggunakan sudut β yang diekomendasikan guna memvalidasi hasil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Tim Riset Energi Terbarukan, Laboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang atas bantuannya mengakses data radiasi matahari di *Website European Commision: Photovoltaic Geographical Information System*.

PENDANAAN

Penelitian ini tidak menerima pendanaan eksternal.

CONFLICT OF INTEREST

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan dengan pihak mana pun.

DAFTAR REFERENSI

- Adama, S., Cheikh, M. F. K., & Ababacar, N. (2021). Determination of the optimum tilt angle for photovoltaic modules in Senegal. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 15(6), 214–222. <https://doi.org/10.5897/ajest2021.2988>
- Aji, E. P., Wibowo, P., & Windarta, J. (2022). Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan Sistem On Grid di BPR BKK Mandiraja Cabang Wanayasa Kabupaten Banjarnegara. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 3(1), 15–27. <https://doi.org/10.14710/jebt.2022.13158>
- Benghanem, M. (2011). Optimization of tilt angle for solar panel: Case study for Madinah, Saudi Arabia. *Applied Energy*, 88(4), 1427–1433. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.10.001>
- Darhmaoui, H., & Lahjouji, D. (2013). Latitude based model for tilt angle optimization for solar collectors in the mediterranean region. *Energy Procedia*, 42, 426–435. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.11.043>
- Darussalam, R., Rajani, A., Kusnadi, K., & Atmaja, T. D. (2016). Pengaruh Arah Azimuth dan Sudut Tilt Panel Photovoltaic Untuk Optimalisasi Radiasi Matahari, Studi Kasus: Bandung - Jawa Barat. *Prosiding Seminar Nasional Fisika, SNF2016-ERE-31-SNF2016-ERE-36*. <https://doi.org/10.21009/0305020606>
- DESDM. (2005). *Blueprint Pengelolaan Energi 2005-2025*.
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar engineering of thermal processes: Vol. Wiley*. Wiley.
- European Commision. (2022). *Photovoltaic Geographical Information System*. https://Re.Jrc.Ec.Europa.Eu/Pvg_tools/En/.
- Handoyo, E. A., Ichsani, D., & Prabowo. (2013). The optimal tilt angle of a solar collector. *Energy Procedia*, 32, 166–175. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.05.022>
- Jain, D., & Lalwani, M. (2017). A Review on Optimal Inclination Angles for Solar Arrays. *International Journal of Renewable Energy Research*, 7(3).

- Kurnianto, R., Hiendro, A., & Yusuf, H. M. I. (2017). Optimum orientation angles for photovoltaic arrays to maximize energy gain at near equator location in Indonesia. *International Review of Automatic Control*, 10(1), 86–91. <https://doi.org/10.15866/ireaco.v10i1.11017>
- Masrur, H., Othman, M. L., Arefin, A. A., Hizam, H. B., Wahab, N. I. A., Islam, S. Z., & Senjyu, T. (2020). Determining optimal tilt angle to maximize the PV yield. *PECon 2020 - 2020 IEEE International Conference on Power and Energy*, 219–223. <https://doi.org/10.1109/PECon48942.2020.9314455>
- Mukaddim, A., Wirawan, M., & Alit, I. B. (2013). Analisa Pengaruh Variasi Bentuk Absorber Pada Alat Destilasi Air Laut Terhadap Kenaikan Suhu Dalam Ruang Pemanas dan Jumlah Penguapan Air yang Dihasilkan. *Dinamika Teknik Mesin*, 3(2), 127–135.
- Ni Wayan, M. M. S., I Ketut, S., & I Gede, H. (2015). Menentukan variabilitas spasial albedo pada wilayah Bali menggunakan data satelit MODIS BRDF MCD43A1 Tahun 2005-2012. *Buletin Fisika*, 16(1), 15–24.
- Qur'aini, J. W., Awaluddin, M., & Amarrohman, F. J. (2019). Analisis batas pengelolaan wilayah laut antara Kabupaten Lombok Utara, Lombok Barat, Lombok Tengah, dan Lombok Timur. *Jurnal Geodesi Undip*, 8(2), 40–49.
- Sabani, R., Sukmawaty, Murad, Ansar, & Amuddin. (2021). Application of hybrid solar dryer for supporting community business on the new normal era. *Proceeding ICST*, 638–648.
- Sutanto, B., Herlambang, Y. D., Bono, Alfauzi, A. S., & Munawwaroh, D. A. (2021). Optimalisasi Arah Sudut Tilt dan Sudut Azimuth Dari Alat Pemanas Energi Radiasi Matahari Di Semarang, Jawa Tengah. *Eksergi*, 17(2), 145–154.
- Tang, R., & Wu, T. (2004). Optimal tilt-angles for solar collectors used in China. *Applied Energy*, 79(3), 239–248. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2004.01.003>
- Tira, H. S., Natsir, A., & Putranto, T. (2020). Kinerja modul surya melalui variasi solar collector dan kecepatan angin. *Dinamika Teknik Mesin*, 10(1), 25. <https://doi.org/10.29303/dtm.v10i1.302>
- Ullah, A., Imran, H., Maqsood, Z., & Butt, N. Z. (2019). Investigation of optimal tilt angles and effects of soiling on PV energy production in Pakistan. *Renewable Energy*, 139, 830–843. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.02.114>
- Xianping, L. (2012). Calculation and Analysis of Optimal Tilt Angle for PV/T hybrid Collector. *International Conference on Intelligent Systems Design and Engineering Application*, 791–795.
- Zamharir, Sukmawaty, & Priyati, A. (2016). Analisis Pemanfaatan Energi Panas pada Pengeringan Bawang Merah (*Allium ascalonicum* L.) Dengan Menggunakan Alat Pengering Efek Rumah Kaca (ERK). *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian Dan Biosistem*, 2(2), 264–274.
- Zurhalki, M. (2020, June). *Menengok Potensi Energi Surya di Nusa Tenggara Barat*. Isnet.or.Id.