

# Penentuan fajar menggunakan pendekatan titik belok persamaan tingkat kecerahan langit di LAPAN BPAA Pasuruan

Nanang Widodo<sup>a,\*</sup>, Siska Filawati<sup>b</sup>

<sup>a,b</sup> LAPAN BPAA Pasuruan, Jl Raya Watukosek Kec. Gempol, Pasuruan 67155, Indonesia

\* [nanang.widodo@lapan.go.id](mailto:nanang.widodo@lapan.go.id)

## Abstrak

Berbagai usaha telah dilakukan oleh manusia untuk menentukan kapan awal waktu subuh secara tepat. Pada penelitian ini akan digunakan pendekatan titik belok persamaan tingkat kecerahan langit (SQM). Tingkat kecerahan langit akan semakin bertambah dengan perubahan kenaikan altitude matahari yang dimulai dari minus 18 derajat sampai 0 derajat (horizon). Data SQM yang digunakan untuk membangun persamaan polinom orde 3 dimulai dari pukul 03:00-05:30 WIB. Hasil turunan kedua dari persamaan polinom orde 3 sama dengan Nol, akan diperoleh titik belok. Titik belok akan berhimpit dengan posisi matahari pada interval minus 20 derajat sampai minus 18 derajat di bawah horizon. Dimana pada kedalaman matahari tersebut berimpit dengan penentuan waktu sholat subuh.

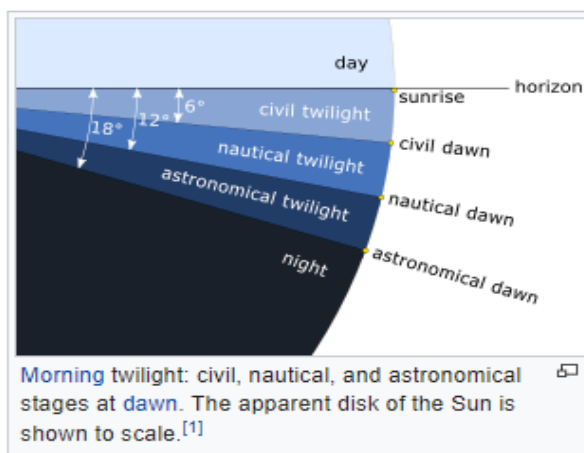
## Kata kunci:

*Astronomical dawn*, Fajar Shadiq, Titik belok.

© 2019 Dipublikasikan oleh Jurusan Matematika, Universitas Negeri Semarang

## 1. Pendahuluan

Sebagai pemeluk agama Islam informasi akurat tentang pembagian waktu sholat fardhu merupakan ketetapan yang harus ditaati. Salah satu syarat sahnya sholat adalah masuknya waktu sholat tersebut. Dalam penentuan waktu sholat subuh secara tepat banyak menemui kendala. Kenyataan ini disebabkan posisi matahari berada dibawah horizon. Sehingga pengukuran bayangan tidak bisa ditampilkan (A.W. Raihana, 2016).



**Gambar 1.** Fajar astronomi (*Astronomical dawn*) (<https://en.wikipedia.org/wiki/twillight>)

To cite this article:

Widodo, N., Filawati, S. (2020). Penentuan fajar menggunakan pendekatan titik belok persamaan tingkat kecerahan langit di LAPAN BPAA Pasuruan. *PRISMA, Prosiding Seminar Nasional Matematika 3*, 141-146

Pada gambar 1, durasi waktu fajar muncul pertama kali ketika pusat geometris Matahari pada ketinggian (altitude) minus 18 derajat di bawah ufuk sampai 0 derajat (horizon) selama 1 jam lebih 8 – 16 menit (Dhani, 2016). Dalam perspektif fiqh dan sains, penetapan awal waktu sholat Subuh tidak ada hal yang perlu diperdebatkan. Telah disepakati bahwa fajar shadiq juga disebut fajar astronomi, yang merupakan patokan pasti masuknya waktu sholat Subuh (Muhyiddin, 2017). Di Malaysia, awal sholat subuh ditetapkan berdasarkan posisi Matahari pada ketinggian -20o di bawah horizon. Penetapan awal waktu subuh berkaitan dengan ketinggian Matahari di bawah ufuk dari setiap negara bisa saja terjadi perbedaan, seperti dalam Tabel 1. (Siti & Mohd, 2012). Menurut falakiyah PBNU, waktu subuh dimulai dari posisi ketinggian Matahari -20o. (<http://falakiyah.nu.or.id/JadwalWaktuSholat.aspx>)

**Tabel 1.** Konvensi beberapa negara dalam menentukan waktu subuh

Konvensi	Sudut fajar (xo)
Shiah Ithna Ashari (Jaafari)	16
Islamic Society of North America	15
Muslim World League	18
Umm al-Qura, Makkah	18,5
Egyptian General Authority of Survey	19,5
University of Islamic Science, Karachi	18
Malaysia	20
Falakiyah PBNU	20

Informasi tentang posisi ketinggian Matahari berkaitan dengan fajar astronomi (*astronomical dawn*) pada Tabel 2, dapat diperoleh dengan menginput posisi pengamat sesuai negara dan kotanya, tepatnya pada alamat website berikut (<https://www.timeanddate.com/sun/indonesia/surabaya>). Karena secara geografis posisi LAPAN BPAA Pasuruan berdekatan +/- 30 km selatan Surabaya, maka referensi tetapan waktu sholat mengikuti kota Surabaya.

**Tabel 2.** Informasi ketinggian Matahari di atas atau di bawah ufuk, Mei 2019

May 2019 — Sun in Surabaya

< April **May** June > Month: May Year: 2019 Go

2019	Sunrise/Sunset		Daylength		Astronomical Twilight		Nautical Twilight		Civil Twilight		Solar Noon	
	Sunrise	Sunset	Length	Difference	Start	End	Start	End	Start	End	Time	Mil. km
1	05:30 ↗(75°)	17:21 ↘(285°)	11:51:13	-0:19	04:19	18:33	04:44	18:08	05:09	17:43	11:26 (67.8°)	150.714
2	05:30 ↗(75°)	17:21 ↘(285°)	11:50:54	-0:18	04:19	18:33	04:44	18:08	05:09	17:43	11:26 (67.5°)	150.753
3	05:30 ↗(74°)	17:21 ↘(286°)	11:50:35	-0:18	04:19	18:32	04:44	18:07	05:09	17:42	11:25 (67.2°)	150.791
4	05:30 ↗(74°)	17:20 ↘(286°)	11:50:17	-0:18	04:19	18:32	04:44	18:07	05:09	17:42	11:25 (66.9°)	150.828
5	05:30 ↗(74°)	17:20 ↘(286°)	11:49:58	-0:18	04:18	18:32	04:44	18:07	05:09	17:42	11:25 (66.6°)	150.865
6	05:30 ↗(74°)	17:20 ↘(287°)	11:49:40	-0:18	04:18	18:32	04:44	18:07	05:09	17:42	11:25 (66.3°)	150.902
7	05:30 ↗(73°)	17:20 ↘(287°)	11:49:22	-0:17	04:18	18:32	04:44	18:07	05:09	17:42	11:25 (66.0°)	150.938
8	05:30 ↗(73°)	17:20 ↘(287°)	11:49:05	-0:17	04:18	18:32	04:44	18:07	05:09	17:41	11:25 (65.7°)	150.973

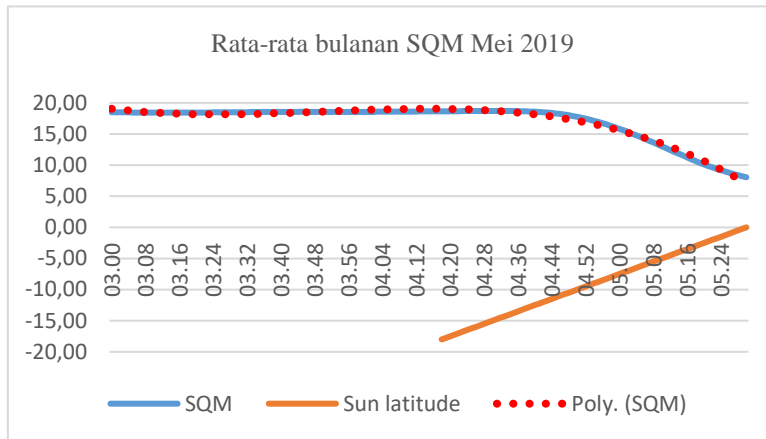
Hasil pengukuran tingkat kecerahan langit dari pukul 03:00 WIB sampai pukul 05:30 WIB menunjukkan sifat fluktuatif dan menurun signifikan di akhir pengamatan. Bila kita mengikuti tetapan awal subuh adalah awal fajar astronomi atau ketinggian Matahari -18° di bawah ufuk, maka pada penelitian ini akan diuji melalui titik belok pada persamaan tingkat kecerahan langit (SQM).

Pendekatan titik belok yang diperoleh dari turunan kedua persamaan SQM sama dengan Nol. Hasil berupa nilai x yang diartikan sebagai urutan waktu pengamatan. Diharapkan nilai x merupakan diimplementasikan sebagai titik belok persamaan SQM yang bertepatan dengan posisi ketinggian Matahari -18°.

## 2. Metode

Data pengukuran tingkat kecerahan langit yang digunakan dalam penelitian ini adalah bulan Mei 2019. Data yang ditampilkan pada gambar 2 adalah nilai rata-rata selama bulan Mei yang dimulai dari pukul 03:00 WIB sampai 05:30 WIB. Alasan pemilihan data bulan Mei 2019, karena sudah masuk musim kemarau sehingga tidak ada konsentrasi awan di langit.

Hasil dari data SQM, ketinggian posisi Matahari dan tetapan waktu subuh di lokal Surabaya selama bulan Mei 2019 ditampilkan pada gambar 2 berikut.



**Gambar 2.** Rata-rata bulanan SQM Mei 2019, LAPAN BPAA Pasuruan

Selama interval pengamatan tersebut data SQM yang ditunjukkan oleh garis penuh berfluktuasi kecil terhadap waktu amatan, gambar 2. Berdasarkan kondisi data tersebut persamaan yang relevan dapat membaca karakteristik perubahan nilai SQM adalah persamaan polinom orde 3. Persamaan polinom orde 3 ditunjukkan oleh grafik titik-titik, gambar 2 yang diperoleh aplikasi Excel. Hasil luaran Excel ini telah memberikan besaran a, b, c dan d pada persamaan (1) dari metode regresi polinom orde 3.

Sedangkan perubahan ketinggian Matahari terhadap waktu (0,25°/menit) ditunjukkan oleh garis penuh warna orange.

Pada hipotesa awal, diharapkan persamaan SQM terhadap waktu dapat didekati dengan model polinom orde 3. Secara grafis pernyataan di atas didukung oleh berimpitnya kedua persamaan tersebut.

Secara umum, turunan pertama dan kedua dari polinom orde tiga sebagai berikut

$$y = f(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d \tag{1}$$

$$y' = (3a)x^{3-1} + 2bx^{2-1} + cx^0 \tag{2}$$

Titik belok diperoleh dari turunan kedua sama dengan nol dari fungsi polinom orde 3

$$y'' = (6a)x^{3-2} + 2bx^0 = 0$$

atau

$$x = -\frac{(2b)}{6a} \tag{3}$$

Turunan kedua dari persamaan SQM sama dengan Nol, pada persamaan (3) x didefinisikan sebagai titik belok. Nilai x berupa angka yang menyatakan urutan data ke n (menit). Persamaan polinom orde 3 yang dihasilkan dari Excel akan diuji tingkat akurasi melalui nilai koefisien determinasi. Selain itu, titik belok yang diperoleh akan dibuktikan apakah bersamaan dengan ketetapan waktu subuh di senja astronomi (-18°) atau -20°. Penandaan ketinggian Matahari di bawah ufuk pada -15°, -18° dan -20° ditampilkan dalam grafik untuk membedakan datangnya waktu sholat subuh (Dhani H, 2014).

### 3. Hasil dan Pembahasan

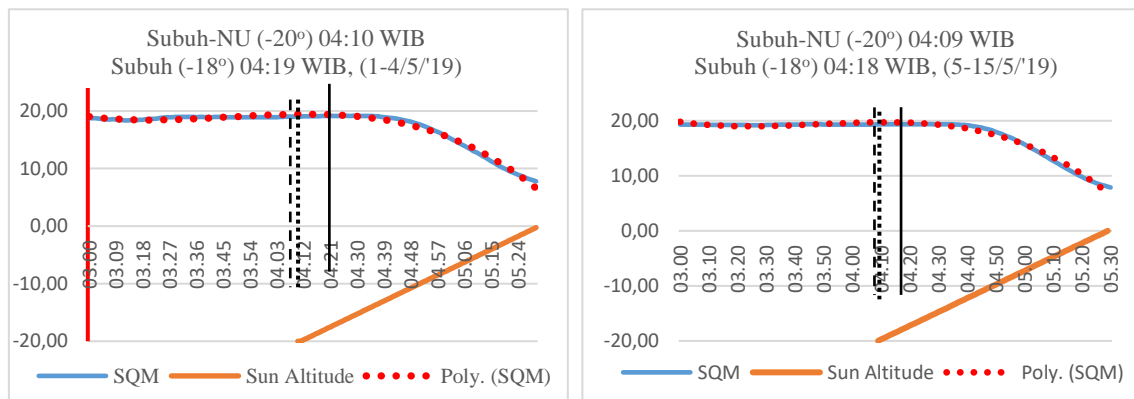
Berdasarkan timeanddate.com Tabel 2, terdapat perbedaan posisi ketinggian Matahari selama bulan Mei 2019 yang dikategorikan dalam 4 interval seperti pada kepala kolom Tabel 3. Pada setiap kategori tersebut mempunyai kesamaan waktu saat ketinggian Matahari  $-18^\circ$ . Contoh; pada interval 1-4 Mei 2019 fajar astronomi tepat pukul 04:19 WIB, pada interval 5-15 Mei 2019 tepat pukul 04:18 WIB dan seterusnya.

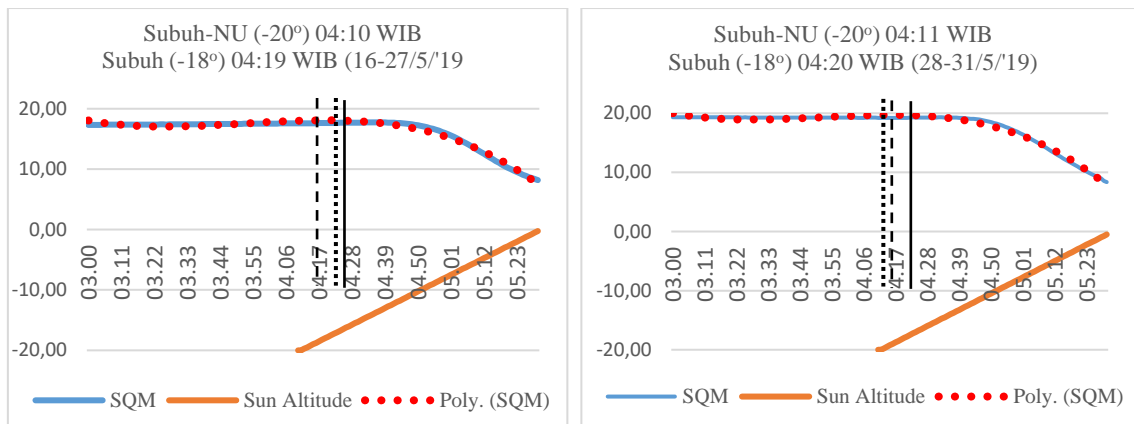
**Tabel 3.** Waktu subuh, titik belok, posisi Matahari dan persamaan polinom

Interval pengamatan	1-4/5/19	5-15/5/19	16-27/5/19	28-31/5/19
Subuh ( $-18^\circ$ )	04:19	04:18	04:19	04:20
Subuh ( $-20^\circ = \text{NU}$ )	04:11	04:09	04:11	04:12
Titik belok (x)	67	70	73	75
Posisi Matahari / waktu WIB	$-21^\circ$ 04:06	$-20^\circ$ 04:09	$-19,75^\circ$ 04:12	$-19,25^\circ$ 04:14
Persamaan Polinom orde 3	$y = -1E-05x^3 + 0.002x^2 - 0.0659x + 19.088$	$y = -1E-05x^3 + 0.0021x^2 - 0.0801x + 19.897$	$y = -1E-05x^3 + 0.0022x^2 - 0.0907x + 18.127$	$y = -1E-05x^3 + 0.0023x^2 - 0.0951x + 20.118$
R2	0,9861	0,9859	0,9789	0,9852

Penjelasan Tabel 3, baris pertama dan kedua memberi informasi masuknya subuh pada posisi Matahari ( $-18^\circ$ ) atau  $-20^\circ$ . Baris ketiga,  $x$  = titik belok, contoh  $x = 67$ , artinya 67 menit setelah data awal 03:00 WIB atau titik belok tepat pukul 04:06 WIB pada gambar 3, kiri atas. Dengan cara sama untuk titik belok  $x = 70, 73$  dan  $75$  bertepatan dengan posisi Matahari di bawah ufuk (baris keempat). Titik belok tersebut terjadi pada pukul 04:09, 04:12 dan 04:14 WIB (baris kelima). Baris keenam menyatakan, 4 persamaan polinom orde 3 yang diperoleh dari aplikasi Excel. Baris ketujuh, hasil koefisien determinasi yang mempunyai nilai rata-rata di atas 0,98.

Dengan keakuratan tersebut menyatakan bahwa pendekatan polinom orde 3 pada persamaan SQM dapat menjelaskan hubungan fungsional antara waktu dengan nilai SQM menuju Matahari terbit. Hasil perhitungan dengan koefisien korelasi tinggi dapat menjawab hipotesa bahwa model polinom orde 3 adalah relevan dengan perubahan tingkat kecerahan langit terhadap waktu.





**Gambar 3.** Kiri atas, Rata-rata SQM 1-4 Mei 2019, Kanan atas, Rata-rata SQM 5-15 Mei 2019

Kiri bawah, Rata-rata SQM 16-27 Mei 2019, Kanan bawah, Rata-rata SQM 28-31 Mei 2019

Keterangan gambar 3, garis penuh tegak adalah waktu subuh (-18°), titik-titik tegak adalah waktu subuh (-20°) dan garis putus-putus tegak adalah tempatnya titik belok. Garis miring ke kanan, menyatakan perubahan ketinggian Matahari di bawah ufuk (-20° sampai 0°) terhadap waktu (03:00 sampai 05:30 WIB). Garis lengkung biru adalah data nilai SQM terhadap waktu, sedangkan titik-titik lengkung adalah pendekatan model polinom orde 3.

Hasil perhitungan dari Tabel 3, titik belok terjadi pada saat hampir berbarengan masuknya waktu sholat subuh. Contoh, pada kolom 3 dan kolom 4 menunjukkan bahwa waktu titik belok berimpit dengan tetapan waktu subuh 04:09 WIB dan 04:11 WIB, yaitu Matahari pada ketinggian -20°.

#### 4. Simpulan

Fajar astronomi mempunyai peran penting dalam menentukan waktu subuh. Ketinggian Matahari -18° dan -20° di bawah ufuk oleh beberapa negara digunakan sebagai referensi masuknya waktu sholat subuh. Hipotesa bahwa model polinom orde 3 dapat menjelaskan karakteristik dari persamaan SQM terhadap waktu terbukti. Pernyataan tersebut didukung secara matematis melalui pendekatan model polinom orde 3 dapat berimpit dengan persamaan SQM terhadap waktu. Hal ini juga ditunjukkan oleh nilai koefisien determinasi yang signifikan yaitu rata-rata R<sup>2</sup> di atas 0,98.

Demikian juga hasil pengujian titik belok dari turunan kedua persamaan polinom orde 3 menunjukkan berimpit dengan penentuan waktu subuh hasil ketetapan falakiah PBNU yaitu -20°. Meskipun 8 menit lebih awal dibandingkan referensi fajar astronomi -18°, pernyataan ini memberikan keyakinan bahwa ketetapan waktu subuh terbukti relevan sesuai pendekatan matematis.

#### Daftar Pustaka

- AW. Raihana, K.N. (2016). Issues on Determination of Accurate Fajr and Dhuha Prayer Time According to Fiqh and Astronomical Perspective in Malaysia, A Bibliography Study. In *Conference Proceedings*. Bali, Indonesia. Oct 13-14, 2016, 18(10), Part V, (p 675).
- Dhani Herdiwijaya. (2014). Implications of twilight sky brightness measurements on fajr prayer and young crescent observation. *The International Conference on Physics and Its Applications*, ICOPIA 2014.
- Dhani Herdiwijaya. 2016. Waktu subuh: Tinjauan Pengamat Astronomi. (Online) (<https://www.researchgate.net/publication/307861438>)
- Siti Asma M.N., Mohd Zambri Z. (2012). Sky Brightness for Determination of Fajar and Isya Prayer by Using Sky Quality Meter. *International Journal of Scientific and Engineering Research* Volume 3. Issue 8 August 2012, ISBN 2229-5518.
- (<https://www.timeanddate.com/sun/indonesia/surabaya>, diakses 12 Agustus 2019)
- (<http://falakiyah.nu.or.id/JadwalWaktuSholat.aspx>, diakses 14 Agustus 2019)

(<https://en.wikipedia.org/wiki/twillight>, diakses 16 Juli 2019)