

Studi Arkeastronomi: Kesegarisan Candi-Candi di Jawa Tengah dengan Objek Langit

Nurul Aini^{1,a)}, Aprilia^{2,b)}, dan Evan I. Akbar^{3,c)}

¹Program Studi Astronomi,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

² Program Studi Astronomi,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

³ Program Studi Astronomi,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

^{a)} nrulaini15@gmail.com (corresponding author)

^{b)} aprilialia@as.itb.ac.id

^{c)} evan.akbar@gmail.com

Abstrak

Arkeoastronomi merupakan ilmu yang mempelajari pengetahuan manusia jaman dahulu tentang benda langit melalui peninggalan artefak, bangunan, dan budaya. Salah satu praktek arkeoastronomi adalah menjelaskan kesegarisan bangunan dengan posisi benda langit. Beberapa penelitian telah membuktikan bahwa candi di Jawa tengah, seperti candi Prambanan, Borobudur, Kalasan, Sewu, dan Pawon memiliki kesegarisan dengan objek yang ada di langit (Matahari dan/atau Bulan). Dalam penelitian ini, dicari kesegarisan candi-candi yang ada di Jawa Tengah dengan cara menghitung deklinasi dari arah hadap candi. Dari perhitungan deklinasi candi pada nilai ketinggian horison untuk objek langit saat terbit dan/atau terbenam didapatkan 12 dari 32 deklinasi candi di Jawa Tengah memiliki kesegarisan dengan equinox, winter solstice dan zenith passage Matahari. Selain itu, kemungkinan kesegarisan dicari dengan melakukan perhitungan deklinasi arah hadap candi pada berbagai ketinggian (0° - 90°). Berdasarkan hasil tersebut, 6 dari 20 candi yang ada di Jawa Tengah pada ketinggian hampir zenith passage memiliki kesegarisan dengan Matahari.

Kata-kata kunci: arkeoastronomi, candi, orientasi, kesegarisan

PENDAHULUAN

Pada zaman kuno, orang hanya mengamati objek langit menggunakan mata telanjang. Hasil dari pengamatan yang dilakukan astronom kuno diterapkan pada bangunan-bangunan arsitektur yang didirikan pada zamannya untuk menandakan pengamatan yang dilakukan. Oleh karena itu, untuk mempelajari aspek bangunan arsitektur pada zaman dahulu dari segi hubungannya dengan astronomi, maka kita harus mengamati objek langit yang terlihat menggunakan mata telanjang pada zamannya dari permukaan Bumi, seperti orang zaman dahulu melihat dan/atau mempelajari gerak dari objek-objek yang ada di langit.

Bangunan-bangunan kuno atau suci yang berada di berbagai negara (Mesir, Yunani, Kamboja (Asia Tenggara), dll) memiliki kesegarisan dengan objek-objek Astronomi. Ada kemungkinan bangunan yang berada di Indonesia, seperti candi di Jawa Tengah memiliki hubungan dengan objek astronomi. Candi di Jawa tengah yang telah diteliti dan memiliki kesegarisan dengan objek-objek astronomi adalah Candi Prambanan, Candi Borobudur, Candi Kalasan, Candi Sewu, dan Candi Pawon.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh arkeolog dari Belgia, Degroot (2009), candi-candi di Jawa Tengah dikelompokkan berdasarkan posisinya terhadap aliran sungai, agama, dan berdasarkan penyimpangan orientasi bangunan terhadap utara benar. Dari hasil pengelompokannya terhadap penyimpangan utara benar, dibuatlah

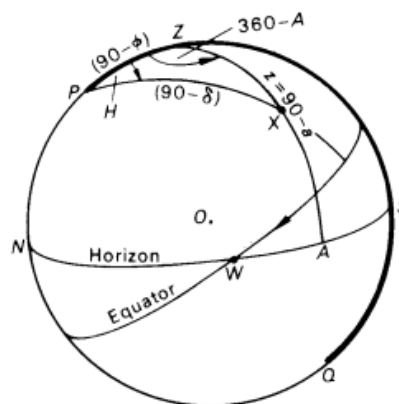
empat kelompok yang sesuai dengan derajat penyimpangannya. Hasil dari pengelompokan tersebut, ternyata ada peningkatan penyimpangan. Degroot merupakan seorang Arkeolog yang tidak memahami alasan dari penyimpangan orientasi bangunan-bangunan tersebut. Degroot berharap dengan kemajuan sains pada bidang astronomi dapat menjawab maksud dan/atau arti dari penyimpangan orientasi bangunan candi terhadap utara benar tersebut.

SISTEM KOORDINAT LANGIT

Bangunan kuno yang dibangun memiliki keterkaitan dengan fenomena langit, maka untuk mencari kaitan orientasi bangunan dan posisi benda langit yang tampak sekarang, dibutuhkan pengetahuan sistem koordinat langit. Sistem koordinat langit bertujuan untuk memetakan posisi objek di langit. Oleh karena itu, diperlukan sistem koordinat yang dapat memungkinkan seseorang untuk mengidentifikasi secara jelas posisi objek apa pun yang terlihat di langit (Magli, 2016). Ada tiga sistem koordinat langit yang relevan dengan studi arkeoastronomi yang akan dibahas, yaitu sistem koordinat horison, ekuatorial, dan ekliptika.

Sistem koordinat horison merupakan sistem koordinat yang memetakan posisi benda langit terhadap horison atau cakrawala pengamat, sehingga sistem koordinat ini bergantung pada lokasi dan waktu pengamatan. Lingkaran dasar utama disebut dengan bidang horison. Kutub-kutub lingkaran disebut Zenith yang berada tepat di atas kepala pengamat dan Nadir yang berlawanan arah dengan Zenith. Pada sistem koordinat horison, penentuan posisi objek dinyatakan dalam posisi azimuth yang biasanya diukur dari utara ke timur dan altitude yang diukur sebagai jarak sudut yang diukur dari bidang horison ke arah zenith.

Sistem koordinat yang kedua adalah sistem koordinat ekuatorial. Sistem ini mudah dipahami dengan membayangkan seperti mengukur garis lintang dan garis bujur sebuah titik objek di langit. Jarak sudut yang diukur dari khatulistiwa langit (ekuator langit) dengan objek disebut dengan deklinasi (Dec, δ), yang diukur ke arah kutub langit utara (P) bernilai positif dan ke arah kutub langit selatan (Q) bernilai negatif. Pengukuran deklinasi (Dec, δ) memiliki analogi seperti lintang. Kemudian analogi bujur disebut dengan asensiorekta (RA, α) yang diukur dari titik vernal equinox (merupakan titik potong ekuator dengan ekliptika) di sepanjang ekuator langit ke arah Timur atau berlawanan dengan arah jarum jam dilihat dari kutub langit Utara (P). Sistem koordinat ekuatorial sangat cocok untuk perhitungan dalam arkeoastronomi (Magli, 2016), karena memiliki keuntungan yang penting, salah satunya koordinat ini tidak bergantung pada lokasi pengamat. Pada perhitungan, biasanya data yang didapatkan adalah azimuth. Oleh karena itu, untuk bisa mendapatkan nilai deklinasi dari sebuah objek dengan azimuth tertentu, perlu dilakukan transformasi koordinat dengan menggunakan perumusan matematika dalam segitiga bola untuk menghubungkan kedua sistem tersebut. Transformasi koordinat dilakukan dengan menggambarkan segitiga bola dengan titik sudutnya adalah kutub langit utara (P), zenit (Z), dan objek langit (X).



Gambar 1. Transformasi koordinat horison-ekuatorial
 Sumber: Roy dan Clarke (2003)

Pada Gambar 1 terlihat segitiga PXZ, dengan ketiga sisinya yaitu PZ merupakan jarak zenit, PX, dan ZX yang dapat dihitung dengan hubungan:

$$\begin{aligned}
 PZ &= 90^\circ - \phi, & [1] \\
 PX &= 90^\circ - \delta, \text{ dan} & [2]
 \end{aligned}$$

$$ZX = 90^\circ - a. \tag{3}$$

Dengan menggunakan persamaan cosinus akan didapatkan persamaan

$$\cos PX = \cos PZ \cos ZX + \sin PZ \sin ZX \cos PZX \tag{4}$$

atau

$$\sin \delta = \sin \phi \sin \alpha + \cos \phi \cos \alpha \cos A. \tag{5}$$

dan akan didapatkan pula persamaan,

$$\cos A = \frac{\sin \delta - \sin \phi \sin \alpha}{\cos \phi \cos \alpha} \tag{6}$$

Koordinat yang ketiga adalah koordinat ekliptika. Sistem ini sangat baik jika digunakan untuk mempelajari pergerakan objek-objek pada Tata Surya. Bidang acuan dalam sistem koordinat ini adalah bidang ekliptika yang merupakan bidang orbit Bumi mengelilingi Matahari. Bidang ekliptika memiliki kemiringan sekitar 23,5°(dalam derajat), karena poros rotasi Bumi ketika mengitari Matahari miring terhadap orbitnya. Koordinat dalam sistem ini dinyatakan dalam lintang ekliptika dan bujur ekliptika.

Koreksi Posisi Sistem Koordinat Langit

Secara umum, ketika mengamati objek yang ada di langit, pengamatan yang dilakukan di Bumi terhadap suatu posisi objek mengalami beberapa efek yang membuat perhitungan perlu di koreksi agar bisa mendapatkan nilai yang sebenarnya (Roy dan Clarke, 2003). Beberapa koreksi posisi yang digunakan adalah koreksi dari refraksi atmosfer yang membuat bintang terlihat menjadi lebih tinggi, koreksi ketinggian pengamat (angle of dip), presesi, dan bintang alam yang dapat mempengaruhi pandangan pengamat.

PENGOLAHAN DATA

Candi yang diteliti adalah candi di Jawa Tengah yang sudah diketahui penyimpangan orientasinya terhadap utara benar oleh Degroot (2009). Pemilihan *software Google Earth* sebagai metode perhitungan azimut, jarak dan ketinggian horison dari candi di Jawa Tengah akan di jelaskan pada subbab berikutnya. Candi yang dipilih dalam penelitian adalah 32 candi, dikarenakan resolusi yang diberikan oleh *software Google Earth* terhadap tiga candi lainnya masih memiliki resolusi yang tidak baik.

Pengambilan dan pengolahan data dalam penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengukur arah hadap dari sebuah candi, menggunakan *software Google Earth* dan berdasarkan literatur.
2. Mengukur azimut candi dengan menggunakan *software Google Earth*, sehingga didapatkan nilai azimut dalam satuan derajat.
3. Menghitung koreksi posisi untuk setiap arah hadap candi. Koreksi posisi yang dihitung adalah ketinggian pengamat (ketinggian bangunan candi), refraksi atmosfer, dan bintang alam (ketinggian horizon).
4. Menghitung deklinasi arah hadap candi yang dihitung dengan menggunakan Persamaan (5).
5. Menghitung koreksi posisi (efek presesi) objek-objek di langit pada masa pembangunan candi.
6. Mencocokkan deklinasi arah hadap sebuah candi dengan deklinasi objek langit untuk melihat apakah ada kesesuaian arah hadap bangunan.
7. Setelah semua data yang diperlukan lengkap, dibuat plot untuk deklinasi arah hadap candi dan deklinasi objek yang ada di langit. Setelah itu dilakukan analisis terhadap plot yang telah didapatkan tersebut.

Software Google Earth

Google Earth merupakan program pemetaan Bumi yang dikumpulkan dari pemetaan oleh satelit, fotografi udara, dan globe GIS (Sistem Informasi Geografis) 3D. Menurut Magli (2016), pengambilan data

arkeoastronomi dapat menggunakan beberapa instrumen termasuk *Google Earth*. Selain itu, dari referensi menyebutkan *Google Earth* memiliki akurasi yang cukup baik. *Google Earth* merupakan salah satu virtual globe *software* yang dapat digunakan untuk mengukur azimut, jarak, dan altitude bangunan, yang dapat diterapkan terhadap candi-candi di Jawa Tengah.

Pengambilan data yang dilakukan oleh penulis dengan menggunakan *Google Earth*, dilakukan pengukuran azimut candi lebih dari 400 kali. Pengukuran setiap azimut candi dilakukan berulang kali di berbagai bagian candi dan/atau kompleks candi. Selain itu, penulis melakukan pengukuran berulang kali untuk meminimalkan sudut pengambilan data oleh satelit yang mengumpulkan data untuk citra *Google Earth*. Pengambilan data yang dilakukan oleh penulis dengan menggunakan *Google Earth* dalam rentang waktu delapan tahun, yaitu dari tahun 2010 hingga 2017, dengan jumlah pengukuran total sebanyak sepuluh hingga lima belas kali. Nilai eror yang digunakan untuk analisis dan perhitungan adalah $0,58^\circ$ untuk candi dengan resolusi jelas dan $1,43^\circ$ untuk resolusi buram.

Daftar Objek Langit

Pada penelitian ini, objek langit yang digunakan untuk penentuan kesegarisan orientasi candi-candi yang dipilih berdasarkan referensi objek langit yang biasa digunakan dalam penelitian arkeoastronomi. Selain itu, daftar objek di langit yang gunakan diambil dari Bright Star Catalog (Hoffleit dan Warren (1991), Harvard Revised Bright Star Catalogue, 5th Edition). Bintang-bintang yang diambil merupakan bintang yang memiliki magnitudo yang terang. Daftar bintang tersebut ditampilkan pada Tabel 1, bintang-bintang tersebut digunakan untuk mencari kemungkinan kesegarisan deklinasi candi dengan objek di langit.

Tabel 1. Daftar objek di langit berupa Matahari, Bulan, dan bintang yang diambil dari Bright Star Catalog

No	Nama Objek Langit	Deklinasi (abad 8)	m_v	No	Nama Objek Langit	Deklinasi (abad 8)	m_v
1	Diphda	-24,6	2,0	37	Porrina	5,1	2,7
2	Wezen	-24,4	1,8	38	Cebalrai	5,1	2,8
3	Antares	-23,8	1,0	39	Bellatrix	5,3	1,6
4	Matahari (<i>winter solstice</i>)	-23,5		40	Altair	5,8	0,8
5	Alniyat	-22,8	2,9	41	Betelgeuse	7,3	0,6
6	Nihal	-21,7	2,8	42	Tarazed	7,6	2,7
7	Deneb Algedi	-21,7	2,9	43	Procyon	8,0	0,4
8	Dschubba	-19,3	2,3	44	Algenib	8,5	2,8
9	Arneb	-18,6	2,6	45	Markab	8,7	2,5
10	Bulan (<i>lunar minor standstill</i>)	-18,5		46	Unukalhai	10,1	2,6
11	Mirzam	-17,3	2,0	47	Gomeisa	10,8	2,9
12	Gamma Hydrae	-16,9	3,0	48	Deneb el Okab	12,0	3,0
13	Zaurak	-16,9	3,0	49	Rasalhague	13,3	2,1
14	Kraz	-16,8	2,7	50	Aldebaran	14,1	0,9
15	Graffias	-16,6	2,6	51	Sheratan	14,9	2,6
16	Sirius	-15,4	-1,5	52	Vindemiatrix	17,4	2,9
17	Sabik	-14,3	2,4	53	Alhena	17,5	1,9
18	Zubelgenubi	-11,1	2,6	54	Hamal	17,8	2,0
19	Sadalsuud	-10,9	2,9	55	Regulus	17,9	1,4
20	Gienah Ghurab	-10,8	2,6	56	Bulan (<i>Lunar minor standstill</i>)	18,5	
21	Algorel	-9,9	2,9	57	Alcyone	20,4	2,9

22	Rigel	-9,5	0,2	58	Alheka	20,5	3,0
23	Han	-8,2	2,5	59	Denebola	21,3	2,1
24	Matahari (<i>zenith passage</i>)	-7,6		60	Scheat	21,6	2,4
25	Kursa	-6,6	2,8	61	Alpheratz	22,4	2,1
26	Sadalmelik	-6,2	3,0	62	Matahari (<i>summer solstice</i>)	23,5	
27	Zubeneschamali	-5,0	2,6	63	Matar	23,9	2,9
28	Spica	-5,0	1,0	64	Kornephoros	24,1	2,8
29	Alphard	-3,4	2,0	65	Muphrid	24,3	2,7
30	Alnitak	-2,5	1,8	66	Arcturus	24,7	-0,1
31	Alnilam	-1,9	1,7	67	Albireo	25,4	2,9
32	Mintaka	-1,1	2,3	68	Algieba	25,9	2,0
33	Yed Prior	-0,7	2,7	69	Zosma	27,0	2,6
34	Menkar	-0,6	2,5	70	Elnath	27,6	1,7
35	Matahari (<i>equinox</i>)	0,0		71	Zeta Persei	28,4	2,8
36	Enif	4,4	2,4	72	Bulan (<i>Lunar major standstill</i>)	28,5	

HASIL PERHITUNGAN DAN ANALISIS DATA

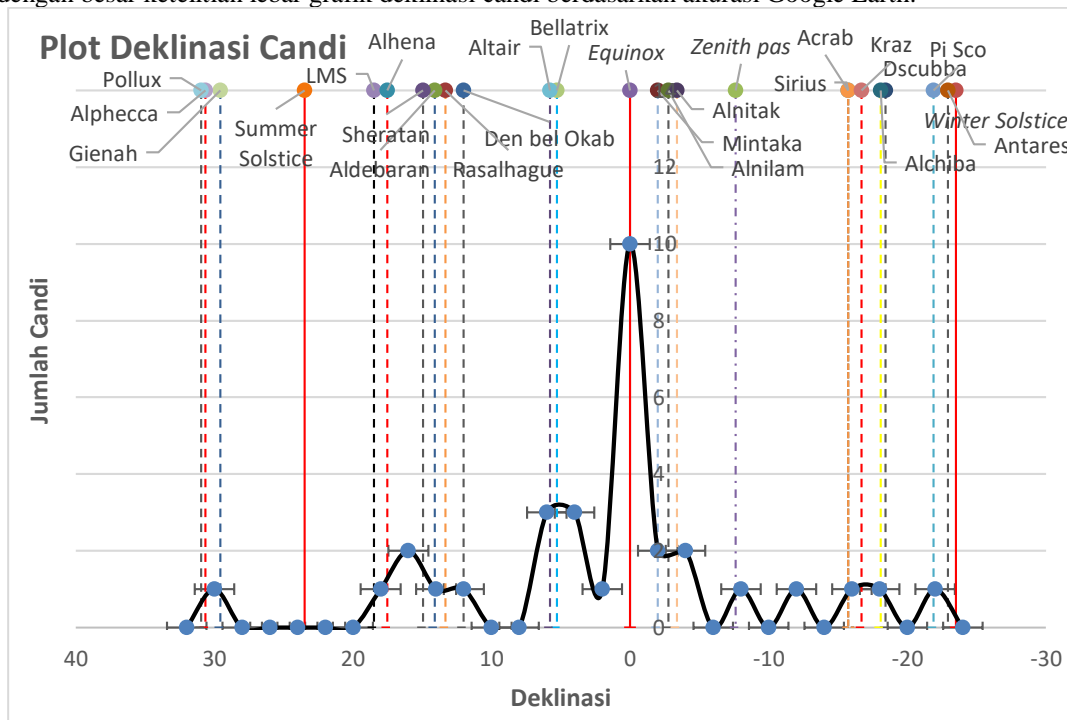
Data yang didapatkan dengan menggunakan *software Google Earth* adalah data azimut dan ketinggian horison untuk setiap candi. Berdasarkan data tersebut dan dengan memasukkan parameter lintang dari setiap candi menggunakan Persamaan (5), didapatkan deklinasi untuk setiap candi. Data hasil perhitungan deklinasi candi diberikan pada tabel berikut.

Tabel 2. Nilai deklinasi candi di Jawa Tengah dengan memasukkan faktor ketinggian horison dan refraksi, menggunakan perhitungan azimut yang didapatkan dari *Google Earth*

Nama Candi	Lintang (°)	Ketinggian Horison (°)	Ketinggian Horison Dan Efek Refraksi (°)	Azimut (°)	Deklinasi Candi (°)
Asu	-7,53	0,38	0,97	269,23	0,57
Banyunibo	-7,78	0,48	1,07	269,59	0,26
Barong	-7,78	0,51	1,09	269,34	-0,81
Borobudur	-7,61	1,25	1,66	90,19	-0,41
Bubrah	-7,75	0,44	1,04	90,65	-0,78
Gedong Songo I	-7,21	1,33	1,74	269,16	-1,06
Ijo	-7,78	0,40	0,99	268,84	1,02
Loro Jonggrang	-7,75	0,43	1,02	90,65	-0,78
Ngempon	-7,19	-0,01	0,58	91,47	-1,54
Plaosan Kidul	-7,74	0,89	1,48	267,02	-3,15
Sambisari	-7,76	0,90	1,49	267,70	2,07
Sari	-7,76	0,48	1,07	90,35	-0,49
Sewu	-7,74	0,47	1,06	90,28	-0,42
Sojiwan	-7,76	0,63	1,22	268,42	-1,73
Arjuna	-7,21	0,26	0,84	263,34	6,49
Dwarawati	-7,20	0,04	0,63	264,68	5,20

Gatokaca	-7,21	0,06	0,66	264,64	5,24
Gedong Songo II	-7,20	0,98	1,57	261,99	-8,15
Kalasan	-7,77	0,41	0,99	94,58	4,40
Lumbang (prambanan)	-7,75	0,64	1,23	94,92	4,70
Plaosan Lor	-7,74	0,73	1,32	265,60	-4,54
Selogriyo	-7,42	2,06	2,37	94,69	4,34
Bima	-7,21	4,73	4,92	102,54	11,76
Gebang	-7,75	0,56	1,15	102,44	-12,48
Gedong Songo III	-7,20	1,42	1,83	254,20	15,43
Gedong Songo IV	-7,20	1,42	1,83	255,75	13,89
Gunung Wukir	-7,63	0,26	0,85	105,88	-15,86
Merak	-7,67	0,04	0,63	105,48	15,25
Mendut	-7,60	1,26	1,67	240,13	29,32
Ngawen	-7,60	2,00	2,32	111,14	-21,26
Pawon	-7,61	0,08	0,67	251,63	18,11
Pendem	-7,53	-0,02	0,58	251,86	-18,06

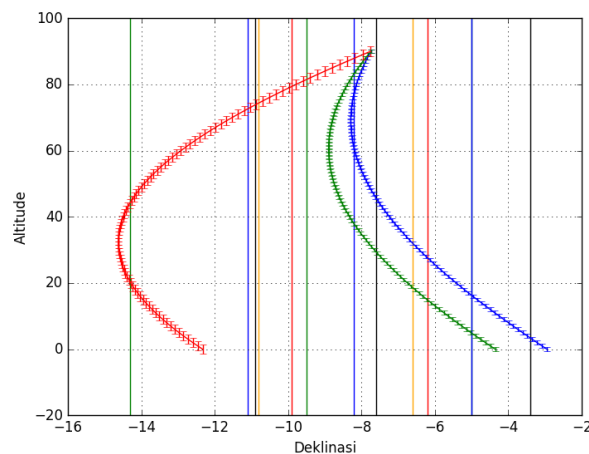
Berdasarkan nilai deklinasi candi yang didapatkan pada Tabel 2 (deklinasi yang telah dikoreksi), dibuatlah plot untuk menunjukkan kesegaran deklinasi candi dengan deklinasi objek langit, yaitu Gambar 2. Sumbu x menunjukkan deklinasi candi yang telah dikoreksi oleh berbagai faktor koreksi. Sumbu y menunjukkan jumlah candi dengan besar ketelitian lebar grafik deklinasi candi berdasarkan akurasi Google Earth.



Gambar 2. Deklinasi orientasi bangunan candi dan objek langit.

Selanjutnya, dengan menggunakan perangkat lunak pemrograman *python*, nilai deklinasi dihitung untuk semua ketinggian mulai dari 0° hingga 90°. Untuk mengecek atau mengetahui hubungan kesegaran bangunan

pada berbagai *altitude* dengan deklinasi objek di langit. Salah satu hasil plot deklinasi orientasi bangunan candi pada berbagai ketinggian dengan deklinasi objek atau fenomena langit ditampilkan pada Gambar berikut.



Gambar 3. Nilai deklinasi orientasi bangunan candi pada berbagai ketinggian (3). Keterangan: Plaosan Kidul (biru), Plaosan Lor (hijau), dan Gebang (merah). Garis vertikal menunjukkan objek bintang (dari kanan ke kiri) pada Tabel 1 no 17-29.

Dari hasil pengolahan data menggunakan *software Google Earth* didapatkan berbagai plot dan tabel yang menunjukkan kesegarisan bangunan dengan objek di langit yang ditunjukkan salah satunya pada Gambar 2 dan Gambar 3.

Hasil menarik dari Gambar 2 adalah 12 dari 32 deklinasi candi di Jawa Tengah pada nilai ketinggian horison untuk objek langit saat terbit dan/atau terbenam memiliki kemungkinan kesegarisan dengan Matahari, yaitu ketika *equinox*, *winter solstice* dan *zenith passage* Matahari. Candi tersebut adalah Candi Borobudur, Loro Jonggrang, Asu, Banyunibo, Sewu, Sari, Bubah, Barong, Gedong Songo I, Ijo, Gedong Songo II, dan Ngawen. Terlihat juga kemungkinan kesegarisan dengan objek langit lainnya. Candi yang berhubungan dengan Matahari ketika *equinox* ada 10, yaitu Candi Borobudur, Loro Jonggrang, Asu, Banyunibo, Sewu, Sari, Bubah, Barong, Gedong Songo I, dan Ijo. Candi yang berhubungan dengan Matahari ketika *zenith passage* adalah Candi Gedong Songo II. Candi yang berhubungan dengan Matahari ketika *winter solstice* adalah Candi Ngawen.

Selain menghitung deklinasi candi di Jawa Tengah pada nilai ketinggian dekat horison, untuk mencari tahu kesegarisan dari candi-candi yang tidak memiliki kesegarisan dengan Matahari pada ketinggian dekat horison, penulis menghitung deklinasi candi pada berbagai ketinggian, yaitu ketinggian 0° hingga 90° . Plot dari deklinasi orientasi bangunan candi di Jawa Tengah pada berbagai ketinggian ditunjukkan salah satunya oleh Gambar 3. Berdasarkan plot tersebut didapatkan kesegarisan deklinasi candi dengan berbagai objek di langit. Hal yang menarik adalah 6 dari 20 candi yang di Jawa Tengah pada ketinggian hampir *zenith passage* memiliki kesegarisan dengan Matahari. Candi yang berhubungan dengan Matahari pada ketinggian hampir *zenith passage* adalah Candi Pendem, Kalasan, Merak, Lumbang (Perambanan), Mendut, dan Pawon.

KESIMPULAN

Candi yang diteliti adalah candi di Jawa Tengah yang sudah diketahui penyimpangan orientasinya terhadap utara benar oleh Degroot (2009). Candi-candi tersebut dibangun pada abad ke-8 hingga abad ke-10. Secara umum dapat disimpulkan beberapa hal dari analisis yang telah dilakukan. (1) Pengukuran ketinggian horison, azimut dan deklinasi orientasi candi-candi di Jawa Tengah dilakukan menggunakan data dari perhitungan *software Google Earth*. Ketinggian horison yang digunakan pada perhitungan deklinasi candi, dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu bentang alam, angle of dip atau kedalaman ufuk, presesi, dan refraksi atmosfer. (2) Dari perhitungan deklinasi candi pada nilai ketinggian horison untuk objek langit saat terbit dan/atau terbenam didapat 12 candi memiliki kemungkinan kesegarisan dengan *equinox*, *winter solstice* dan *zenith passage* Matahari. (3) Dari perhitungan deklinasi orientasi bangunan candi pada berbagai ketinggian (0° - 90°) didapat 6 candi yang memiliki kesegarisan dengan Matahari pada ketinggian hampir *zenith passage*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam penulisan makalah ini.

REFERENSI

1. Ammarell, G. 1996. The Planetarium and Plough: Interpreting Star Calendar of *Rual Java*. *Archaeoastronomy* **XII-XIII**, 320-335.
2. Aveni, A. F. 2003. Archaeoastronomy in the Ancient Americas. *Journal of Archaeological Research* **11**, 149-191.
3. Aveni, A. F. 1981. "Archaeoastronomy", dalam M.B Schiffer (ed.), *Advances in*
4. *Archaeological Method and Theory*. Academic Press. New York.
5. Belmonte, J. A., dkk. 2010. On the orientation of ancient egyptian temples: (5) testing the theory in middle egypt and sudan. *History of Astronomy* **41**, 65-94.
6. Belmonte, J. A., M. Shaltout, dan M. Fekri. 2009. "Astronomy, landscape and symbolism: a study on the orientations of ancient Egyptian temples" dalam "In search of cosmic order, selected essays on Egyptian archaeoastronomy" diedit oleh J.A. Belmonte dan M. Shaltout (Kairo: Supreme Council of Antiquities Press, 2009). 213.
7. Belmonte, J. A. dan Edwards E. 2011. Archaeoastronomy archaeology, topography and celestial landscape – From the Nile to Rapa Nui. Highlights of Spanish Astrophysics VI, Prosiding dari the IX Scientific Meeting of the Spanish Astronomical Society (SEA). 786-796.
8. Budiwati, A. 2016. Tongkat Istiwa', *Global Positioning System (Gps)* dan *Google Earth* untuk Menentukan Titik Koordinat Bumi dan Aplikasinya dalam Penentuan Arah Kiblat. *Al-Hikam* **26**, 65-92.
9. Daldjoeni, N. dan Bambang, H. 1987. Astronomical aspects of "pranotomongso" of the 19th century *Central Java*. In G. Swarup, A.K. Bag, K.S. Shukla. *History of Oriental Astronomy. Proceedings of an International Astronomical Union Colloquium, No. 91, New Delhi, India, 13-16 November, 1985, Cambridge/New York, Cambridge University Press.* 249-252.
10. Degroot, V. M. Y. 2009. Candi Space and Landscape: A Study on the Distribution, Orientation and Spatial Organization of Central Javanese Temple *Remains*. Disertasi. Leiden University.
11. Degroot, V. M. Y. dan M. J. Klokke. 2010. *Interrelationships Among Central Javanese Temples: The Example of Asu, Lumbang, and Pendem*. *Archipel* **80**, 45-47.
12. Hannah, R., G. Magli, dan A. Orlando. 2017. *Understanding the meaning of Greek temples' orientations*. *Journal of Cultural Heritage* 18.
13. Hariawang, I. 2010. *Aspek Astronomi dalam Candi Borobudur*. Tugas Akhir. Institut Teknologi Bandung.
14. Hapsoro, E. L. 1986. Arah-Hadap Candi: Analisis Pendahuluan Tentang Kronologi Candi Melalui Pendekatan Astroarkeologi. Skripsi. Universitas Indonesia.
15. Kelley, D.H. dan E.F. Milone. 2011. *Exploring Ancient Skies: an Encyclopedic Survey of Archaeoastronomy*. Springer, New York.
16. Khairunnisa, S. A. 2014. Mandala dan Kesegaran Astronomi di Candi Prambanan. Tugas Akhir. Institut Teknologi Bandung.
17. Koufos S. dan E. Chatzichristou. 2017. Archaeoastronomy as a Tool for Understanding *Celestial Phenomena*. *European Planetary Science Congress* **11**, 142.
18. Magli, G. 2016. *Archaeoastronomy: Introduction to the Science of Stars and Stones*. Springer International Publishing. Switzerland.
19. Mohammed, N. Z., A. Ghazi dan H. E. Mustafa. 2013. *Positional Accuracy Testing of Google Earth*. *International Journal Of Multidisciplinary Sciences And Engineering* **4**, 6-9.
20. Nafilyan, G. 1969. Angkor Vat, Description Graphique du Temple. Ecole Française d'Extrême-Orient, Paris.
21. Nikeu, N. 2014. Candi Prambanan dari Sudut Pandang Arkeoastronomi. Tugas Akhir. Institut Teknologi Bandung.
22. Polcaro A. dan V.F. Polcaro. 2009. Man and sky: problems and methods of *archaeoastronomy*. *Archeologia e Calcolatori* **20**, 223-245.
23. Roesmanto, T. 2011. "Keletakan Candi Borobudur dan Candi Sekitarnya", dalam Tony Djubiantono, dkk, 100 Tahun Pascapemugaran Candi *Borobudur*. Balai Konservasi Peninggalan Borobudur. Magelang.

24. Roy, A. E., dan D. Clarke. 2003. *Astronomy Principles and Practice*, Fourth Edition. IoP Publishing. Bristol dan Philadelphia.
25. Samingoen, S. 1977. "Tinjauan Seni Bangunan Purbakala", dalam Sutajmi
26. Satari dkk. (ed.), *Seminar Arkeologi*. Pusat Penelitian Purbakala dan dan Peninggalan Nasional, 11-33.
27. Shaltout, M., dan J. A. Belmonte. On the orientation of ancient Egyptian temples: (1) Upper Egypt and lower Nubia. *History of Astronomy* **36**, 273-298.
28. Stencel, R., F. Gifford, dan E. Morón. 1976. *Astronomy and Cosmology at Angkor Wat*. *Science*, 193, 281-287.