

Akurasi Penentuan Altitude dan Azimuth Bulan Saat Gerhana Bulan Total 26 Mei 2021 di OASA UINSA Surabaya

N Sopwan^{1,2,a}, M M Dzulkrom¹, C A Salam¹, M S Baidlowi¹, A Solikin¹, N Ulinnuha⁴, Sam'un³, N Musyafaah^{2,3}

¹Prodi Ilmu Falak, Fakultas Syariah dan Hukum UIN Sunan Ampel Surabaya

²Laboratorium Fakultas Syariah dan Hukum UIN Sunan Ampel Surabaya

³Fakultas Syariah dan Hukum UIN Sunan Ampel Surabaya

⁴Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Ampel Surabaya

^asopwan@uinsby.ac.id

Abstract. Dilakukan pengukuran altitude dan azimuth Bulan saat Gerhana Bulan Total 26 Mei 2021 di Observatorium Astronomi Sunan Ampel (OASA) Fakultas Syariah dan Hukum UIN Sunan Ampel Surabaya menggunakan alat theodolith. Altitude dan Azimuth merupakan posisi benda langit pada koordinat horizontal. Hasil pengukuran dibandingkan dengan perhitungan posisi Bulan menggunakan algoritma Meeus. Kesalahan rata-rata hasil pengukuran dengan perhitungan sebesar $0^{\circ} 04'$ pada altitude dan $1^{\circ} 22'$ pada azimuth. Hasil ini memperlihatkan bahwa pengukuran pada arah altitude memiliki presisi yang baik, sedangkan pengukuran pada arah azimuth perlu penyesuaian posisi arah utara sejati yang lebih presisi.

1. The first section in your paper (Pendahuluan)

Dalam sistem koordinat horizontal (SKH), posisi Bintang, Bulan, Matahari, dan benda langit lainnya digambarkan dalam azimuth dan altitude (Gambar 1). Azimuth adalah bujur SKH, yang diukur dari arah Utara ke posisi benda langit sepanjang horizon melewati arah timur. Altitude adalah tinggi benda langit dari bidang horizon. Altitude bernilai positif (+) untuk diatas bidang horizon, dan negatif (-) untuk dibawah bidang horizon [1]. Bidang horizon merupakan bidang yang menjadi tempat berpijaknya pengamat. Setiap lokasi dipermukaan Bumi memiliki bidang horizon masing-masing. Bidang horizon sangat dipengaruhi oleh lintang pengamat dipermukaan Bumi.

Akurasi posisi benda langit menjadi perhatian umat manusia seiring dengan perkembangan pemahaman manusia akan alam semesta. Zaman kuno mengandalkan posisi Bintang untuk penentuan arah dalam perjalanan. Posisi benda langit juga menginspirasi manusia akan pemahaman zodiak, baik untuk kepentingan ilmu pengetahuan atau pun ramalan nasib seseorang.

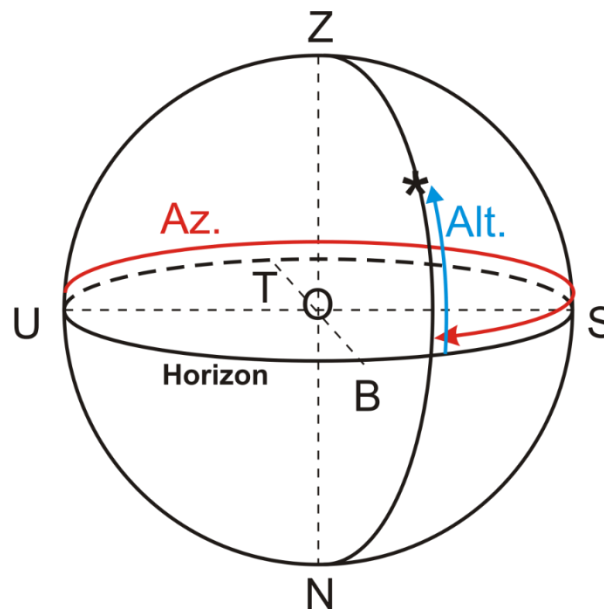
Altitude dan azimuth Bulan menjadi parameter yang krusial dalam sistem kalender Islam. Posisi Bulan dan Matahari harus memiliki nilai minimal tertentu agar dapat teramati atau acuan untuk pergantian bulan yang disebut dengan kriteria visibilitas hilal. Indonesia mengadopsi kriteria MABIMS untuk pergantian awal bulan dalam kalender Islam. Dalam kriteria MABIMS, tinggi Bulan 2 derajat, elongasi Bulan dan Matahari 3 derajat, dan/atau umur Bulan 8 jam menjadi syarat minimal untuk pergantian bulan. Ketiga syarat tersebut dihitung saat Matahari terbenam. Tinggi dan elongasi Bulan

saat Matahari terbenam dalam kriteria MABIMS merupakan parameter yang menggambarkan kedudukan Bulan dilangit saat Matahari terbenam [9].

Sistem kalender merupakan wujud dari pemahaman manusia akan posisi dan gerak benda langit. Panjang tahun diketahui karena manusia memahami posisi Matahari yang berulang terhadap bintang-bintang latar belakang dalam periode hampir 365 hari. Panjang satu bulan diketahui dari penampakan bulan dilangit yang dikenal dengan fase-fase Bulan. Gerhana akan berulang dalam 232 periode sinodis Bulan yang dikenal dengan siklus Saros. Semua pemahamann tersebut dapat dipahami karena manusia dapat mengikuti perubahan posisi benda langit secara akurat [6].

Saat ini pemahaman akurasi posisi benda langit dapat terlihat dari beragamnya algoritma-algoritma perhitungan posisi benda langit. Kita mengenal metode Brown, Meeus, VSOP, INPOP, DEA, dan metode lainnya. Akurasi perhitungan posisi dari algoritma perhitungan tadi bisa mencapai detik busur, ataupun lebih kecil dari detik busur.

Akurasi perhitungan benda langit dapat kita ketahui jika kita membandingkan langsung dengan posisi benda langit pada setiap saat. Kita dapat melakukan pengukuran dengan menggunakan alat bantu, salah satunya theodolith. Dengan melakukan perbandingan hasil perhitungan dengan pengamatan kita dapat mengetahui akurasi suatu perhitungan terhadap realita sebenarnya. Sebaliknya kita bisa meningkatkan metode pengamatan posisi benda langit untuk mendapatkan hasil dengan akurasi yang sangat presisi.



Gambar 1. Sistem koordinat horizontal (SKH). Az.: Azimut, Alt.: Altitude (tinggi) Z: Zenit, N: Nadir U: Utara, S: Selatan T: Timur, B: Barat

2. Metode

Dilakukan pengukuran altitude dan azimuth Bulan saat Gerhana Bulan Total 26 Mei 2021 di Observatorium Astronomi Sunan Ampel (OASA) Fakultas Syariah dan Hukum UIN Sunan Ampel Surabaya menggunakan alat theodolith. OASA berada dilingkungan kampus UINSA dengan posisi geografis 7°19'23,2" Lintang Selatan 112°44' Bujur Timur dan ketinggian 40meter dari permukaan laut. OASA berada di rooftop lantai 10 gedung twintower B pascasarjana UINSA Surabaya.

Theodolith merupakan peralatan yang digunakan untuk menentukan tinggi dan azimuth suatu benda langit pada system koordinat horizon (Gambar 2). Theodolith membaca jarak zenith dan azimuth dalam pengukuran menggunakan satuan derajat, menit busur, dan detik busur (Gambar 3). Tinggi benda langit memenuhi hubungan seperti persamaan 1[10].

$$\text{Altitude} = 90 - \text{Jarak Zenit} \quad \dots (1)$$

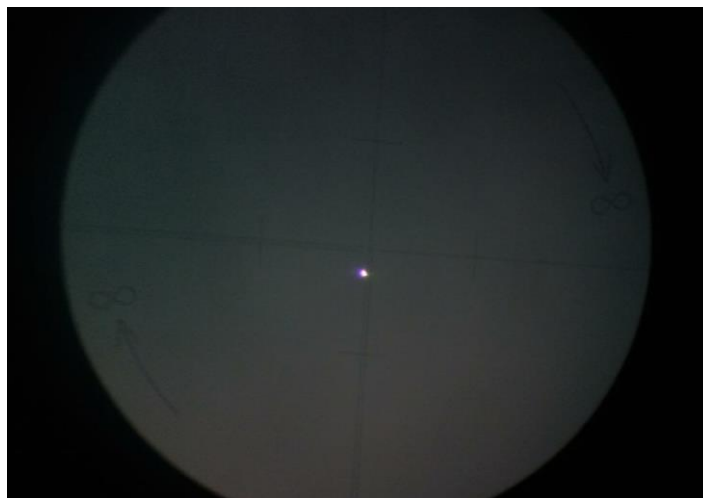
Besaran jarak zenith yang terukur merupakan besaran ada di baris bagian atas, sedangkan besaran azimuth yang terukur merupakan besaran yang ada di baris bagian bawah (Gambar 3). Nilai perubahan Jarak zenith dan azimuth terkecil yang dapat dideteksi theodolite adalah 1" (satu detik busur). Jarak zenith pada theodolite memiliki acuan bidang horizon kedataran kedudukan teleskop yang digunakan untuk membidik. Benda langit yang diukur harus berada tepat ditengah medan pandang teleskop theodolite (Gambar 4). Jika teleskop pada theodolite tepat mengarah ke Zenith, akan menunjukkan nilai 90°00'00", sedangkan jika teleskop pada theodolite tepat mengarah ke Horizon, akan menunjukkan nilai 00°00'00".



Gambar 2. Pengamatan menggunakan Theodolite



Gambar 3. Satuan sudut Jarak Zenith dan Azimuth yang Terukur pada Theodolite



Gambar 4. Tangkapan citra Venus pada medan pandang teleskop theodolith, beserta garis pemandu tengah medan pandang

Besaran jarak zimuth pada theodolite memerlukan penentuan arah Utara sejati secara presisi. Utara sejati akan dijadikan patokan nilai azimuth $00^{\circ}00'00''$. Utara sejati bisa ditentukan menggunakan Kompas atau dengan menggunakan acuan benda langit lainnya yang sudah diketahui nilai azimuthnya. Pada penelitian ini, acuan utara sejati menggunakan azimuth Matahari. Penentuan Utara sejati dengan azimuth Matahari dilakukan pada sore hari ketika Matahari terlihat. Membidik teleskop theodolith ke Matahari tidak lupa menggunakan filter Matahari agar tidak merusak mata pengamat.

Gerhana Bulan Total 26 Mei 2021 berlangsung dari pukul 16.45 WIB sampai dengan 19.52 WIB [2]. Tanggal 26 Mei 2021 di kota Surabaya Bulan terbit pada jam 17.17 WIB, sedangkan Matahari Terbenam pada jam 17.18 WIB. Pada saat Matahari terbenam secara teroris Bulan sudah berada diatas horizon. Data posisi pertamakali tercatat pada pukul 18.00 WIB. Bulan belum terlihat pada jam 17.17 WIB – 17.59 WIB dikarena terhalang awan.

3. Data dan Analisa

Hasil pengukuran altitude dan azimuth Bulan saat Gerhana Bulan Total 26 Mei 2021 berlangsung disajikan pada tabel 1. Tabel 1 terdiri dari 10 kolom dan 26 baris. Kolom merupakan satuan yang diukur dan yang dihitung. Kolom 1 merupakan nomor dari jumlah pengukuran yang dilakukan. Pengukuran dilakukan sebanyak 26 kali dengan interval 5 menit. Kolom 2 merupakan jam dilakukan pengukuran. Zona waktu jam yang digunakan sesuai lokasi adala UT+7 atau Waktu Indonesia Barat (WIB). Kolom 3 – 5 merupakan data pengukuran posisi Bulan yang meliputi Azimuth Bulan (kolom 3), Altitude Bulan (Kolom 4), dan jarak zenit (Kolom 5).

Tabel 1. Hasil pengukuran dan perhitungan altitude dan Azimuth Bulan saat Gerhana Bulan Total 26 Mei 2021 di OASA FSH UINSA Surabaya

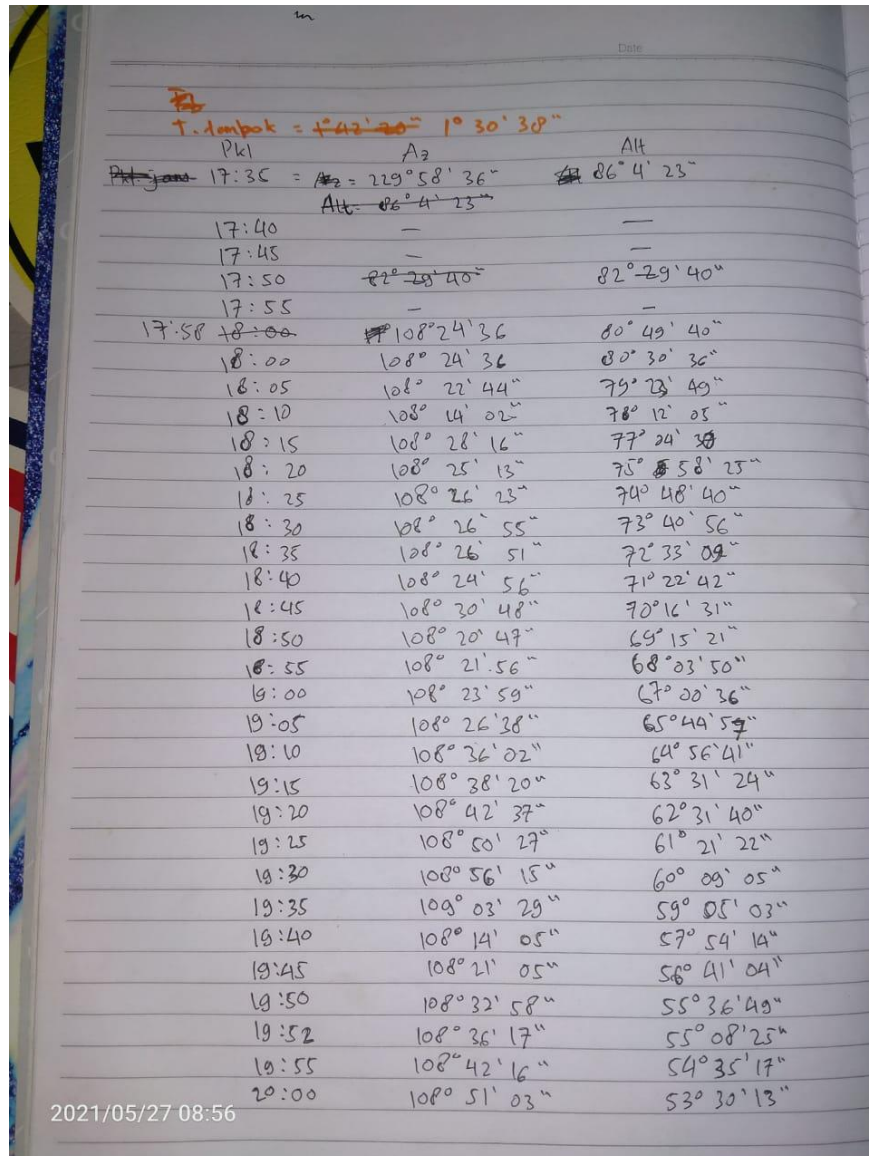
No	Jam	Data Pengukuran			Data Perhitungan			Selisih Azimut	Selisih Altitude
		Bulan (^o)							
		Azimut	Altitude	Jarak Zenit	Azimut	Altitude	Jarak Zenit		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	18:00	108,4100000	9,4900000	80,5100000	109,7777304	9,5969786	80,4030214	1,3677304	0,1069786
2	18:05	108,3788889	10,6030556	79,3969444	109,7179180	10,7111874	79,2888126	1,3390291	0,1081318
3	18:10	108,2338889	11,7986111	78,2013889	109,6661061	11,8276764	78,1723236	1,4322172	0,0290653

4	18:15	108,4711111	12,5916667	77,4083333	109,6223633	12,9460075	77,0539925	1,1512522	0,3543408
5	18:20	108,4202778	14,0263889	75,9736111	109,5867748	14,0658515	75,9341485	1,1664970	0,0394626
6	18:25	108,4397222	15,1888889	74,8111111	109,5594429	15,1869516	74,8130484	1,1197206	0,0019373
7	18:30	108,4486111	16,3177778	73,6822222	109,5404877	16,3091003	73,6908997	1,0918766	0,0086774
8	18:35	108,4475000	17,4494444	72,5505556	109,5300483	17,4321244	72,5678756	1,0825483	0,0173200
9	18:40	108,4155556	18,6216667	71,3783333	109,5282827	18,5558748	71,4441252	1,1127272	0,0657919
10	18:45	108,5133333	19,7247222	70,2752778	109,5353700	19,6802196	70,3197804	1,0220367	0,0445026
11	18:50	108,3463889	20,7441667	69,2558333	109,5515106	20,8050394	69,1949606	1,2051217	0,0608727
12	18:55	108,3655556	21,9361111	68,0638889	109,5769278	21,9302231	68,0697769	1,2113723	0,0058880
13	19:00	108,3997222	22,9900000	67,0100000	109,6118695	23,0556657	66,9443343	1,2121473	0,0656657
14	19:05	108,4438889	24,2508333	65,7491667	109,6566091	24,1812662	65,8187338	1,2127203	0,0695672
15	19:10	108,6005556	25,0552778	64,9447222	109,7114480	25,3069255	64,6930745	1,1108924	0,2516477
16	19:15	108,6388889	26,4766667	63,5233333	109,7767169	26,4325457	63,5674543	1,1378280	0,0441209
17	19:20	108,7102778	27,4722222	62,5277778	109,8527783	27,5580286	62,4419714	1,1425005	0,0858064
18	19:25	108,8408333	28,6438889	61,3561111	109,9400289	28,6832745	61,3167255	1,0991956	0,0393856
19	19:30	108,9375000	29,8486111	60,1513889	110,0389023	29,8081819	60,1918181	1,1014023	0,0404292
20	19:35	109,0580556	30,9158333	59,0841667	110,1498719	30,9326462	59,0673538	1,0918164	0,0168128
21	19:40	108,2347222	32,0961111	57,9038889	110,2734542	32,0565589	57,9434411	2,0387320	0,0395523
22	19:45	108,3513889	33,3155556	56,6844444	110,4102126	33,1798070	56,8201930	2,0588237	0,1357486
23	19:50	108,5494444	34,3863889	55,6136111	110,5607614	34,3022722	55,6977278	2,0113170	0,0841167
24	19:52	108,6047222	34,8597222	55,1402778	110,6249908	34,7510128	55,2489872	2,0202685	0,1087094
25	19:55	108,7044444	35,4119444	54,5880556	110,7257710	35,4238312	54,5761688	2,0213265	0,0118868
26	20:00	108,8508333	36,4963889	53,5036111	110,9059715	36,5443493	53,4556507	2,0551382	0,0479604
Rata-Rata Desimal								1,3698553	0,0724761
Rata-Rata Derajat								01°22'11"	00°04'21"

Kolom 6 – 8 merupakan data perhitungan posisi Bulan yang meliputi Azimuth Bulan (kolom 6), Altitude Bulan (Kolom 5), dan jarak zenit (Kolom 8). Perhitungan posisi Bulan menggunakan algoritma Meeus [4]. Perhitungan dilakukan pada perangkat lunak *spreadsheet Microsoft Excel* [3]. Kolom 9 merupakan selisih azimuth Bulan hasil pengukuran dan perhitungan. Kolom 10 merupakan selisih altitude Bulan hasil pengukuran dan perhitungan. Kolom 3 – 10 menggunakan satuan sudut derajat ($^{\circ}$). Dua baris terbawah diluar pengukuran merupakan nilai rata-rata dari selisih hasil pengukuran dan perhitungan dari azimuth dan altitude Bulan.

Tabel 1 bersumber dari catatan pengamatan pengamat (Gambar 2). Catatan pengukuran (Gambar 2) menuliskan posisi dalam satuan derajat, menit busur, dan detik Busur. Posisi Bulan pada tabel 1 menggunakan satuan sudut. Dilakukan konversi satuan sudut dari derajat, menit busur, dan detik busur menjadi satuan derajat [5].

Selisih azimuth maksimum 2,0588237(02°03'32") terjadi pada pengukuran jam 19.45, minimum 1,0220367 (01°01'19") terjadi pada pengukuran jam 18.45, dengan rata-rata 1,3698553 (01°22'11"). Selisih altitude maksimum 0,3543408 (00°21'16") terjadi pada pengukuran jam 18.15, minimum 0,0019373 (00°00'07") terjadi pada pengukuran jam 18.25, dengan rata-rata 0,0724761 (00°04'21").



	Pk1	A3	Alt
Pk1 17:35	Alt = 229° 58' 36"		Alt 86° 4' 23"
	Alt = 86° 4' 23"		
17:40			
17:45			
17:50	82° 29' 40"		82° 29' 40"
17:55			
17:58 18:00	108° 24' 36"		80° 49' 40"
18:00	108° 24' 36"		80° 30' 36"
18:05	108° 22' 44"		79° 23' 49"
18:10	108° 14' 02"		78° 12' 05"
18:15	108° 28' 16"		77° 24' 38"
18:20	108° 25' 13"		75° 58' 25"
18:25	108° 26' 23"		74° 48' 40"
18:30	108° 26' 55"		73° 40' 56"
18:35	108° 26' 51"		72° 33' 09"
18:40	108° 24' 56"		71° 22' 42"
18:45	108° 30' 48"		70° 16' 31"
18:50	108° 20' 47"		69° 15' 21"
18:55	108° 21' 56"		68° 03' 50"
19:00	108° 23' 59"		67° 00' 36"
19:05	108° 26' 38"		65° 44' 57"
19:10	108° 36' 02"		64° 56' 41"
19:15	108° 38' 20"		63° 31' 24"
19:20	108° 42' 37"		62° 31' 40"
19:25	108° 50' 27"		61° 21' 22"
19:30	108° 56' 15"		60° 09' 05"
19:35	109° 03' 29"		59° 05' 03"
19:40	108° 14' 05"		57° 54' 14"
19:45	108° 21' 05"		56° 41' 04"
19:50	108° 32' 58"		55° 36' 49"
19:52	108° 36' 17"		55° 08' 25"
19:55	108° 42' 16"		54° 35' 17"
20:00	108° 51' 03"		53° 30' 13"

Gambar 1. Catatan pengukuran altitude dan azimuth Bulan saat Gerhana Bulan Total 26 Mei 2021 di OASA FSH UINSA Surabaya

Perbandingan hasil pengukuran dan hasil pengukuran pada tabel 1 memperlihatkan bahwa selisih nilai pada pengukuran azimuth lebih besar dibandingkan dengan pengukuran altitude. Nilai selisih azimuth rata-rata sebesar $01^{\circ}22'11''$, bahkan mencapai maksimum $02^{\circ}03'32''$. Nilai selisih altitude memberikan hasil rata-rata $00^{\circ}04'21''$, bahkan mencapai nilai minimum $00^{\circ}00'07''$. Medan pandang pada teleskop theodolite pada gambar berkisar 3 kali piringan Bulan Purnama $\pm 1,5^{\circ}$ (Gambar 6). Gambar 6 memperlihatkan medan pandang teleskop theodolite dibandingkan dengan piringan Bulan satu hari sebelum terjadinya Gerhana Bulan Total 26 Mei 2021. Garis tengah pada Gambar 6 memperlihatkan titik tengah pengukuran posisi benda langit seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4. Piringan Bulan rata-rata memiliki diameter sudut sebesar $32'$ (32 menit busur) yang hamper setara dengan $0,5^{\circ}$. Hasil rata-rata penentuan altitude termasuk kedalam pengukuran yang akurat. Rata-rata altitude bergeser $04'21''$, bahkan mencapai minimum $07''$. Pengukuran dengan presisi memperlihatkan bahwa acuan ketinggian dengan theodolite termasuk kedalam pengukuran yang presisi.

	Tanggal	25/5/2021 Pukul 17:07:00	
	Hari Julian	2459359.922	
	Lintang	7° 13' 14.07" Selatan	
	Bujur	112° 47' 14.30" Timur	
	Ketinggian	10 Meter	
	Altitude	10° 44' 18"	
	Jarak Zenit	79° 15' 42"	
	Azimut	104° 41' 09"	

Gambar 2. Medan pandang teleskop theodolith pada pengukuran posisi Bulan 25 Mei 2021 jam 17.07 WIB

Hal yang sama tidak terjadi pada pengukuran azimuth. Nilai rata-rata pengukuran azimuth sebesar $01^{\circ}22'11''$ bisa dikatakan hampir mendekati batas medan pandang teleskop theodolith, bahkan selisih pengukuran maksimum mencapai $02^{\circ}03'32''$ jauh diluar medan pandang teleskop theodolith. Hal ini terjadi karena ada ketidak akuratan dalam penentuan arah Utara sejati yang dilakukan sebelumnya. Arah Utara sejati dilakukan sore hari menggunakan azimuth Matahari. Setelah azimuth Matahari dibidik dengan teleskop theodolith, selanjutnya utara sejati kita arahkan dengan menambahkan nilai putaran sampai azimuth mencapai nilai 360° dari nilai azimuth Matahari. Kemudian arah Utara sejati ditandai dengan bantuan garis dan spidol.

Pada saat Gerhana Bulan Total belum terlihat, dari jam 17.17 WIB – 17.59 WIB, theodolith sempat mengalami tidak berfungsi secara otomatis karena tidak digerakan dalam rentang waktu tertentu. Pada posisi ini bacaan pada Gambar 3 tidak memperlihatkan angka. Setelah Gerhana Matahari Total mulai akan terlihat mendekat 18.00, kalibrasi arah Utara sejati dilakukan berdasarkan penanda garis Utara sejati yang sudah dilakukan sebelumnya. Kemungkinan tidak berfungsi sejenak theodolith mempengaruhi akurasi dalam penentuan azimuth ini

4. Kesimpulan

Hasil pengukuran Azimuth dan Altitude Bulan saat Gerhana Bulan Total 26 Mei 2021 memperlihatkan bahwa pengukuran pada arah azimuth memiliki kesalahan pengukuran yang besar dibandingkan dengan pengukuran Altitude. Pengukuran azimuth menggunakan theodolith memerlukan referensi Utara sejati yang presisi untuk menghasilkan nilai azimuth yang presisi. Utara sejati bisa dilakukan dengan beragam metode agar mendapatkan data pengukuran yang beragam untuk diuji akurasinya. Metode lainnya untuk pengukuran Utara sejati bisa dibandingkan anatar Kompas manual dengan kompas digital.

Penentuan altitude memperlihatkan hasil pengukuran yang presisi, walaupun acuan yang digunakan theodolith hanya kedataran bisang dudukan teleskop theodolith. Kedataran dudukan theodolith menggunakan satu waterpass yang sudah terdapat pada theodolith. Pengukuran altitude ini tidak memerlukan metode bantu lainnya untuk referensi kedataran dudukan teleskop.

Pengukuran ini masih menggunakan theodolith yang mudah untuk dipindahkan. Untuk pengukuran azimuth dan altitude benda langit lainnya secara terus menerus dalam rentang waktu yang Panjang diperlukan theodolith yang dipasang secara permanen pada titik tertentu yang akan dijadikan sebagai titik pengukuran. Penggunaan titik pengukuran yang tetap akan memudahkan kita dalam melakukan penentuan Utara sejati dengan berbagai metode, dan tidak diperlukan kalibrasi ulang terhadap Utara sejati dan kedataran theodolith.

References

- [1] Roy A E dan Clarke D 2003 *Astronomy: Principles and Practice* 4th Edition (CRC Press)
- [2] Espenak F 2021 *Total Lunar Eclipse* Retrieved from <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/LEplot/LEplot2001/LE2021May26T.pdf>
- [3] Microsoft Excel 2021 *Microsoft Excel 365* Retrived from <https://www.microsoft.com/en->



SEMINAR NASIONAL FISIKA (SNF) 2021
“Adaptasi Baru dalam Pembelajaran dan Riset Fisika untuk Mewujudkan
Program Merdeka Belajar”
Surabaya, 18 Oktober 2021



us/microsoft-365/excel

- [4] Meeus J 1998 *Astronomical Algorithms*, 2nd edition (Wilmann-Bell Inc., Virginia)
- [5] Raharto M 2009 *J. Pengajaran Fis. Sekol. Menengah* **1 (1) 5**
- [6] Raharto M dan Sopwan N 2017 *Pros. Sem Nas Pendidikan IPA Pascasarjana UM* **2**
- [7] Raharto, M., Sopwan, N., Hakim, M.I. and Sugianto, Y., 2019 *J. Phy: Conf Ser* **1170 1 012080**
- [8] Sopwan, N., Raharto, M., 2019 *Conf Proc Simp. Nas. Inov Pembelajaran Sains* **165**
- [9] Sopwan N dan Raharto M 2017 *Sem Nas Pendidikan IPA* **2**
- [10] Smart W M 1977 dan Green R M *Textbook on Spherical Astronomy* (London: Cambridge University Press)