

GEOMETRI RADIASI MATAHARI DI KOTA MALANG

F.A. Widiharsa *

Abstraksi

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui parameter-parameter arah dan posisi yang berpengaruh pada radiasi matahari yang diterima di Malang (8° Lintang Selatan dan 112° Bujur Timur) dalam setahun. Parameter-parameter itu meliputi selisih waktu antara waktu sesungguhnya (*solar time*) dengan WIB, panjang hari, lintasan matahari, altitude, azimuth, kemiringan (*slope*) dan insiden. Dari hasil menunjukkan bahwa sebagian besar matahari berada di utara kota Malang yaitu selama 223 hari dari tanggal 2 Maret sampai dengan 10 Oktober atau sebesar 61% dalam setahun dan sisanya 39% berada di selatan. Posisi matahari tegak lurus permukaan horisontal terjadi pada tanggal 2 Maret dan 11 Oktober.

Kata Kunci : Sudut Matahari, Insiden, Kemiringan, *Altitude*, *Azimuth*.

PENDAHULUAN

Dalam setiap penggunaan peralatan yang memanfaatkan energi matahari seperti kolektor atau panel fotovoltaik memerlukan penentuan arah, posisi dan kemiringan untuk mendapatkan radiasi yang terbaik. Matahari selalu berubah-ubah posisinya setiap saat terhadap bidang horisontal pada suatu lokasi di permukaan bumi.

Untuk mengetahui energi radiasi yang jatuh pada suatu permukaan di suatu lokasi di bumi pada berbagai orientasi diperlukan suatu hubungan geometri yang dapat mengkonversi radiasi datang tersebut menjadi suatu nilai ekuivalen yang berhubungan arah normal terhadap permukaan tersebut. Hubungan geometri tersebut meliputi beberapa parameter sudut-sudut yang berhubungan dengan radiasi matahari datang. Dengan adanya parameter sudut-sudut yang berkaitan dengan matahari untuk suatu lokasi di bumi akan memberikan kemudahan dalam perhitungan nilai prediksi radiasi yang diterima pada waktu tertentu.

Kota Malang terletak pada 8° Lintang Selatan dan 112° Bujur Timur atau berada pada daerah tropis banyak mendapatkan sinar matahari tentunya dengan mengetahui parameter sudut matahari akan berguna bagi pemanfaatan energi surya di daerah ini dan selanjutnya akan menjadi bahasan dalam tulisan ini.

Parameter-Parameter Dalam Geometri Radiasi Matahari

Parameter-parameter dalam geometri radiasi matahari (Duffie & Beckman, 1991) adalah sebagai berikut :

Waktu Sesungguhnya (*Solar Time*) adalah waktu berdasarkan gerakan angular matahari terlihat melewati langit, untuk siang hari (*solar noon*) waktu matahari melewati bujur pengamat. Waktu ini digunakan dalam semua hubungan sudut-matahari, waktu ini tidak sama dengan waktu standard lokal, waktu ini merupakan waktu yang sesungguhnya di lokasi tersebut. Untuk mengkonversi waktu standar dan waktu matahari dilakukan dengan mengaplikasikan dua koreksi.

- Koreksi pertama adalah sebuah koreksi konstan untuk beda garis bujur antara garis bujur pengamat dan garis bujur pada waktu standard ditetapkan. Waktu Indonesia Barat ditetapkan dengan garis bujur standar 95° Bujur Timur. Matahari membutuhkan waktu 4 menit untuk bergerak 1° garis bujur.

* Dosen Teknik Mesin Universitas Merdeka Malang

- Koreksi kedua adalah dengan menggunakan persamaan koreksi waktu yang menghitung pergeseran dalam rotasi rata-rata bumi yang berakibat pada waktu melewati garis bujur pengamat. Beda dalam menit antara Waktu Sesungguhnya dan Waktu Standar adalah :

$$\text{Waktu Sesungguhnya} - \text{Waktu Standar} = \pm 4(L_{st} - L_{loc}) + E \dots\dots\dots 1.$$

dimana L_{st} adalah garis bujur standard, untuk Waktu Indonesia Bagian Barat (WIB) adalah 95°BT , L_{loc} adalah longitude lokasi dan E adalah persamaan koreksi waktu (dalam menit). Tanda \pm menunjukkan untuk tanda negatif diaplikasikan untuk belahan bumi sebelah timur dan tanda positif diaplikasikan untuk belahan bumi sebelah barat. Persamaan koreksi waktu E :

$$E = 229,2(0,000075 + 0,001868 \cos B - 0,032077 \sin B - 0,014615 \cos 2B - 0,04089 \sin 2B \dots\dots\dots 2.$$

$$\text{dimana } B = (n - 1) \frac{360}{365} \dots\dots\dots 2.a.$$

dan $n =$ hari dalam tahun. $1 \leq n \leq 365$

Latitude f , sudut lokasi angular utara atau selatan dibagi oleh ekuator, bagian utara positif dan bagian selatan negatif, $-90^{\circ} \leq f \leq 90^{\circ}$. Latitude menunjukkan garis lintang dari suatu lokasi dan untuk kota Malang Latitude= -8° karena terletak di 8° LS.

Deklinasi d , posisi angular dari matahari pada siang hari dengan proyeksinya pada bidang ekuator pada saat matahari berada pada bujur lokal, bagian utara positif dan bagian selatan negatif, $-23,45^{\circ} \leq d \leq 23,45^{\circ}$, deklinasi dihitung dengan persamaan berikut

$$d = 23,45^{\circ} \sin\left(360 \frac{284 + n}{365}\right), n = \text{jumlah hari dalam tahun} \dots\dots\dots 3.$$

Slope b , sudut kemiringan antara permukaan benda dengan bidang horisontal $0^{\circ} < b < 90^{\circ}$, kemiringan $\beta > 90^{\circ}$ berarti permukaan benda menghadap ke bawah.

Sudut azimuth permukaan g , adalah deviasi proyeksi pada bidang horisontal normal terhadap permukaan dari bujur lokal, dengan nol di selatan, ke barat negatif dan ke timur positif, $-180^{\circ} \leq g \leq 180^{\circ}$ Untuk permukaan dengan kemiringan (*slope*) menghadap utara sudut azimuth permukaan g adalah 0° dan selatan adalah 180° .

Sudut jam w , jarak angular dari matahari ke timur atau barat bujur lokal sebagai akibat rotasi bumi pada sumbunya 15° per jam, dari jam 12 siang hari (waktu matahari), pagi negatif dan siang positif.

$$w = (12 - \text{Jam})15^{\circ} \dots\dots\dots 4.$$

Sudut insiden/datang q , sudut antara radiasi langsung pada permukaan dengan normal dari permukaan.

$$\cos q = \sin d \sin f \cos b - \sin d \cos f \sin b \cos g + \cos d \cos f \cos b \cos w + \cos d \sin f \sin b \cos g \cos w + \cos d \sin b \sin g \sin w \dots\dots\dots 5.$$

atau $\cos q = \cos q_z \cos b + \sin q_z \sin b \cos(g_s - g) \dots\dots\dots 6.$

Sudut Zenith q_z , sudut antara garis vertikal dengan garis ke matahari, sudut insiden dari radiasi langsung pada suatu permukaan horisontal.

$$\cos q_z = \cos f \cos d \cos w + \sin f \sin d \quad \dots\dots\dots 7.$$

sudut zenith, q_z adalah sama dengan sudut insiden, q pada saat kemiringan permukaan, $b = 0^\circ$

Sudut Altitude matahari a , sudut antara horisontal dengan garis ke matahari dan juga merupakan komplemen dari sudut zenith.

$$a = \arcsin(\cos f \cos d \cos w + \sin f \sin d) \quad \dots\dots\dots 8.$$

atau $a = (90 - q_z) \quad \dots\dots\dots 9.$

Sudut azimuth matahari g_s , jarak angular dari selatan proyeksi radiasi langsung pada bidang horisontal, ke arah timur dari selatan positif dan ke arah barat negatif.

$$\sin g_s = \frac{\sin w \cos d}{\sin q_s} = \frac{\sin w \cos d}{\cos a} \quad \dots\dots\dots 10.$$

Sudut jam matahari terbit dan terbenam w_s adalah sudut jam yang menunjukkan lamanya matahari terbit dan terbenam, pada permukaan horisontal diperoleh dengan mensubstitusi sudut zenith $q_z = 90^\circ$ ke persamaan 1.10 :

$$\cos w_s = -\frac{\sin f \sin d}{\cos f \cos d} = -\tan f \tan d \quad \dots\dots\dots 11.a.$$

$$w_s = \arccos(-\tan f \tan d) \quad \dots\dots\dots 11.b.$$

Karena 15° sudut jam ekuivalen terhadap 1 jam, maka jumlah atau lamanya matahari bersinar yang sering disebut sebagai **panjang hari** dalam satuan jam, S_{max} adalah :

$$S_{max} = \frac{2}{15} \arccos(-\tan f \tan d) \quad \dots\dots\dots 12.$$

Sudut-Sudut Dalam Sistem Pengaturan Pada Permukaan Miring (*Tracking System*)

Untuk mendapatkan energi langsung dari matahari yang diterima oleh suatu permukaan pada berbagai orientasi dengan hasil yang maksimum, maka permukaan kolektor perlu diatur mengikuti gerakan matahari. Tujuan dari perubahan posisi dan kemiringan dari kolektor agar diperoleh sudut insiden dan azimuth permukaan yang sesuai sehingga memberikan hasil radiasi datang yang terbaik. Hal ini sangat bermanfaat dalam aplikasi sistem surya seperti kolektor thermal maupun sistem fotovoltaik. Sistem perubahan posisi permukaan kolektor mengikuti matahari ini disebut dengan sistem **tracking** (*tracking system*). Sistem **tracking** untuk sumbu horisontal timur-barat dengan sebuah pengaturan kemiringan β setiap hari, maka sudut datang radiasi langsung dalam arah normal terhadap permukaan pada tengah hari untuk setiap hari adalah :

$$\cos q = \sin^2 d + \cos^2 d \cos w \quad \dots\dots\dots 13.$$

Sudut kemiringan b pada permukaan dapat diposisikan dengan tetap setiap hari sebesar

$$b = |f - d| \quad \dots\dots\dots 14.$$

Sudut azimuth permukaan g untuk satu hari adalah 0° atau 180° tergantung f dan d :

Jika $(f - d) > 0, g = 0$

Jika $(f - d) < 0, g = 180^\circ$ 15.

Besarnya radiasi langsung (*beam*) yang diterima oleh suatu permukaan miring ditunjukkan dengan sebuah faktor geometri R_b yaitu rasio radiasi *beam* yang merupakan perbandingan radiasi langsung pada permukaan miring dengan permukaan horizontal.

$$R_b = \frac{G_{bt}}{G_b} = \frac{G_{b,n} \cos q}{G_{b,n} \cos q_z} = \frac{\cos q}{\cos q_z} \quad \dots\dots\dots 16.$$

dimana :

G_b = **Solar Irradiance**, Energi radiasi rata-rata (*incident*) secara langsung atau *beam radiation* pada suatu permukaan horisontal dalam satuan W/m^2

G_{bt} = **Solar Irradiance**, Energi radiasi rata-rata (*incident*) secara langsung atau *beam radiation* pada suatu permukaan miring dalam satuan W/m^2

$G_{b,n}$ = **Solar Irradiance**, Energi radiasi rata-rata (*incident*) secara langsung atau *beam radiation* pada suatu permukaan horisontal dengan arah normal terhadap permukaan tersebut (W/m^2)

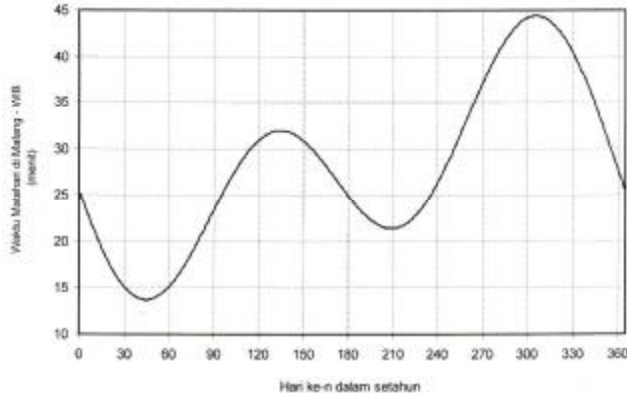
4. Tabel dan Grafik Hasil Perhitungan

Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan 1 s/d 16 dan diperoleh hasil seperti pada tabel dan grafik berikut ini

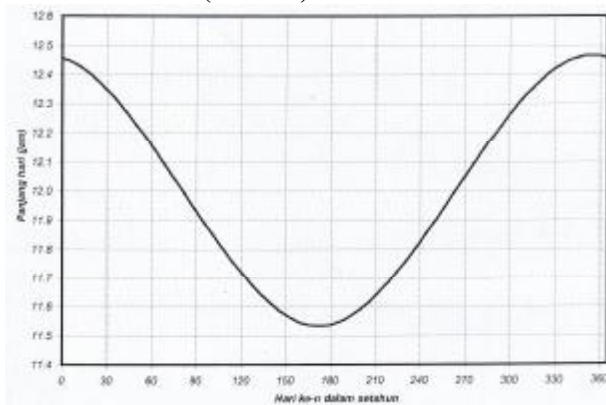
Tabel 1. Selisih Waktu (menit) antara Waktu Matahari di kota Malang (112°BT) dengan WIB (105°BT)

Tgl	JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES
1	25,10	14,82	15,09	23,62	31,02	30,58	24,54	21,49	27,62	38,47	44,39	38,72
2	24,65	14,66	15,27	23,94	31,15	30,42	24,34	21,54	27,95	38,80	44,39	38,35
3	24,21	14,51	15,45	24,25	31,27	30,27	24,14	21,59	28,29	39,13	44,38	37,98
4	23,77	14,38	15,65	24,56	31,38	30,10	23,95	21,66	28,63	39,45	44,35	37,59
5	23,33	14,25	15,86	24,87	31,48	29,93	23,76	21,74	28,98	39,76	44,31	37,20
6	22,91	14,14	16,08	25,18	31,57	29,76	23,58	21,83	29,33	40,06	44,25	36,80
7	22,48	14,05	16,30	25,49	31,65	29,58	23,40	21,93	29,69	40,36	44,18	36,40
8	22,07	13,96	16,53	25,79	31,72	29,39	23,23	22,04	30,05	40,65	44,10	35,98
9	21,66	13,89	16,77	26,08	31,78	29,20	23,07	22,17	30,41	40,93	44,01	35,56
10	21,26	13,83	17,02	26,38	31,83	29,01	22,91	22,30	30,78	41,20	43,90	35,14
11	20,86	13,79	17,27	26,66	31,87	28,81	22,75	22,44	31,15	41,46	43,78	34,71
12	20,48	13,76	17,54	26,95	31,90	28,60	22,61	22,59	31,52	41,71	43,64	34,27
13	20,10	13,74	17,80	27,22	31,92	28,40	22,47	22,76	31,89	41,96	43,49	33,83
14	19,73	13,73	18,08	27,50	31,94	28,19	22,34	22,93	32,27	42,19	43,33	33,38
15	19,37	13,74	18,36	27,76	31,94	27,98	22,21	23,12	32,64	42,41	43,15	32,93
16	19,01	13,76	18,64	28,02	31,93	27,76	22,10	23,31	33,02	42,62	42,96	32,48
17	18,67	13,79	18,93	28,28	31,91	27,55	21,99	23,51	33,40	42,82	42,76	32,02
18	18,34	13,83	19,23	28,52	31,88	27,33	21,89	23,73	33,77	43,01	42,55	31,56
19	18,01	13,89	19,53	28,76	31,85	27,11	21,80	23,95	34,15	43,19	42,32	31,10
20	17,70	13,96	19,83	29,00	31,80	26,89	21,72	24,18	34,52	43,36	42,08	30,64
21	17,40	14,04	20,14	29,22	31,75	26,68	21,65	24,43	34,90	43,52	41,83	30,17
22	17,10	14,13	20,45	29,44	31,68	26,46	21,58	24,68	35,27	43,66	41,57	29,71
23	16,82	14,23	20,76	29,65	31,61	26,24	21,53	24,94	35,64	43,79	41,30	29,24
24	16,55	14,35	21,07	29,85	31,52	26,02	21,48	25,20	36,01	43,91	41,01	28,78
25	16,30	14,48	21,39	30,04	31,43	25,80	21,45	25,48	36,37	44,01	40,72	28,31
26	16,05	14,61	21,71	30,23	31,33	25,58	21,42	25,76	36,73	44,11	40,41	27,84
27	15,81	14,76	22,03	30,40	31,23	25,37	21,41	26,05	37,09	44,19	40,09	27,38
28	15,59	14,92	22,34	30,57	31,11	25,16	21,40	26,35	37,44	44,25	39,76	26,92
29	15,38		22,66	30,73	30,99	24,95	21,41	26,66	37,79	44,31	39,42	26,46
30	15,18		22,98	30,88	30,86	24,74	21,42	26,97	38,13	44,35	39,08	26,00
31	14,99		23,30		30,72		21,45	27,29		44,38		25,55

Catatan : Tabel 1. dihitung dengan menggunakan persamaan 1, 2 dan 2.a.



Gambar 1. Selisih Waktu (Menit) Antara Waktu Matahari Di Kota Malang (112°BT) Dengan WIB (105°BT) Dalam Setahun

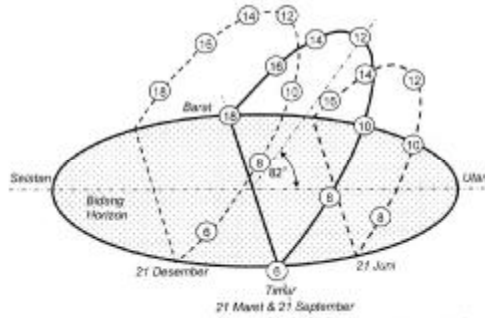


Gambar 2. Panjang Hari Di Kota Malang 8°LS Dalam Setahun

Tabel 2. Panjang Hari Atau Lamanya Matahari Terbit Dan Terbenam Di Malang, Latitude – 8° (8° Lintang Selatan) Setahun Dalam Jam:Menit:Detik.

Tgl	JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES
1	12:27:23	12:20:20	12:09:23	11:55:29	11:42:51	11:33:54	11:32:29	11:39:10	11:51:16	12:04:45	12:17:42	12:26:11
2	12:27:16	12:20:00	12:08:57	11:55:02	11:42:29	11:33:44	11:32:34	11:39:30	11:51:42	12:05:12	12:18:04	12:26:21
3	12:27:09	12:19:40	12:08:31	11:54:35	11:42:07	11:33:34	11:32:41	11:39:50	11:52:08	12:05:39	12:18:26	12:26:31
4	12:27:02	12:19:19	12:08:05	11:54:08	11:41:45	11:33:24	11:32:47	11:40:10	11:52:35	12:06:05	12:18:47	12:26:40
5	12:26:54	12:18:58	12:07:39	11:53:41	11:41:23	11:33:15	11:32:55	11:40:31	11:53:01	12:06:32	12:19:09	12:26:49
6	12:26:45	12:18:37	12:07:12	11:53:15	11:41:02	11:33:06	11:33:02	11:40:51	11:53:28	12:06:59	12:19:29	12:26:58
7	12:26:36	12:18:15	12:06:45	11:52:48	11:40:41	11:32:58	11:33:11	11:41:13	11:53:55	12:07:25	12:19:50	12:27:05
8	12:26:26	12:17:53	12:06:19	11:52:21	11:40:20	11:32:51	11:33:20	11:41:34	11:54:21	12:07:52	12:20:10	12:27:13
9	12:26:16	12:17:31	12:05:52	11:51:55	11:40:00	11:32:44	11:33:29	11:41:56	11:54:48	12:08:18	12:20:30	12:27:19
10	12:26:06	12:17:09	12:05:25	11:51:29	11:39:40	11:32:37	11:33:39	11:42:18	11:55:15	12:08:44	12:20:50	12:27:26
11	12:25:54	12:16:46	12:04:58	11:51:03	11:39:20	11:32:32	11:33:49	11:42:40	11:55:42	12:09:10	12:21:09	12:27:31
12	12:25:43	12:16:23	12:04:31	11:50:37	11:39:01	11:32:26	11:34:00	11:43:03	11:56:09	12:09:36	12:21:28	12:27:36
13	12:25:31	12:16:00	12:04:04	11:50:11	11:38:41	11:32:21	11:34:11	11:43:25	11:56:36	12:10:02	12:21:47	12:27:41
14	12:25:18	12:15:37	12:03:37	11:49:45	11:38:23	11:32:17	11:34:23	11:43:48	11:57:03	12:10:28	12:22:05	12:27:45
15	12:25:05	12:15:13	12:03:10	11:49:19	11:38:04	11:32:13	11:34:35	11:44:12	11:57:30	12:10:54	12:22:23	12:27:48
16	12:24:52	12:14:49	12:02:43	11:48:53	11:37:46	11:32:10	11:34:48	11:44:35	11:57:58	12:11:19	12:22:40	12:27:51
17	12:24:38	12:14:25	12:02:16	11:48:28	11:37:29	11:32:07	11:35:01	11:44:59	11:58:25	12:11:45	12:22:57	12:27:54
18	12:24:24	12:14:01	12:01:49	11:48:03	11:37:11	11:32:05	11:35:15	11:45:23	11:58:52	12:12:10	12:23:14	12:27:56
19	12:24:09	12:13:37	12:01:22	11:47:38	11:36:55	11:32:04	11:35:29	11:45:47	11:59:19	12:12:35	12:23:30	12:27:57
20	12:23:54	12:13:12	12:00:54	11:47:13	11:36:38	11:32:03	11:35:44	11:46:11	11:59:46	12:13:00	12:23:46	12:27:57
21	12:23:38	12:12:47	12:00:27	11:46:48	11:36:22	11:32:02	11:35:59	11:46:36	12:00:14	12:13:24	12:24:01	12:27:58
22	12:23:22	12:12:22	12:00:00	11:46:23	11:36:06	11:32:03	11:36:14	11:47:00	12:00:41	12:13:49	12:24:16	12:27:57
23	12:23:05	12:11:57	11:59:33	11:45:59	11:35:51	11:32:03	11:36:30	11:47:25	12:01:08	12:14:13	12:24:31	12:27:56
24	12:22:49	12:11:32	11:59:06	11:45:35	11:35:36	11:32:04	11:36:46	11:47:50	12:01:35	12:14:37	12:24:45	12:27:55
25	12:22:31	12:11:07	11:58:38	11:45:11	11:35:22	11:32:06	11:37:03	11:48:15	12:02:02	12:15:01	12:24:59	12:27:53
26	12:22:14	12:10:41	11:58:11	11:44:47	11:35:08	11:32:09	11:37:20	11:48:41	12:02:30	12:15:25	12:25:12	12:27:50
27	12:21:56	12:10:15	11:57:44	11:44:23	11:34:55	11:32:12	11:37:37	11:49:06	12:02:57	12:15:48	12:25:25	12:27:47
28	12:21:37	12:09:49	11:57:17	11:44:00	11:34:42	11:32:15	11:37:55	11:49:32	12:03:24	12:16:12	12:25:37	12:27:43
29	12:21:19		11:56:50	11:43:37	11:34:29	11:32:19	11:38:13	11:49:58	12:03:51	12:16:35	12:25:49	12:27:39
30	12:20:59		11:56:23	11:43:14	11:34:17	11:32:24	11:38:32	11:50:24	12:04:18	12:16:57	12:26:00	12:27:34
31	12:20:40		11:55:56		11:34:06		11:38:51	11:50:50		12:17:20		12:27:28

Catatan : Data panjang hari diperoleh dengan menggunakan persamaan 12.



Gambar 3. Bidang Horison Dengan Posisi Jam Pada Lintasan Matahari Untuk Malang 8°LS
 Posisi matahari dengan plot *a, g*, dan panjang hari terbit dan terbenam untuk kota Malang latitude 8° LS ditunjukkan seperti pada tabel 3, 4 dan 5 serta gambar 4, 5, 6 dan 7.

Tabel 3. Sudut Azimuth Matahari g_s (°) Di Kota Malang (8° LS) Berdasarkan Tanggal & Jam

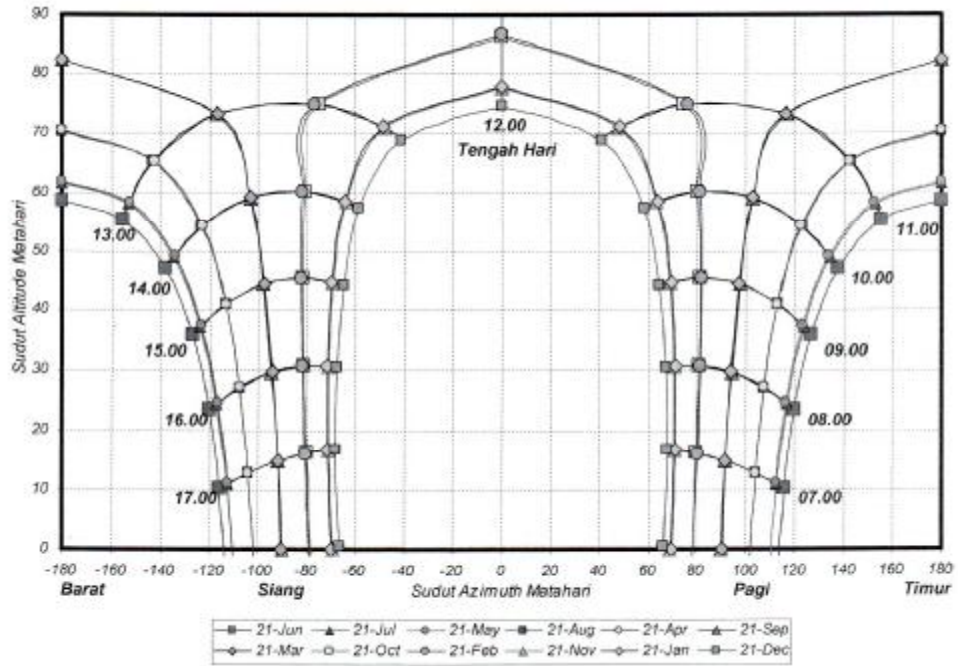
Tanggal	Waktu Sesungguhnya (Solar Time)										
	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
21-Jan	71,29	71,28	69,48	64,12	48,54	0	-48,54	-64,12	-69,48	-71,28	-71,29
21-Feb	80,56	81,66	82,10	81,35	76,50	0	-76,50	-81,35	-82,10	-81,66	-80,56
2-Mar	96,01	94,50	93,18	91,96	90,72	±180	-90,72	-91,96	-93,18	-94,50	-96,01
21-Mar	91,72	94,14	97,37	102,79	116,22	±180	-116,22	-102,79	-97,37	-94,14	-91,72
21-Apr	103,89	107,47	113,08	122,90	142,50	±180	-142,50	-122,90	-113,08	-107,47	-103,89
21-May	112,45	116,55	123,13	134,05	152,52	±180	-152,52	-134,05	-123,13	-116,55	-112,45
21-Jun	115,73	119,96	126,75	137,73	155,35	±180	-155,35	-137,73	-126,75	-119,96	-115,73
21-Jul	112,75	116,86	123,47	134,40	152,80	±180	-152,80	-134,40	-123,47	-116,86	-112,75
21-Aug	104,07	107,66	113,30	123,15	142,76	±180	-142,76	-123,15	-113,30	-107,66	-104,07
21-Sep	91,93	94,36	97,65	103,17	116,84	±180	-116,84	-103,17	-97,65	-94,36	-91,93
11-Oct	83,80	85,28	86,55	87,65	88,54	0	-88,54	-87,65	-86,55	-85,28	-83,80
21-Oct	80,02	81,05	81,34	80,29	74,53	0	-74,53	-80,29	-81,34	-81,05	-80,02
21-Nov	70,97	70,92	69,05	63,57	47,80	0	-47,80	-63,57	-69,05	-70,92	-70,97
21-Dec	67,83	67,43	64,91	58,28	41,25	0	-41,25	-58,28	-64,91	-67,43	-67,83

Tabel 4. Sudut Altitude Matahari a (°) Di Malang (8° LS) Berdasarkan Tanggal Dan Jam

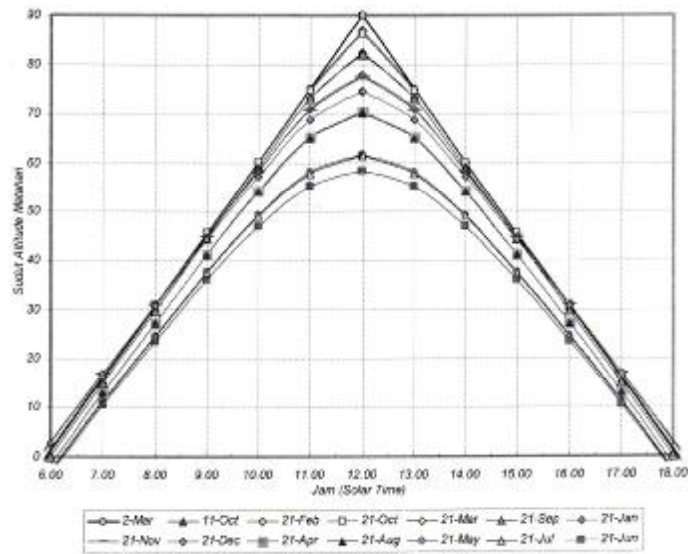
Tanggal	Waktu Sesungguhnya (Solar Time)										
	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
21-Jan	16,77	30,85	44,86	58,55	71,08	77,86	71,08	58,55	44,86	30,85	16,77
21-Feb	16,17	30,85	45,55	60,26	74,87	86,77	74,87	60,26	45,55	30,85	16,17
2-Mar	15,84	30,64	45,46	60,30	75,15	89,91	75,15	60,30	45,46	30,64	15,84
21-Mar	14,91	29,74	44,52	59,15	73,23	82,40	73,23	59,15	44,52	29,74	14,91
21-Apr	12,89	27,20	41,15	54,31	65,38	70,42	65,38	54,31	41,15	27,20	12,89
21-May	11,11	24,64	37,55	49,22	58,23	61,86	58,23	49,22	37,55	24,64	11,11
21-Jun	10,36	23,51	35,95	47,00	55,30	58,55	55,30	47,00	35,95	23,51	10,36
21-Jul	11,04	24,54	37,41	49,02	57,96	61,56	57,96	49,02	37,41	24,54	11,04
21-Aug	12,86	27,16	41,09	54,22	65,25	70,25	65,25	54,22	41,09	27,16	12,86
21-Sep	14,88	29,71	44,48	59,10	73,14	82,20	73,14	59,10	44,48	29,71	14,88
11-Oct	15,86	30,65	45,47	60,30	75,15	89,90	75,15	60,30	45,47	30,65	15,86
21-Oct	16,22	30,87	45,55	60,22	74,76	86,25	74,76	60,22	45,55	30,87	16,22
21-Nov	16,78	30,83	44,81	58,45	70,89	77,56	70,89	58,45	44,81	30,83	16,78
21-Dec	16,89	30,64	44,25	57,37	68,89	74,55	68,89	57,37	44,25	30,64	16,89

Tabel 5. Panjang Hari S_{max} . Waktu Terbit Dan Terbenam Di Malang (8° LS) Pada Tgl 21 Tiap Bulan Selama Setahun

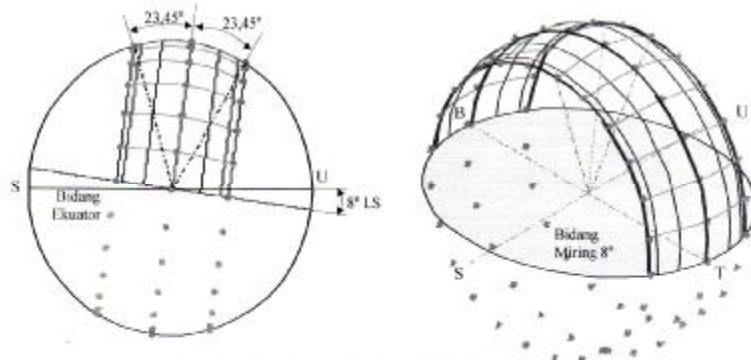
Tanggal	Hari ke-n	<i>d</i>	<i>w_s</i>	<i>S_{max}</i> (jam)	Waktu Sesungguhnya		WIB	
					Terbit	Terbenam	Terbit	Terbenam
					Jam:Menit	Jam:Menit	Jam:Menit	Jam:Menit
21-Jan	21	-20,14	92,95	12,39	05:48	18:12	05:31	17:54
21-Feb	52	-11,23	91,60	12,23	05:54	18:06	05:40	17:52
21-Mar	80	-0,40	90,06	12,01	06:00	18:00	05:40	17:40
21-Apr	111	11,58	88,35	11,78	06:07	17:53	05:37	17:24
21-May	141	20,14	87,05	11,61	06:12	17:48	05:40	17:16
21-Jun	172	23,45	86,50	11,53	06:14	17:46	05:47	17:19
21-Jul	202	20,44	87,00	11,60	06:12	17:48	05:50	17:26
21-Aug	233	11,75	88,32	11,78	06:07	17:53	05:42	17:29
21-Sep	264	-0,20	90,03	12,00	06:00	18:00	05:25	17:25
21-Oct	294	-11,75	91,68	12,22	05:53	18:07	05:10	17:23
21-Nov	325	-20,44	93,00	12,40	05:48	18:12	05:06	17:30
21-Dec	355	-23,45	93,50	12,47	05:46	18:14	05:16	17:44



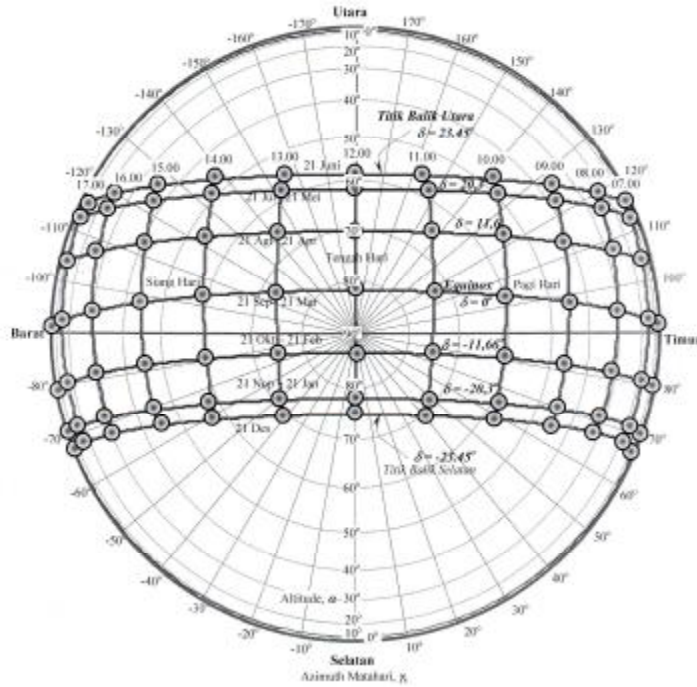
Gambar 4. Sudut Azimuth Matahari α_s Dan Altitude a Untuk Kota Malang (8° LS)



Gambar 5. Sudut Altitude a Untuk Kota Malang (8° LS)



Gambar 6. Gerakan Matahari Untuk Lokasi Malang 8° LS

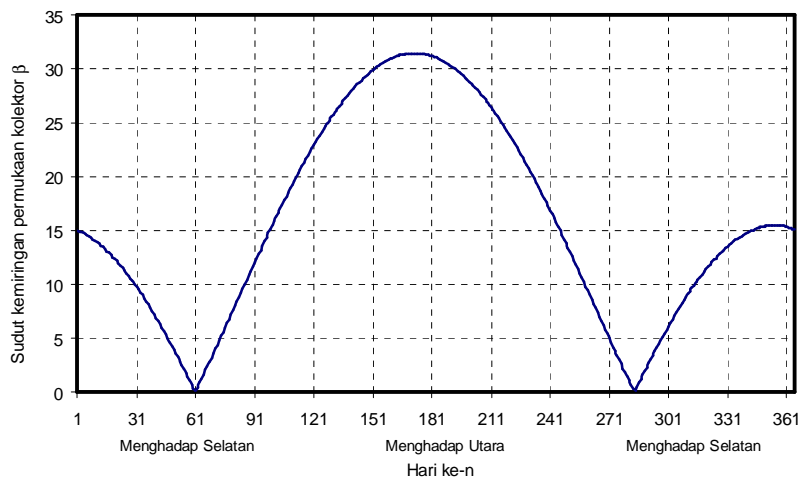


Gambar 7. Lintasan Matahari Untuk Kota Malang (8° LS) Dengan Sudut Azimuth Matahari g_s , Altitude a , Waktu Berdasarkan Matahari (Solar Time) Dan Deklinasi (d).

Tabel 6. Sudut Kemiringan Kolektor b (°) Untuk Sumbu Barat-Timur Dengan Pengaturan Setiap Hari Dalam Setahun Di Kota Malang 8° LS.

Tgl	JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES
1	15,01	9,52	0,29	12,02	22,90	30,04	31,12	25,91	15,72	3,78	7,36	14,11
2	14,93	9,25	0,09	12,41	23,21	30,17	31,05	25,65	15,34	3,39	7,67	14,24
3	14,84	8,97	0,47	12,81	23,52	30,30	30,97	25,38	14,96	2,99	7,96	14,36
4	14,75	8,69	0,85	13,20	23,82	30,42	30,89	25,11	14,57	2,60	8,26	14,48
5	14,65	8,40	1,24	13,60	24,11	30,54	30,80	24,83	14,18	2,21	8,55	14,59
6	14,54	8,11	1,62	13,99	24,40	30,65	30,70	24,55	13,79	1,82	8,83	14,70
7	14,42	7,82	2,01	14,38	24,69	30,75	30,59	24,26	13,40	1,43	9,11	14,80
8	14,30	7,52	2,40	14,76	24,97	30,84	30,48	23,96	13,01	1,04	9,38	14,89
9	14,17	7,21	2,80	15,15	25,25	30,93	30,36	23,67	12,61	0,66	9,65	14,97
10	14,04	6,90	3,19	15,53	25,52	31,01	30,24	23,36	12,22	0,28	9,91	15,05
11	13,90	6,59	3,59	15,91	25,78	31,09	30,11	23,06	11,82	0,10	10,17	15,12
12	13,75	6,27	3,98	16,29	26,04	31,15	29,97	22,74	11,42	0,48	10,42	15,18
13	13,60	5,95	4,38	16,67	26,30	31,21	29,83	22,43	11,02	0,86	10,67	15,24
14	13,44	5,62	4,78	17,04	26,55	31,27	29,67	22,11	10,62	1,23	10,91	15,29
15	13,27	5,29	5,18	17,41	26,79	31,31	29,52	21,78	10,22	1,60	11,15	15,34
16	13,10	4,95	5,58	17,78	27,03	31,35	29,35	21,45	9,81	1,97	11,38	15,37
17	12,92	4,62	5,98	18,15	27,26	31,39	29,18	21,12	9,41	2,33	11,60	15,40
18	12,73	4,27	6,39	18,51	27,49	31,41	29,01	20,79	9,01	2,69	11,82	15,42
19	12,54	3,93	6,79	18,87	27,71	31,43	28,82	20,45	8,61	3,05	12,03	15,44
20	12,34	3,58	7,19	19,23	27,93	31,44	28,64	20,10	8,20	3,40	12,24	15,45
21	12,14	3,23	7,60	19,58	28,14	31,45	28,44	19,75	7,80	3,75	12,44	15,45
22	11,93	2,87	8,00	19,93	28,34	31,45	28,24	19,40	7,39	4,10	12,64	15,44
23	11,71	2,51	8,40	20,27	28,54	31,44	28,03	19,05	6,99	4,45	12,82	15,43
24	11,49	2,15	8,81	20,62	28,73	31,42	27,82	18,69	6,59	4,79	13,01	15,41
25	11,26	1,78	9,21	20,95	28,92	31,40	27,60	18,33	6,19	5,12	13,18	15,39
26	11,03	1,41	9,61	21,29	29,10	31,37	27,38	17,97	5,78	5,45	13,35	15,35
27	10,79	1,04	10,02	21,62	29,27	31,34	27,15	17,60	5,38	5,78	13,52	15,31
28	10,55	0,67	10,42	21,95	29,44	31,29	26,91	17,23	4,98	6,11	13,67	15,27
29	10,30		10,82	22,27	29,60	31,24	26,67	16,86	4,58	6,43	13,83	15,21
30	10,04		11,22	22,59	29,75	31,18	26,42	16,48	4,18	6,74	13,97	15,15
31	9,78		11,62		29,90		26,17	16,10		7,06		15,09

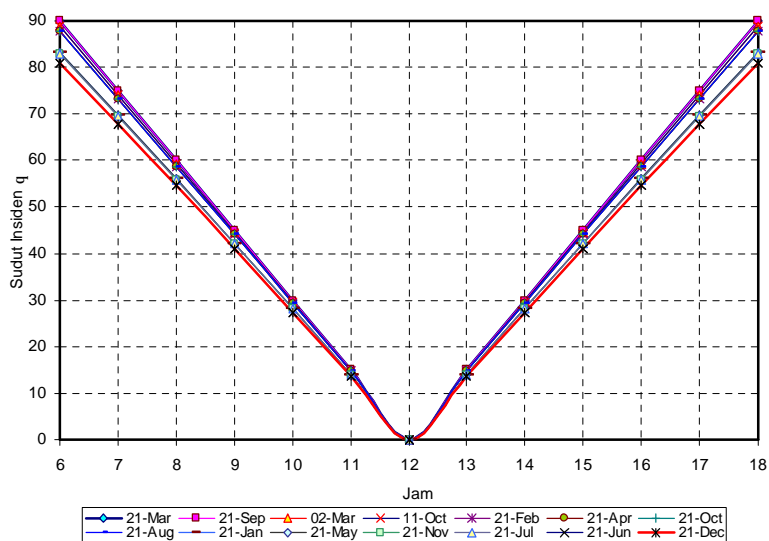
Nilai kemiringan kolektor b yang dicetak tebal adalah kolektor menghadap selatan ($g = 0^\circ$), selain itu kolektor menghadap utara ($g = 180^\circ$),



Gambar 8. Sudut Kemiringan Kolektor b Sumbu Barat-Timur Dengan Pengaturan Setiap Hari Selama Setahun Di Kota Malang 8° LS.

Tabel 7. Sudut Insiden q (°) Di Kota Malang (8° LS) Berdasarkan Tanggal Dan Jam Untuk Permukaan Kolektor Sumbu Barat-Timur Dengan Pengaturan Kemiringan β Setiap Hari

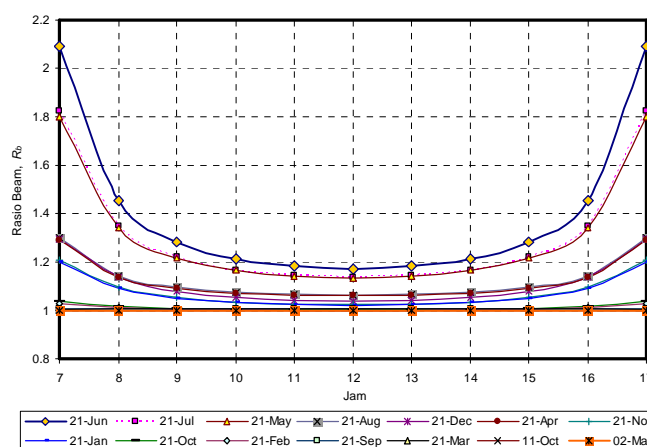
Tanggal	Waktu Sesungguhnya (Solar Time)										
	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
21-Jan	69,72	55,99	42,11	28,13	14,08	0	14,08	28,13	42,11	55,99	69,72
21-Feb	73,33	58,74	44,09	29,41	14,71	0	14,71	29,41	44,09	58,74	73,33
2-Mar	74,16	59,37	44,55	29,71	14,86	0	14,86	29,71	44,55	59,37	74,16
21-Mar	75,00	60,00	45,00	30,00	15,00	0	15,00	30,00	45,00	60,00	75,00
21-Apr	73,22	58,66	44,04	29,38	14,69	0	14,69	29,38	44,04	58,66	73,22
21-May	69,72	55,99	42,11	28,13	14,08	0	14,08	28,13	42,11	55,99	69,72
21-Jun	67,90	54,61	41,11	27,47	13,75	0	13,75	27,47	41,11	54,61	67,90
21-Jul	69,56	55,88	42,03	28,07	14,05	0	14,05	28,07	42,03	55,88	69,56
21-Aug	73,17	58,62	44,01	29,36	14,68	0	14,68	29,36	44,01	58,62	73,17
21-Sep	75,00	60,00	45,00	30,00	15,00	0	15,00	30,00	45,00	60,00	75,00
11-Oct	74,12	59,34	44,53	29,69	14,85	0	14,85	29,69	44,53	59,34	74,12
21-Oct	73,17	58,62	44,01	29,36	14,68	0	14,68	29,36	44,01	58,62	73,17
21-Nov	69,56	55,88	42,03	28,07	14,05	0	14,05	28,07	42,03	55,88	69,56
21-Dec	67,90	54,61	41,11	27,47	13,75	0	13,75	27,47	41,11	54,61	67,90



Gambar 9. Sudut Insiden Sumbu Barat-Timur Dengan Pengaturan Kolektor b Setiap Hari Di Kota Malang 8° LS.

Tabel 8. Rasio Beam R_b Di Kota Malang (8° LS) Berdasarkan Tanggal Dan Jam Untuk Permukaan Kolektor Sumbu Barat-Timur Dengan Pengaturan Kemiringan β Setiap Hari

Tanggal	Waktu Sesungguhnya (<i>Solar Time</i>)										
	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
21-Jan	1,20	1,09	1,05	1,03	1,03	1,02	1,03	1,03	1,05	1,09	1,20
21-Feb	1,03	1,01	1,01	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01	1,03
2-Mar	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
21-Mar	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
21-Apr	1,29	1,14	1,09	1,07	1,06	1,06	1,06	1,07	1,09	1,14	1,29
21-May	1,80	1,34	1,22	1,16	1,14	1,13	1,14	1,16	1,22	1,34	1,80
21-Jun	2,09	1,45	1,28	1,21	1,18	1,17	1,18	1,21	1,28	1,45	2,09
21-Jul	1,82	1,35	1,22	1,17	1,14	1,14	1,14	1,17	1,22	1,35	1,82
21-Aug	1,30	1,14	1,09	1,07	1,07	1,06	1,07	1,07	1,09	1,14	1,30
21-Sep	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
11-Oct	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
21-Oct	1,04	1,01	1,01	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01	1,04
21-Nov	1,21	1,09	1,05	1,04	1,03	1,02	1,03	1,04	1,05	1,09	1,21
21-Dec	1,29	1,14	1,08	1,05	1,04	1,04	1,04	1,05	1,08	1,14	1,29



Gambar 10. Sudut Rasio Beam R_b Di Kota Malang (8° LS) Berdasarkan Tanggal & Jam Untuk Permukaan Kolektor Sumbu Barat-Timur Dengan Pengaturan Kemiringan β Setiap Hari

PEMBAHASAN

Selisih waktu antara waktu sesungguhnya (*solar time*) dengan waktu standar (WIB).

Waktu sesungguhnya (*solar time*) di Malang mempunyai selisih dengan Waktu standar Indonesia Bagian Barat (WIB) bervariasi sebagaimana terlihat pada tabel 1 dan gambar 1. Selisih waktu terpendek atau minimum 13,73 menit terjadi pada hari ke-45 dalam tahun yaitu tanggal 14 Februari, selanjutnya selisih waktu meningkat sampai pada titik maksimum lokal sebesar 31,94 menit pada hari ke-135 yaitu tanggal 15 Mei dan turun kembali ke titik minimum lokal sebesar 21,40 menit pada hari ke-209 tanggal 28 Juli. Selisih waktu terbesar atau maksimum selama setahun sebesar 44,39 menit terjadi pada hari ke-306 tanggal 2 November artinya jam 12.00 (*solar time*) dimana matahari tepat berada di atas kepala terjadi pada jam 11:15:37 WIB.

Panjang hari atau lamanya matahari bersinar

Lama waktu antara matahari terbit dan terbenam di kota Malang disebut lamanya matahari bersinar atau panjang hari dipengaruhi oleh lintasan matahari dan merupakan fungsi dari deklinasi dan latitude seperti pada persamaan 12. Untuk panjang hari yang terpendek atau minimum sebesar 11 jam 32 menit terjadi pada hari ke-172 tanggal 21 Juni yaitu pada sudut deklinasi titik balik utara $23,45^\circ$ dan paling lama atau maksimum sebesar 12 jam 28 menit terjadi pada hari ke-355 tanggal 21 Desember

pada sudut deklinasi titik balik selatan $-23,45^\circ$ sebagaimana ditunjukkan oleh gambar 2. dan tabel 2. Dari gambar 3 dapat juga dilihat bahwa lintasan matahari yang tampak dari bidang horison kota Malang dimana pada tanggal 21 Desember merupakan lintasan terpanjang dan tanggal 21 Juni adalah lintasan yang terpendek. Matahari yang bersinar pada suatu wilayah dengan waktu yang lama tentu saja akan memberikan energi yang lebih banyak.

Sudut azimuth matahari γ_s

Sudut azimuth matahari γ_s yang merupakan jarak angular diukur dari selatan dengan proyeksi radiasi langsung pada bidang horison pada untuk tiap tanggal 21 jam 12:00 (*solar time*) di kota Malang dalam setahun, dari tabel 3 dan gambar 7 dapat dilihat bahwa matahari sebagian besar berada di utara (azimuth 180°) selama 7 bulan (tiap tanggal 21) dan 5 bulan di selatan (azimuth 0°). Untuk tiap jam 12.00 dalam setahun matahari berada di utara (azimuth 180°) selama 223 hari yaitu mulai tanggal 2 Maret sampai dengan tanggal 10 Oktober atau sebesar 61 % dalam setahun matahari berada di utara dan sisanya 39% di selatan. Hal ini akan berkaitan dengan peletakan kolektor atau panel surya di kota Malang tentunya akan mempertimbangkan permukaan selalu dihadapkan ke Utara.

Sudut altitude matahari α

Posisi matahari berada diatas kepala atau tegak lurus bidang horison di kota Malang terjadi pada tanggal 2 Maret dan 11 Oktober. Pada jam 12 siang (*solar time*) tanggal tersebut sudut altitude mencapai maksimum 90° (tabel 4 dan gambar 5). Sudut altitude terendah pada jam 12 siang terjadi pada tanggal 21 Juni sebesar $58,55^\circ$ menghadap utara (azimuth 180°) pada deklinasi terjauh di titik balik utara $23,45^\circ$. Dalam setahun tiap jam 12 siang (*solar time*) mulai tanggal 21 Juni sudut altitude terendah $58,55^\circ$ menghadap utara akan bergerak naik mencapai altitude maksimum 90° pada tanggal 11 Oktober dengan sudut deklinasi $-5,01$ menghadap ke selatan. Selanjutnya akan bergerak turun kearah titik balik selatan deklinasi $-23,45^\circ$ dan azimuth 0° tanggal 21 Desember dengan altitude sebesar $74,55^\circ$ yang merupakan altitude terendah yang menghadap selatan. Sudut altitude akan bergerak naik kembali ke arah utara dan mencapai maksimum 90° pada tanggal 2 Maret.

Sudut altitude matahari juga merupakan komplemen sudut zenith θ_z yaitu $90 - \alpha$, sehingga altitude tertinggi merupakan zenith terendah dimana pada posisi ini matahari berada di posisi tertinggi dalam lintasannya selama sehari atau berada pada posisi jam 12.00 *solar time*.

Sudut kemiringan (*slope*) β

Sudut kemiringan kolektor dapat diatur setiap saat mengikuti pergerakan matahari guna mendapatkan radiasi langsung yang terbaik. Tabel 6 dan gambar 8 menunjukkan kemiringan kolektor yang diatur setiap hari dengan sumbu barat timur. Sebagian besar permukaan kolektor menghadap ke Utara selama 223 hari yaitu mulai tanggal 2 Maret sampai dengan tanggal 10 Oktober dan mulai 11 Oktober sampai dengan tanggal 1 Maret selama 142 hari menghadap ke selatan. Pada tanggal 2 Maret dan 11 Oktober pada jam 12.00 *solar time* posisi matahari adalah tegak lurus terhadap permukaan horison sehingga pada tanggal tersebut kemiringan permukaan kolektor untuk mendapatkan radiasi langsung yang terbaik selama satu hari adalah 0° . Selanjutnya kemiringan kolektor dapat diatur mengikuti pergerakan matahari dengan pengaturan setiap hari sebagaimana pada tabel 6 dengan sudut

kemiringan kolektor maksimum sebesar $31,45^\circ$ menghadap utara yang terjadi pada tanggal 21 Juni, dimana posisi matahari berada di titik balik utara dengan sudut deklinasi maksimum $23,45^\circ$. Untuk hari-hari dengan kondisi kolektor menghadap ke selatan, sudut kemiringan kolektor maksimum sebesar $15,45^\circ$ terjadi pada tanggal 21 Desember. Untuk kolektor yang tidak perlu dilakukan pengaturan atau diletakan tetap (*fixed*) sepanjang tahun maka yang dipertimbangan hanyalah lokasi tempat kedudukan kolektor sehingga di kota Malang tanpa pengaturan setiap hari sudut kemiringan kolektor yang terbaik sepanjang tahun adalah 8° menghadap utara atau sama dengan latitude kota Malang.

Sudut insiden θ dan rasio beam

Sudut insiden/datang yang terjadi (tabel 7 dan gambar 9), pada jam 12.00 *solar time* dengan sudut kemiringan kolektor diatur setiap hari sebagaimana pada persamaan 14 adalah 0° yang merupakan posisi tertinggi matahari selama sehari. Pada posisi ini radiasi matahari langsung yang diterima suatu permukaan merupakan radiasi maksimum. Pada jam-jam yang lain sebelum dan sesudah jam 12 sudut insiden akan bervariasi semakin besar ke arah 90° , baik pagi maupun sore hari. Tentunya akan memberikan penurunan radiasi yang diterima permukaan. Sehingga untuk mendapatkan radiasi matahari langsung/beam yang maksimum adalah dengan mengatur agar sudut insiden/datang radiasi ke permukaan kolektor sama dengan sudut zenith.

Dengan menggunakan persamaan 16. diperoleh rasio radiasi beam yang merupakan perbandingan cosinus antara sudut insiden dan sudut zenith. Tabel 8 dan Gambar 10 menunjukkan pada tanggal 2 Maret dan 11 Oktober mempunyai rasio beam sebesar 1. Dengan demikian pada tanggal, besar sudut insiden θ adalah sama dengan besar sudut zenith θ_z . Dengan demikian potensi secara geometri untuk menerima radiasi yang optimum di Malang terjadi dengan tentu saja mempertimbangkan radiasi matahari *exstraterrestrial* yang terjadi pada hari tersebut.

SIMPULAN

Dari bahasan diatas dapat dilihat bahwa gerakan matahari memberikan variasi parameter geometri radiasi matahari sebagai berikut :

- § Waktu sesungguhnya di Malang berbeda dengan WIB, bervariasi dengan selisih waktu berkisar dari 13,73 menit sampai 44,39 menit.
- § Lamanya matahari bersinar bervariasi dalam setahun antara 11 jam 32 menit sampai 12 jam 28 menit.
- § Matahari lebih banyak berada di utara kota Malang yaitu selama 223 hari atau sebesar 61% dalam setahun, sisanya 39 % atau 142 hari berada di selatan.
- § Posisi matahari tegak lurus permukaan horisontal terjadi pada tanggal 2 Maret dan 11 Oktober.

DAFTAR PUSTAKA

- Duffie, John A., William A. Beckman, 1991, **Solar Engineering of Thermal Processes**, John Willey and Son, Inc, New York, pp 3-44.
- Shukatme, S.P.,1990, **Solar Energy, Principles of Thermal Collection and Storage**, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, Bombay.