



# Tingkat Kepercayaan *Fitting* Polinomial Kurva Gradien Data SQM untuk Menentukan Kemunculan Fajar

Arman Abdul Rochman<sup>1,\*</sup>, Dhani Herdiwijaya<sup>1</sup>, and Hendro Setyanto<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Astronomi, FMIPA, ITB

<sup>2</sup>Imah Noong Kampung Eduwisata Areng

Peningkatan cahaya saat fajar (*twilight of dawn*) di ufuk timur merupakan pertanda munculnya fajar. Salah satu observasi dalam mendeteksinya yaitu dengan menggunakan alat *Sky Quality Meter* (SQM). Terdapat beberapa cara analisis kurva cahaya SQM dalam mengidentifikasi titik peningkatan cahaya saat fajar muncul. Analisis titik peningkatan cahaya ini menggunakan *fitting* kurva polinomial pada grafik gradien terhadap *solar elevation*. Dari 32 (Februari-Maret 2019) data didapat nilai *Adjustable R-Square fitting* kurva hampir semua dinilai “tinggi” ( $> 85\%$ ). Rata-rata titik kemunculan fajar terjadi pada *solar elevation*  $-13.86^\circ \pm 1.27^\circ$  dengan nilai paling dalam  $-16.9^\circ$  dan paling tinggi  $-11.32^\circ$ .

**Kata Kunci:** Fajar, SQM, Gradien, Polinomial *Fitting*.

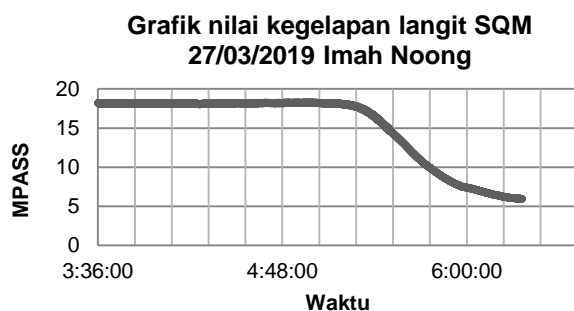
## 1. PENDAHULUAN

Definisi fajar (*al-fajr*) menurut bahasa adalah pencahayaan gelap malam dari sinar pagi [1]. Setelah munculnya fajar hingga Matahari terbit secara karakteristik dalam peningkatan cahayanya digolongkan sama dengan senja. Senja (*twilight*) adalah waktu setelah munculnya cahaya hingga sebelum Matahari terbit (*twilight of dawn*) dan setelah Matahari terbenam hingga langit benar-benar gelap (*twilight of dusk*). Cahaya ini berasal dari atmosfer yang disinari Matahari langsung dan dari pantulan dari permukaan Bumi. Seiring mendekati menuju Matahari terbit, cahaya fajar semakin terang. Sehingga terdapat waktu saat manusia membutuhkan bantuan penerangan tambahan dan waktu saat sudah tidak dibutuhkan penerangan tambahan untuk beraktivitas. Oleh karena itu *The United States Naval Observatory* (USNO) membagi rentang waktu senja ini menjadi 3 bagian, yaitu : Senja Astronomi, Senja Nautikal, dan Senja Civil [2].

\*Email: arman.abdulrochman@gmail.com

Senja astronomi didefinisikan sebagai akhir malam ketika pusat Matahari secara geometris  $18^\circ$  di bawah cakrawala. Cahaya dari Matahari mulai muncul seperti melemahkan cahaya bintang-bintang. Saat ini masih dibutuhkan penerangan tambahan untuk beraktivitas. Senja Nautikal didefinisikan dimulai ketika pusat Matahari secara geometris  $12^\circ$  di bawah cakrawala. Pada awal atau akhir senja nautikal dalam kondisi atmosfer yang baik masih dibutuhkan penerangan bantuan untuk melakukan aktivitas luar ruangan. Pada akhir senja ini horizon mulai terlihat jelas bahkan pada malam tanpa Bulan memungkinkan untuk para pelaut masih bisa menggunakan bintang-bintang untuk keperluan navigasi, dari sanalah penamaan nautikal berasal. Senja sipil didefinisikan dimulai ketika pusat matahari secara geometris  $6^\circ$  di bawah cakrawala. Dalam kondisi cuaca yang baik, objek-objek Bumi dapat dibedakan dengan jelas. Pada awal senja sipil pagi cakrawala terlihat jelas dengan bintang-bintang terang masih terlihat tanpa adanya cahaya bulan atau penerangan lainnya.

Selama senja civil cahaya fajar sudah cukup terang untuk membantu aktivitas luar ruangan, sehingga tidak diperlukan penerangan tambahan. Awal observasi fajar dimulai oleh para ilmuwan islam karena kebutuhan penentuan awal waktu salat subuh. Hasil pengamatannya sangat beragam, dilihat dari nilai *solar depression* (kedalaman Matahari di bawah ufuk) kemunculan fajar dimulai pada saat  $20^{\circ}$ - $14^{\circ}$  [3]. Kemungkinan keragaman hasil pengamatan ini dikarenakan dilakukan dengan mata tanpa alat bantu, tidak dengan instrumen optik terkalibrasi, sehingga rawan akan subjektivitas pengamat. Pengembangan pengamatan peningkatan intensitas cahaya selanjutnya dilakukan oleh instrumen optik, yaitu dengan *all sky camera* [4] dan *sky quality meter* (SQM) [5]. Instrumen *all sky camera* adalah kamera dengan medan pandang  $180^{\circ}$ . Pendeteksian cahaya dilakukan dengan melihat peningkatan *count* dalam setiap piksel pada citra. Instrumen SQM adalah alat untuk mengukur nilai kegelapan langit dimana setiap cahaya yang terdeteksi menurunkan nilai pengukuran dengan rentang pengukuran dari  $24-0 \text{ mag/arc}^2$ .



**Gambar 1.** Grafik nilai kegelapan langit terhadap waktu dari data luaran SQM yang menunjukkan terdapat penurunan nilai kegelapan langit saat menjelang pagi di Imah Noong.

Luaran data dari SQM adalah waktu, suhu, dan nilai kegelapan dalam satuan  $\text{mag/arc}^2$ , sehingga dapat langsung dibuat grafik fluks cahaya terhadap waktu seperti pada Gambar 1. Beberapa metode analisis grafik tersebut dalam penentuan awal fajar sudah berkembang, yaitu *fitting* kurva dan *moving average*. Penentuan awal fajar dengan *fitting* kurva adalah menemukan model persamaan suatu fungsi yang cocok dengan grafik data. Persamaan yang bisa digunakan beragam, baik itu fungsi polinomial atau eksponensial. Penggunaan fungsi polinomial orde 4 adalah fungsi yang paling cocok dengan grafik *magnitudo per arc sec square* (MPASS) terhadap waktu dilihat dari *root mean square error* dibandingkan dengan fungsi polinomial orde 3, 5 dan 6 [6]. Dari fungsi tersebut diturunkan ( $dy/dx$ ) untuk melihat titik belok (nilai puncak) dari grafik tersebut. Dikarenakan fungsi masih dalam orde 3, maka nilai puncak yang didapatkan sebanyak 3 nilai. Fungsi polinomial orde 3 ini kemudian diturunkan lagi menjadi

orde 2. Tiga nilai yang didapat sebelumnya dimasukkan ke dalam persamaan orde 2. Hasil tersebut jika bernilai positif, maka titik tersebut adalah kemunculan fajar.

Metode *moving average* adalah metode yang melihat selisih atau kemiringan (*slope*) yang sebelumnya telah dirata-ratakan (*binning*) dengan rentang tertentu. Metode ini digunakan untuk kasus di saat grafik MPASS terhadap waktu sangat berfluktuasi akibat kehadiran awan dan Bulan. Dalam metode ini dilihat satu per satu nilai *slope*. Ketika nilai *slope* tersebut mulai bernilai negatif dan data selanjutnya tidak ada yang bernilai positif, maka titik mulai tersebut adalah titik mulianya peningkatan cahaya. Kedua metode tersebut memiliki keunggulan dan kesulitan masing-masing dalam penentuan awal fajar. Pada metode *fitting* kurva polinomial terdapat penurunan hingga dua kali dengan penentuan titik belok didefinisikan sebagai puncak kurva. Hal ini bisa dikatakan kurang tepat karena titik puncak suatu grafik berbeda dengan titik belok kurva tersebut. Selain itu pula titik awal dalam penurunan persamaan polinomial tersebut masih belum jelas. Untuk metode *moving average*, masih belum tentu berapa nilai *binning* yang direkomendasikan. Proses *binning* yang dilakukan agar memperoleh grafik yang cukup mudah dikenali titik beloknya adalah 3 menit, sedangkan penjadwalan waktu salat memerlukan resolusi 1 menit [7]. Selain itu pula dari grafik miliknya tidak terdapat data yang benar-benar berada di titik nol dimana gradien data mulai negatif.

Dalam artikel ini membahas penggabungan kedua metode ini agar kelebihan dari masing-masing metode dapat dioptimalkan dan selanjutnya bisa dikembangkan dalam sistem pengolahan *big data* SQM dengan algoritma yang lebih sederhana.

## 2. INSTRUMEN

Instrumen pengambilan data deteksi cahaya dalam penelitian ini adalah Sky Quality Meter (SQM) tipe Lens USB Data Logger (LU-DL). SQM adalah alat untuk mengukur nilai kegelapan langit, sehingga luaran bacaan dari alat ini memiliki satuan  $\text{mag/arc}^2$ . Namun secara umum sensor SQM adalah alat pendeteksi cahaya ketika cahaya terdeteksi, bacaan datanya akan menurun. Kondisi malam paling gelap yang dapat terdeteksi SQM adalah  $24 \text{ mag/arc}^2$  atau setara dengan bintang yang terlihat mata dengan magnitudo 7,3. Mata manusia umumnya memiliki batas sekitar magnitudo 6. Medan pandang SQM LU DL untuk *Full Width Half Maximum* (FWHM) adalah  $20^{\circ}$ .

Tipe SQM-LU-DL memiliki keunggulan dapat disambungkan dengan USB baik sebagai *data logger* tersambung dengan PC atau pun sebagai sumber daya dengan input data pada flash memori yang terdapat pada *microcontroller* di dalam alatnya. SQM-LU-DL yang digunakan adalah versi spesial order dengan kemampuan daya tampung memori sebanyak 1.048.576 data. Resolusi data bisa diatur hingga 1 detik [8].

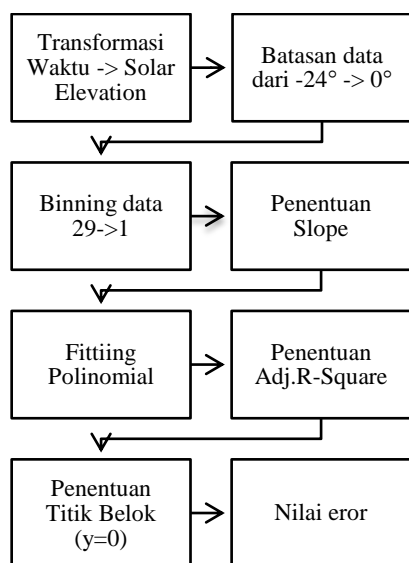
Penggunaan versi SQM-LU-DL ini juga dimaksudkan selain agar pemakaian perangkat tambahan seperti PC tidak diperlukan, penyimpanan data pada PC rawan terhadap fluktuasi daya yang berpengaruh pada nilai bacaan sensor akibat transfer data melalui kabel USB jika menggunakan resolusi tinggi hingga 1 detik. Oleh karena itu penyimpanan data akan memaksimalkan daya tampung dari microcontroller SQM sendiri yang memang sudah cukup besar. Sumber daya untuk SQM-LU-DL berasal dari pengisi daya *smartphone*. Penggunaan daya yang berasal dari baterai AA sebanyak 6 buah tidak digunakan karena saat daya turun dikhawatirkan dapat mengganggu nilai bacaan SQM.

Instrumen selanjutnya yang digunakan adalah stop kontak *timer*. Alat ini diperuntukkan untuk menghemat kapasitas memori dari *microcontroller* dengan memutus daya hanya pada waktu tertentu saja. Batas waktu pengamatan dibatasi dari pukul 00:00 hingga pukul 06:30. Hal ini dimaksudkan agar profil langit malam dapat dikenali dan memastikan Matahari telah terbit. Oleh karena itu diluar waktu tersebut, SQM tidak mendapatkan daya (tidak merekam). Dengan menggunakan stop kontak timer, batas jumlah hari yang dapat ditampung oleh memori SQM hingga 44 hari.

**3. DATA DAN METODE**

Data yang digunakan adalah data yang diambil pada bulan maret 2019 sebanyak 29 hari di Imah Noong (6,83 LS, +107,62 BT, 1.166 m). Data yang diambil tanpa ada seleksi, baik itu kondisi berawan, hujan, dengan Bulan atau pun cerah. SQM diarahkan ke ufuk timur dengan sudut elevasi 18° (terdapat bukit setinggi 8°).

Luaran data dari SQM adalah waktu dalam UT, waktu lokal, suhu, voltase, MPASS, dan satuan unit data. Yang digunakan selanjutnya hanya waktu lokal dan MPASS (lihat gambar 2).



**Gambar 2.** Alur pengolahan data dari luaran data SQM hingga penentuan kemunculan fajar.

Tahap pengolahan pertama dilakukan di Excel yaitu proses transformasi data waktu menjadi ketinggian Matahari. Data ketinggian Matahari ini seterusnya akan dipakai dalam *plotting* grafik untuk sumbu X. Persamaan transformasi pada excel sudah tersedia pada laman *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Pembatasan data yang digunakan akan melihat dari nilai *solar elevation*. Data dibatasi mulai dari -24° hingga 0°. Ketinggian -24° diambil dari kelipatan 6° pada setiap senja. Hal ini sebenarnya tidak terlalu diperhatikan, hal yang terpenting dalam penentuan ini adalah dalam grafik nanti masih terdapat profil langit gelap malam. Kemudian, proses *binning* adalah dengan cara meratakan data pada rentang tertentu. Rentang data yang digunakan adalah 29 data atau detik. Hal ini diambil karena kebutuhan waktu salat dengan resolusi 1 menit, sehingga perlu disediakan minimal resolusi 30 detik. Angka 29 diambil sebagai solusi jika akan diambil nilai tengah (median) dari pada rata-rata (mean) untuk kasus sebaran data yang tidak merata. Proses selanjutnya menentukan nilai *slope* (gradien kemiringan) dari grafik MPASS terhadap *solar elevation*. Sampai tahap ini, proses pengolahan data sama dengan *moving average*. Namun yang sulit di sini adalah penentuan kapan titik belok pada sebaran data gradien pada grafik karena data masih tersebar dengan rentang yang luas. Oleh karena itu digunakan *fitting* kurva untuk penentuan titik belok tersebut. *Fitting* kurva menggunakan polinomial orde 9. Hal ini karena nilai *Adjustable R-Square* orde 9 lebih tinggi dan *Residual Sum of Squares* paling rendah dibandingkan dengan orde di bawahnya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

**Table I.** Uji *fitting* kurva untuk berbagai polinomial

Polinomial	Adj. R-Square	Residual Sum of Squares
Orde 3	0.88728	6.17019
Orde 4	0.89881	5.51114
Orde 5	0.93351	3.60235
Orde 6	0.9397	3.24998
Orde 7	0.93951	3.2434
Orde 8	0.94403	2.98542
Orde 9	0.95499	2.38836

Parameter *Residual Sum of Squares* (RSS) adalah kuadrat dari selisih antara kurva *fitting* dengan data.

$$RSS = \sum_{i=1}^n (y - \hat{y})^2 \tag{1}$$

$$R^2 = 1 - \frac{RSS}{TSS} = 1 - \frac{\sum(y - \hat{y})^2}{\sum(y - \bar{y})^2} \tag{2}$$

Dimana TSS = *Total sum of square*

y = nilai y data

$\hat{y}$  = nilai y model

$\bar{y}$  = nilai y rata-rata

Jika nilai RSS tinggi, maka model kurang cocok dengan data. Nilai kesesuaian kurva *fitting* dilihat *R-Square* dengan rentang  $0 < R^2 < 1$ . Namun pendekatan nilai *R-Square* selalu lebih tinggi nilainya jika melibatkan variabel individu yang banyak, dalam hal ini adalah polinomial orde tinggi. Oleh karena itu *Adjustable R-Square* lebih cocok untuk kondisi polinomial orde 9 ini [9, 10].

$$\bar{R}^2 = 1 - \frac{n-1}{n-p} (1 - R^2) \tag{3}$$

Dengan  $p$  = tingkat orde polinomialnya, yaitu 9. Setelah mendapatkan kurva *fitting* dari grafik gradien terhadap solar elevation dengan polinomial orde 9, maka untuk menentukan dimana titik belok harus dicari dimana nilai “ $y$ ” adalah nol “0”. Namun pada polinomial orde 9 nilai “ $y=0$ ” biasanya terdapat pada posisi di beberapa nilai  $x$ . Nilai  $x$  paling kecil adalah nilai yang diambil. Untuk contoh pada data tanggal 27/03/2019 di Tabel II, nilai kemunculan fajar yang diambil adalah  $-14.72^\circ$ .

**Table II.** Nilai X untuk  $Y = 0$  pada data 27/03/2019.

Y	X1	X2	X3	X4	X5
0	-23.68°	-22.34°	-20.02°	-18.06°	-14.72°

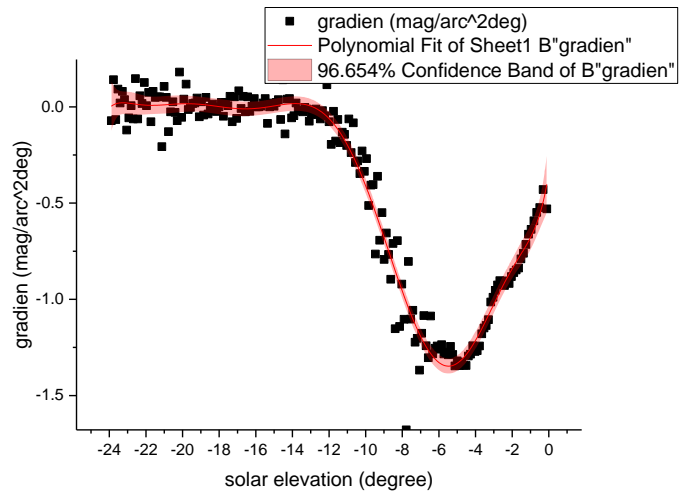
**4. HASIL DAN DISKUSI**

Dari data 32 hari yang diolah didapatkan nilai titik belok seperti yang ditunjukkan pada Tabel III.

**Table III.** Uji *fitting* kurva untuk berbagai polinomial

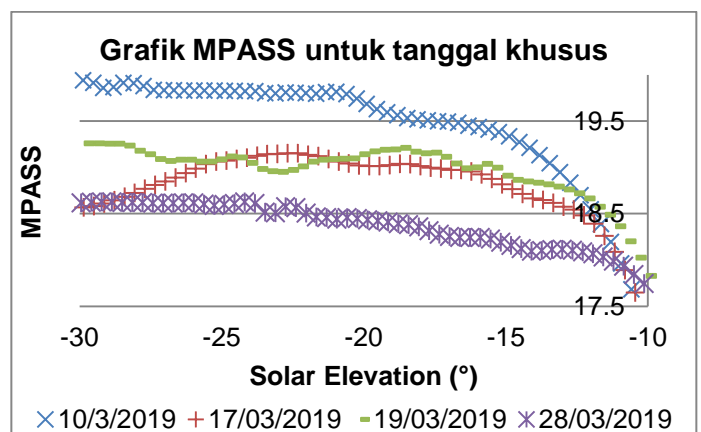
Tanggal	Titik Belok	Adj R S	Error
24022019	-13.6246	0.93433	0.5048
27022019	-14.474	0.94372	2.30924
28022019	-14.7163	0.95499	0.7173
01032019	-14.6946	0.89705	2.61208
02032019	-12.3483	0.92986	1.25174
03032019	-14.2741	0.92766	1.20914
04032019	-13.6245	0.9699	1.1875
05032019	-14.7928	0.94814	0.99446
06032019	-11.3264	0.93175	1.33798
07032019	-12.5482	0.96674	1.06164
08032019	-14.4798	0.89351	1.4266
09032019	-14.4778	0.88453	3.13896
10032019	-	0.84588	-
11032019	-14.6306	0.95025	0.92396
12032019	-16.9088	0.93237	2.65146
13032019	-14.8974	0.90783	1.41752
14032019	-12.8785	0.93026	0.7897
15032019	-15.9326	0.9441	1.48496
16032019	-12.807	0.808	1.33304
17032019	-23.2637	0.96824	8.73648
19032019	-18.9315	0.89446	15.53036
20032019	-15.3282	0.96337	0.6397
21032019	-14.1224	0.92923	0.66858
22032019	-14.2535	0.93142	0.97308
23032019	-11.5298	0.82737	0.93306
24032019	-11.321	0.85382	0.97264
25032019	-11.9147	0.51355	0.7007
26032019	-15.6047	0.95523	1.0628
27032019	-12.8967	0.96654	1.25108
28032019	-	0.89441	-
29032019	-15.2867	0.9085	1.41234
30032019	-11.88	0.93275	0.67914
31032019	-14.5297	0.90578	1.04844

Nilai *error* untuk penentuan titik belok diambil dari perpotongan batas atas pita *confidence* yang nilainya diambil dari *Adjustable R-Square*.



**Gambar 3.** Grafik untuk data tanggal 27/03/2019 di Imah Noong dengan pita *confidence* yang nilainya diambil dari nilai *Adjustable R-Square* 96.654%.

Dilihat melalui pengamatan visual pengamat, keunikan cuaca pada bulan Maret adalah kondisi pancaroba dimana terdapat berbagai macam kondisi langit. Mulai dari hujan, berkabut, dan cerah. Kondisi langit tersebut bisa kita identifikasi dari waktu kemunculan fajar. Misal untuk cuaca berawan tebal, pada Tabel III kemunculan fajar berkisar pada  $11^\circ-12^\circ$ . Untuk cuaca cerah berkisar pada nilai  $16^\circ$ . Namun dari semua kondisi cuaca tersebut, metode *fitting* kurva gradien dapat dengan baik memodelkan hampir semua kondisi perubahan kecerlangan langit dengan tingkat akurasi tinggi (*Adj. R-Square*  $>85\%$ ). Rata-rata nilai *Adj. R-Square* untuk semua data 90,74%



**Gambar 4.** Grafik data MPASS sebelum literatur fajar muncul Namun terdapat 6 hari dimana kondisi langitnya cukup menarik. Untuk 3 hari dari 6 hari tersebut mempunyai nilai *Adj. R-Square* tidak tinggi ( $<85\%$ ), yaitu tanggal 10, 16, dan 23. Kemungkinan kondisi ini akibat terjadi perubahan tutupan langit oleh awan, sehingga fluktuasi

kegelapan langit sangat tinggi. Alhasil polinomial orde 9 tidak bisa memodelkan kondisi tersebut. Kondisi yang lain terjadi pada tanggal 17 dan 19 yaitu titik belok jauh sebelum waktu litalatur, bahkan pada tanggal 10 dan 28 tidak bisa menemukan titik nol. Terlihat pada Gambar 4 untuk tanggal 10 dan 28 titik belok terjadi jauh sebelum *solar elevation*  $-24^\circ$ . Kondisi ini kemungkinan akibat penebalan awan sehingga membuat nilai kegelapan langit menjadi menurun sebelum fajar. Kondisi khusus seperti ini perlu dikonfirmasi dengan data yang lebih banyak lagi mungkin hingga satu tahun agar dapat melihat perbedaan perilaku kemunculan fajar saat musim hujan dan kemarau ataupun bahkan melihat bagaimana pengaruh dari fase bulan. Untuk kondisi cuaca pun perlu diamati secara langsung melalui pengamatan visual, misal dengan *all sky camera* sebagai kalobolator SQM dalam pengamatan ini. Dengan menyeleksi keenam tanggal ini karena memiliki *Adjustable R-Square* tidak tinggi ( $<85\%$ ) dan untuk tanggal 17 dan 19 Maret 2019 kasus khusus untuk kehadiran Bulan didapat rata-rata kemunculan pada *solar elevation*  $-13.86^\circ \pm 1.27^\circ$  dengan nilai paling dalam  $-16.9^\circ$  dan paling tinggi  $-11.32^\circ$ . Untuk menyimpulkan kemunculan fajar pada salah satu nilai tersebut masih terlalu dini, karena diperlukan data dengan dominasi langit terbuka (cerah). Sedangkan data pada bulan Maret ini didominasi cuaca berkabut dan berawan untuk melihat kemampuan dari metode *fitting* polinomial kurva gradien.

## 5. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil pengolahan ini adalah penggunaan metode *fitting* kurva polinomial orde 9 terhadap grafik gradien terhadap *solar elevation* dinilai “baik” dilihat dari nilai *Adjustable R-Square* semua data lebih dari 85% terkecuali kasus khusus yang memang adanya gangguan cuaca di Imah Noong.

## Referensi

1. Ibn Manzhur, (2005) *Lisan al-‘Arab*, Beirut: Dar Shadir, cet. IV, 130-131
2. USNO, (2011) Rise, Set, and Twilight Definitions, [http://aa.usno.navy.mil/faq/docs/RST\\_defs.php](http://aa.usno.navy.mil/faq/docs/RST_defs.php).
3. A. R. J. Butar-butur, (2018) Fajar & Syafak : Dalam Kesarjanaan Astronom Muslim dan Ulama Nusantara, Cetakan I LKiS Yogyakarta
4. S. Merali, (2016) Unifying Communities: with an open data research project to determine the time of fajar in Brimingham, UK, [https://openfajr.org/docs/research\\_paper.pdf](https://openfajr.org/docs/research_paper.pdf).
5. M. A. Niri, M. Z. Zainuddin, S. Man, M. S. Anwar, M. Nawawi, R. A. Wahab, K. Ismail, N. H. A. Zaki, A. A. Ghani and M. A. A. Lokman, (2012) Astronomical Determinations for the Beginning Prayer Time of Isha’, *Middle-East Journal of Scientific Research*, vol. 12 no. 1. DOI: 10.5829/idosi.mejsr.2012.12.1.1673
6. T. Saksono, (2017) Evaluasi Awal Waktu Subuh & Isya : Perspektif Sains, Teknologi, dan Syariah. UHAMKA Press & LPP AIKA UHAMKA. Cetakan I ISBN :978-602-1078-72-3.ason, Aurora and the Earth's magnetic field, (2012) <http://en.vedur.is/weather/articles/nr/2549>.
7. L. A. H. Noor, (2019) Analisis Perubahan Kecerahan Langit Saat Fajar dan Senja. Seminar Proposal Tesis. Institut Teknologi Bandung..
8. Unihedron, (2019) SQM-LU-DL Operator's Manual, [http://www.unihedron.com/projects/darksky/cd/SQM-LU-DL/SQM-LU-DL\\_Users\\_manual.pdf](http://www.unihedron.com/projects/darksky/cd/SQM-LU-DL/SQM-LU-DL_Users_manual.pdf).
9. R. Anderson-Sprecher, (1994) Model comparisons and R-square, *American Statistical Association* Vol. 48, No. 2 pp. 113-117, DOI /10.2307/2684259
10. S. Andrej-Nikolai, and N. Neumeyer, (2010) An evaluation of R2 as an inadequate measure for nonlinear models in pharmacological and biochemical research: a Monte Carlo approach, *BMC Pharmacol*, 10: 6., doi: 10.1186/1471-2210-10-6.
11. H. Adam, (2019) R-Squared Definition, <https://www.investopedia.com/terms/r/r-squared.asp>.

Received: 08 April 2018. Accepted: 15 May 2019