

Telaah Lintasan Harian Matahari dengan *Gnomon* Tegak di Kabupaten Ngawi

D. R. Saffira^{1*} dan E. Soegiartini¹

¹Program Studi Astronomi, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

*E-mail: dheasaffira98@gmail.com

ABSTRAK

Gnomon merupakan instrumen kuno astronomi untuk menentukan tinggi Matahari. *Gnomon* membentuk bayangan ketika terkena sinar Matahari. Bayangan *gnomon* sepanjang hari memproyeksikan lintasan harian yang ditempuh Matahari di langit dan lintasan tersebut berbeda untuk setiap hari. Penelitian ini menelaah lintasan harian Matahari dalam kurun waktu 29 Juli 2020 hingga 25 Juli 2021 di Kabupaten Ngawi pada koordinat $7^{\circ}24'07''$ LS, $111^{\circ}27'48''$ BT, dan ketinggian 166 mdpl. Digunakan 8 alat peraga yang tersusun dari papan datar berbahan eternit, *gnomon* berbahan plastik yang berdiri tegak menunjuk zenith, dan sellembar kertas pengamatan yang dipasang semi-permanen di atas papan datar. Pengamatan bayangan *gnomon* dilakukan dalam rentang pukul 08.00 WIB – 15.00 WIB. Titik-titik ujung bayangan *gnomon* ditandai setiap 30 menit pada kertas pengamatan. Kertas pengamatan yang berisi rekaman titik-titik tersebut diambil setelah beberapa hari pengamatan, kemudian dipindai. Perangkat lunak pengolah citra astronomi yang digunakan adalah IRIS untuk menentukan posisi titik-titik ujung bayangan *gnomon* yang terekam di kertas pengamatan dalam satuan piksel. Data posisi tersebut kemudian diolah dengan Microsoft Excel dan Python untuk menghasilkan kurva posisi ujung bayangan *gnomon*, kami peroleh kurva untuk 77 pengamatan dalam rentang waktu di atas.

Kata Kunci: *Gnomon* – IRIS – Matahari

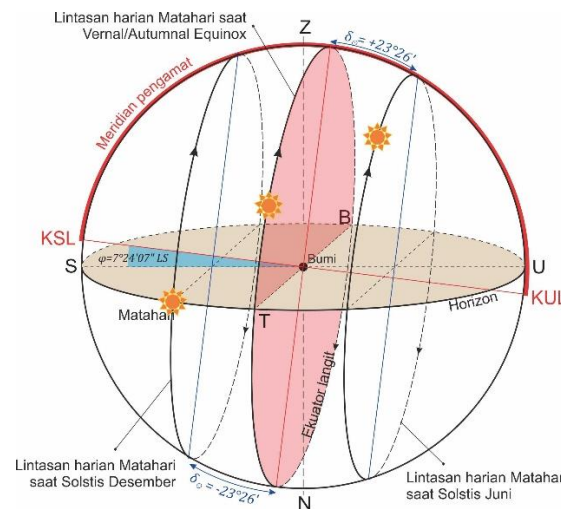
1 PENDAHULUAN

Gnomon adalah sebuah instrumen astronomi berupa tonggak vertikal yang bayangannya digunakan sebagai penanda waktu berdasarkan ketinggian Matahari di langit. Istilah *gnomon* berasal dari kata dalam Bahasa Yunani *γνομων*, yang berarti ‘penunjuk’.

Sejauh ini, studi tentang *gnomon* yang dimuat dalam buku rujukan, banyak dilakukan di negara lintang tinggi seperti Seattle (Evans, 1998) dan Prancis (Savoie, 2009). Wilayah Negara Indonesia berada di sekitar ekuator, merentang dari 6° LU – 11° LS. Tidak banyak literatur/publikasi mengenai pengamatan *gnomon* yang dilakukan di sekitar ekuator. Kami ingin mengetahui dan mempelajari lintasan harian Matahari yang diproyeksikan oleh bayangan *gnomon* di wilayah Indonesia. Secara khusus, penelitian dilakukan di Kabupaten Ngawi yang terletak di Provinsi Jawa Timur, tepatnya pada koordinat $7^{\circ}24'07''$ LS, $111^{\circ}27'48''$ BT, 166 mdpl.

2 LANDASAN TEORI

Bayangan dari *gnomon* di atas tanah, memiliki panjang ‘tak hingga’ saat Matahari terbit. Semakin tinggi Matahari di langit, bayangan tersebut semakin pendek. Ketika Matahari mencapai posisi tertinggi di langit (transit), bayangan yang terbentuk adalah bayangan terpendek. Selanjutnya, ketinggian Matahari menurun, bayangan kembali memanjang dan menjadi ‘tak hingga’ saat Matahari terbenam (Savoie, 2009). Fenomena ini terjadi setiap hari, sebagai efek dari gerak semu harian Matahari.



Gambar 1. Ilustrasi bola langit untuk pengamat di Kabupaten Ngawi. U, T, S, dan B berturut-turut adalah notasi untuk empat titik kardinal utara, timur, selatan, dan barat. Z dan N berturut-turut merupakan notasi untuk *zenith* dan *nadir*. KSL dan KUL berturut-turut merupakan notasi untuk kutub-kutub langit: Kutub Selatan Langit dan Kutub Utara Langit. Bidang ekuator langit tegak lurus dengan garis penghubung kutub-kutub, digambarkan dengan lingkaran berwarna merah muda. Lintasan harian Matahari digambarkan dengan lingkaran-lingkaran kecil yang sejajar dengan ekuator langit.

Jika diperhatikan dalam jangka waktu yang lebih panjang, lintasan ujung bayangan *gnomon* dalam satu hari terlihat seperti garis lurus saat peristiwa ekuinoks, dan seperti garis lengkung saat peristiwa *solstices* (Savoie, 2009). Lintasan ujung bayangan

gnomon melengkung ke arah selatan saat *winter solstice*, sebaliknya melengkung ke arah utara saat *summer solstice*. Fenomena ini merupakan efek dari gerak semu tahunan Matahari.

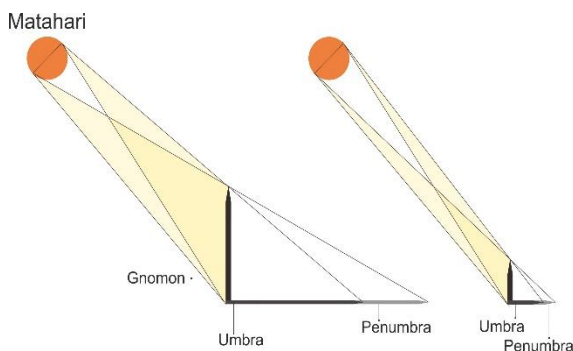
2.1 Lintasan Harian Matahari

Posisi Matahari di langit akan lebih mudah dibayangkan jika digambarkan pada bola langit (Gambar 1). Seberapa jauh Matahari dari ekuator langit dinyatakan dengan deklinasi Matahari ($\delta_{\odot}$) yang nilainya bervariasi dalam rentang $-23^{\circ}26' \leq \delta_{\odot} \leq +23^{\circ}26'$. Jika $\delta_{\odot}$ bernilai negatif, lintasan harian Matahari berada di selatan ekuator langit. Sebaliknya jika positif, lintasan harian Matahari berada di utara ekuator langit. Lintasan harian Matahari berimpit dengan ekuator langit jika $\delta_{\odot} = 0^{\circ}$. Terdapat tiga peristiwa istimewa berdasarkan posisi Matahari:

1. *Solstice* Juni, terjadi pada tanggal 20 atau 21 Juni. Matahari mencapai titik balik utara, deklinasi bernilai maksimum.
2. *Solstice* Desember, terjadi pada tanggal 21 atau 22 Desember. Matahari mencapai titik balik selatan, deklinasi bernilai minimum.
3. Deklinasi nol terjadi dua kali dalam satu tahun, yaitu pada tanggal 20 atau 21 Maret yang kami sebut dengan peristiwa ekuinoks Maret, dan 22 atau 23 September yang kami sebut dengan ekuinoks September.

2.2 Prinsip Cahaya dan Bayangan

Terdapat dua jenis sumber cahaya, yaitu *point source* dan *extended source* (K.C., 2011). Matahari yang merupakan sumber cahaya *extended source*, menghasilkan dua macam bayangan, yaitu umbra dan penumbra (Gambar 2). Umbra merupakan bayangan utama yang tajam, sedangkan penumbra adalah bayangan tambahan yang buram.



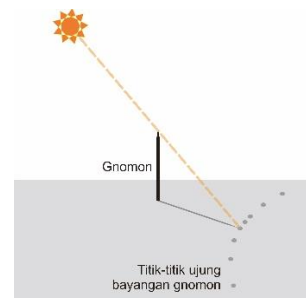
Gambar 2. Semakin tinggi *gnomon* yang digunakan, penumbra yang dihasilkan semakin besar. Penumbra dapat diminimalkan dengan menggunakan *gnomon* yang pendek.

3 PENGAMATAN GERAK SEMU HARIAN MATAHARI

3.1 Prinsip Dasar Pengamatan

Pengamatan dilakukan dengan mengamati bayangan *gnomon* dari alat peraga selama satu hari, dimulai dari pukul 08.00 WIB hingga 15.00 WIB. Setiap 30 menit, posisi ujung bayangan *gnomon* diberi tanda titik (Gambar 3).

Titik-titik ujung bayangan *gnomon* adalah data yang diambil. Dengan demikian, jika tidak terjadi mendung atau hujan, terdapat 15 data yang diambil dalam satu hari.

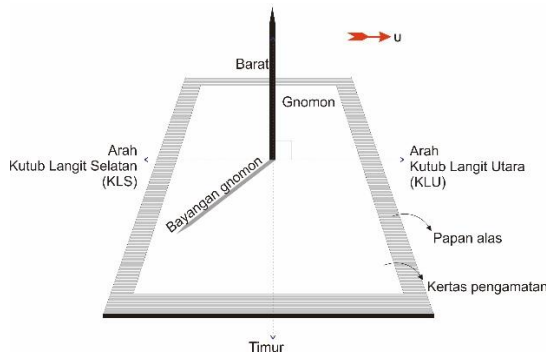


Gambar 3. Pengamatan bayangan *gnomon* dalam satu hari. Ujung dari bayangan *gnomon* ditandai dengan titik.

3.2 Detail Pengamatan

Pengamatan dilakukan dari tanggal 29 Juli 2020 hingga 25 Juli 2021. Pengamatan tidak selalu dilakukan setiap hari berturut-turut karena bergantung pada cuaca yang mendukung. Sebagian besar pengamatan pada penelitian ini dilakukan pada setengah periode tahunan Matahari, yaitu Juli 2020 – Desember 2020 (antara dua *solstices*). Karena Matahari hanya kembali melalui lintasan yang sama setelah mencapai titik balik selatan, pengamatan dihentikan. Selain itu, mendung dan hujan terjadi hampir setiap hari pada akhir Desember 2020 hingga Maret 2021. Pengamatan sempat dilakukan pada tanggal 20 Maret 2021, yaitu saat peristiwa ekuinoks. Namun selanjutnya, pengamatan tidak dilakukan lagi hingga 12 Juli 2021 (termasuk pada peristiwa *solstice* Juni 2021). Barulah pada tanggal 13 Juli 2021 kembali dilakukan pengamatan hingga tanggal 25 Juli 2021. Akhirnya dari 362 hari dalam rentang waktu di atas, hanya dilakukan 77 kali pengamatan.

Pengamatan dilakukan di atas meja setinggi $(375,5 \pm 0,05)$ cm di atas tanah, di tempat terbuka yang mendapat pancaran sinar Matahari. Desain alat peraga yang digunakan dalam penelitian ditunjukkan oleh Gambar 4. Jumlah alat peraga yang digunakan



Gambar 4. Alat peraga terdiri dari tiga bagian. Pertama, sebuah *gnomon* tegak setinggi $(9,1 \pm 0,05)$ cm. Kedua, ‘papan alas’ sebagai tempat jatuhnya bayangan *gnomon*. Ketiga, ‘kertas pengamatan’ yang dipasang secara semi-permanen. Kertas ini digunakan untuk merekam data pengamatan.

adalah 8 set. Penandaan ujung bayangan *gnomon* pada kedelapan alat dilakukan oleh seorang pengamat, dengan kata lain, penandaan pada kedelapan alat tidak dilakukan serentak pada waktu yang bersamaan. Terdapat jeda/selisih detik setiap menandai satu alat ke alat berikutnya. Supaya jeda tersebut tidak terlalu besar, kegiatan menandai kedelapan alat ini dilakukan dalam 1 menit. Pemberian tanda titik pada ujung bayangan *gnomon* dilakukan dengan spidol permanen dengan diameter ketebalan *tip* 1,0 mm.

Bahan yang digunakan untuk membuat alat peraga adalah bahan yang tahan terhadap perubahan cuaca. Kami menggunakan papan eternit sebagai papan alas dan tabung bolpoin plastik sebagai *gnomon*. Kertas pengamatan dilaminasi dengan plastik untuk melindungi data yang terekam.

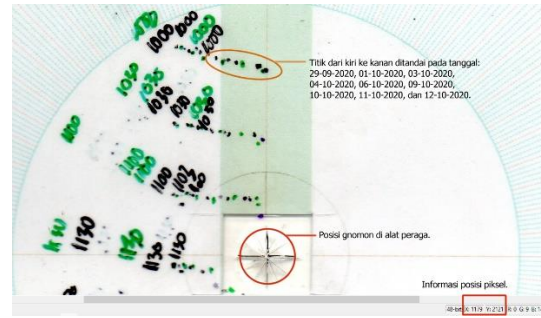
4 OLAH DATA PENGAMATAN

4.1 Tahap Awal Olah Data

Kertas pengamatan dipindai dengan pemindai (*scanner*). Pemindai yang digunakan adalah EPSON L360, dengan ukuran *bed scanner* A4 (21,0 cm × 29,7 cm) dan resolusi *output* 2481 px × 3509 px; 300 dpi. Kemudian, hasil pindai (*.jpg*) dibuka menggunakan perangkat lunak pengolahan citra astronomi, IRIS yang dikembangkan oleh Christian BUIL. Versi yang digunakan adalah versi 5.58 (pembaharuan terakhir 6 Februari 2010)

4.2 Olah Data Menggunakan IRIS

Tampilan kertas pengamatan yang dibuka dengan IRIS ditunjukkan oleh Gambar 5. Terdapat deretan titik-titik ujung bayangan *gnomon* untuk pengamatan tanggal 29 September 2020 – 12 Oktober 2020 (dalam elips berwarna oranye) dan



Gambar 5. Tampilan IRIS saat membuka *file* hasil pindai Kertas Pengamatan dari salah satu alat peraga. Deretan titik yang berada di dalam elips oranye adalah titik-titik ujung bayangan *gnomon* yang ditandai pada pukul 10.00 WIB. Titik tengah dari lingkaran merah merepresentasikan posisi *gnomon*. Kotak merah di bagian bawah adalah tempat untuk membaca posisi piksel.

tulisan ‘1000’, ‘1030’, ‘1100’, ‘1130’ di dekatnya yang merupakan keterangan pada jam berapa ujung-ujung bayangan tersebut ditandai (‘1000’ berarti pukul 10.00 WIB, ‘1030’ berarti pukul 10.30 WIB, dan seterusnya).

IRIS dapat memberi informasi posisi piksel untuk setiap titik yang ditunjuk oleh kursor pada gambar yang dibuka. Dalam penelitian ini, IRIS berperan untuk memberi informasi posisi piksel titik-titik ujung bayangan *gnomon* pada kertas pengamatan. Posisi (0, 0) pembacaan posisi IRIS terletak di pojok kiri paling bawah dari kertas pengamatan.

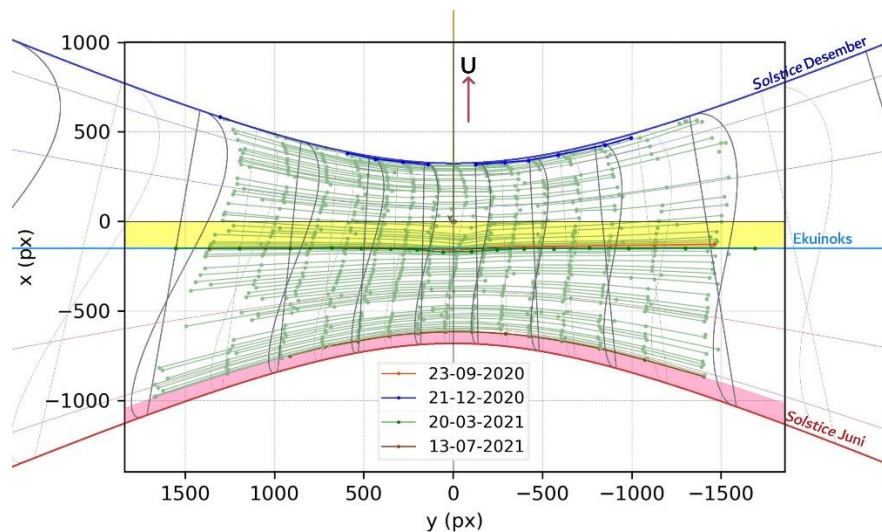
Namun, yang diperlukan dalam penelitian ini adalah posisi titik-titik ujung bayangan *gnomon* relatif terhadap posisi *gnomon*. Langkah pertama yang harus dilakukan adalah membaca posisi titik tengah kertas pengamatan. Dengan mengarahkan kursor sebanyak 12 kali pada titik tengah, posisi dibaca dan dicatat, kemudian dirata-rata sehingga diperoleh posisi titik tengah kertas pengamatan yang dinotasikan dengan (x_c, y_c) . Pembacaan berulang tersebut dilakukan untuk kepentingan akurasi pembacaan posisi.

Langkah selanjutnya adalah membaca posisi titik-titik ujung bayangan *gnomon*, masing-masing sebanyak 8 kali. Sama seperti sebelumnya, posisi dirata-rata sehingga diperoleh posisi masing-masing titik ujung bayangan *gnomon* yang dinotasikan dengan (x_i, y_i) . Terakhir, diperoleh posisi relatif $((x_c - x_i), (y_c - y_i))$.

5 HASIL DAN KESIMPULAN

5.1 Hasil

Posisi x , yaitu $(x_c - x_i)$ yang telah diperoleh dari proses olah data, diplot terhadap posisi y , yaitu



Gambar 6. Hasil *plot x* terhadap *y* untuk rerata kedelapan alat. Setiap kurva pada grafik merupakan representasi data yang diambil setiap kali pengamatan. Terdapat 4 kurva yang diberi warna mencolok: oranye untuk pengamatan yang dilakukan pada tanggal 23 September 2020 (peristiwa ekuinoks September), hijau untuk 20 Maret 2021 (ekuinox Maret), merah untuk 21 Desember 2020 (*solstice* Desember), dan coklat untuk 13 Juli 2021. Kemudian, kurva dibandingkan dengan hasil simulasi aplikasi Shadows Pro. Daerah kosong berwarna merah menunjukkan bahwa pengamatan tidak dilakukan pada rentang waktu tersebut.

$(y_c - y_i)$ sehingga diperoleh Kurva Ujung Bayangan *Gnomon* untuk setiap alat. Kurva yang ditunjukkan oleh Gambar 6 adalah kurva rerata dari delapan alat. Diperoleh 77 kurva dari 77 hari pengamatan. Pola lintasan harian Matahari yang terproyeksi oleh bayangan *gnomon* ini sesuai dengan yang digambarkan oleh Evans (1998), Savoie (2009), dan aplikasi pembuat jam Matahari, *Shadows Pro*.

Bayangan *gnomon* terpendek yang terjadi saat Matahari transit direpresentasikan oleh puncak dari setiap kurva. Daerah kuning pada Gambar 6 menunjukkan seberapa jauh kurva ekuinoks dari posisi *gnomon* (0,0). Puncak kurva bayangan yang melewati posisi (0,0) diperoleh pada hari ketika Matahari transit tepat di atas *gnomon* (di zenith). Kurva tersebut dapat memberikan informasi seberapa jauh posisi lintang pengamat dari ekuator.

Kurva bayangan *gnomon* juga dapat digunakan untuk menentukan arah utara sejati (Evans, 1998). Jika digambar lingkaran berpusat di posisi (0,0) sedemikian sehingga memotong kurva bayangan *gnomon* pada dua titik, lalu dari setiap titik potong tersebut ditarik garis hingga bertemu di posisi (0,0)

dan membentuk suatu sektor lingkaran, maka garis yang membagi sektor tersebut sama besar adalah garis yang menunjukkan arah utara sejati.

5.2 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa kurva ujung bayangan *gnomon* memberikan informasi seberapa jauh lokasi pengamatan dari ekuator, serta arah utara sejati pada tempat dilakukan pengamatan.

6 PUSTAKA

- Blateyron, F. 2020, Sundial & Astrolabes: Reference Manual of Shadows Pro < <https://www.shadowspro.com/en/user-manual.html>>
- Evans, James. 1998, *The History and Practice of Ancient Astronomy*, Oxford University Press, New York.
- K.C., Prabin. 2011. Theory of Shadow. *Himalayan Physics, 1*, 101-105.
- Savoie, D. 2009. *Sundials, Design, Construction, and Use*. (Bob Mizon, Terjemahan). United Kingdom: Springer-Praxis Publishing.
- Smart, W. M. & Green, R. M. 1977, *Textbook on Spherical Astronomy, 6th Edition*, Cambridge University Press, United Kingdom.