

**SENSITIVITAS SENSOR APS-C DAN
SMARTPHONE DALAM MENDETEKSI CAHAYA
FAJAR *ŞĀDIQ* SERTA RELEVANSINYA
DENGAN WAKTU SALAT SUBUH**

TESIS

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat
guna Memperoleh Gelar Magister
dalam Ilmu Falak



Oleh:

Muammar Al-Khairi

NIM: 23020680030

**PROGRAM MAGISTER ILMU FALAK
FAKULTAS SYARIAH DAN HUKUM
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG
2025**

MOTTO

سَلَامٌ قَوْلًا مِّن رَّبِّ رَحِيمٍ¹

(Kepada mereka dikatakan,) “Salam sejahtera” sebagai ucapan dari Tuhan Yang Maha Penyayang.

¹ Kementerian Agama Republik Indonesia, Al-Quran dan Terjemah (Cibiru Bandung: JABAL, 2010), 444.

PERSEMBAHAN

Kedua orang tua tercinta

Bapak Muslim H dan Ibu Lynda Murny

Terimakasih telah membesarkan, merawat, dan mendidik dengan sepenuh hati. Terimakasih atas segala kasih sayang, pengorbanan, nasihat, dan doa yang terus mengalir kepada saya. Terimakasih untuk semuanya.

Adik-adik tersayang **Yayang Muazzinah, Ayyasy Aqilla, dan Muhammad Mifdhal**. Terimakasih senantiasa memberikan dukungan dan semangat untuk bisa menyelesaikan pendidikan ini.

Keluarga besar. Terimakasih telah banyak memberikan dukungan dalam bentuk moril dan materil.

PENGESAHAN



**KEMENTERIAN AGAMA REPUBLIK INDONESIA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
FAKULTAS SYARI'AH DAN HUKUM**

Jalan Prof. Dr. H. Hamka Semarang 50185
Telepon (024)7601291, Faksimili (024)7624691, Website : <http://fs.walisongo.ac.id>

FTM-07

**PENGESAHAN PERBAIKAN
OLEH MAJELIS PENGUJI UJIAN TESIS**

Yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan bahwa tesis mahasiswa :

Nama : Muammar Al-Khairi
NIM : 23020680030
Judul : Sensitivitas Sensor APS-C dan *Smartphone* dalam Mendeteksi Cahaya Fajar *Şādiq*
serta Relevansinya dengan Waktu Salat Subuh

telah diujikan pada tanggal 25 Juni 2025 dan dinyatakan **LULUS** oleh majelis penguji :

NAMA

TANGGAL

TANDA TANGAN

Dr. M. Harun, M.H.
Ketua Majelis

11/07/2025

Dr. Amir Tairid, M.Ag.
Sekretaris

11/07/2025

Prof. Dr. Ahmad Izzuddin, M.Ag.
Penguji 1

11/07/2025

Dr. Maskur Rosvid, MA. HK.
Penguji 2

10/07/2025



NOTA DINAS

NOTA DINAS

Semarang, 13 Juni 2025

Kepada
Yth. Dekan Fakultas Syari'ah dan Hukum
UIN Walisongo
Di Semarang

Assalamu'alaikum wr. wb.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi terhadap tesis yang ditulis oleh:

Nama : **Muammar Al-Khairi**
NIM : 23020680030
Program : Magister Ilmu Falak
Studi : **Sensitivitas Sensor Aps-C Dan Smartphone**
Judul : **Dalam Mendeteksi Cahaya Fajar *Şadiq***
Serta Relevansinya Dengan Waktu Shalat
Subuh

Kami memandang bahwa tesis tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Syari'ah dan Hukum UIN Walisongo untuk diujikan dalam Sidang Ujian Tesis.

Wasaalamu 'alaikum wr. wb.

Pembimbing),



Dr. Amir Tajkid, M.Ag.
NIP. 197204202003121002

NOTA DINAS

Semarang, 13 Juni 2025

Kepada
Yth. Dekan Fakultas Syari'ah dan Hukum
UIN Walisongo
Di Semarang

Assalamu'alaikum wr. wb.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi terhadap tesis yang ditulis oleh:

Nama : **Muammar Al-Khairi**
NIM : 23020680030
Program Studi : Magister Ilmu Falak
Judul : **Sensitivitas Sensor APS-C dan
Smartphone dalam Mendeteksi Cahaya
Fajar *Şādiq* serta Relevansinya dengan
Waktu Salat Subuh**

Kami memandang bahwa tesis tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Syari'ah dan Hukum UIN Walisongo untuk diujikan dalam Sidang Ujian Tesis.

Wasaalamu 'alaikum wr. wb.

Semarang, 20 Mei 2025
Pembimbing II,



Dr. Ahmad Syifaul Anam, M.H.
NIP. 199008262019031008

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Judul : Sensitivitas Sensor APS-C dan *Smartphone*
dalam Mendeteksi Cahaya Fajar *Ṣādiq* serta
Relevansinya dengan Waktu Salat Subuh
Penulis : Muammar Al-Khairi
NIM : 23020680030
Program Studi : S2 Ilmu Falak

Menyetakan bahwa tesis yang berjudul: “Sensitivitas Sensor Aps-C Dan *Smartphone* Dalam Mendeteksi Cahaya Fajar *Ṣādiq* Serta Relevansinya Dengan Waktu Salat Subuh”. Secara keseluruhan adalah hasil penelitian/karya saya sendiri, kecuali bagian tertentu yang dirujuk sumbernya.

Semarang, 15 Juni 2025
Pembuat pernyataan



A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Muammar Al-Khairi'.

Muammar Al-Khairi
NIM. 23020680030

ABSTRAK

El-Sayed Eid menyatakan bahwa kemampuan sensor kamera dalam menangkap cahaya secara teoritis dipengaruhi oleh ukuran fisik sensor. Sensor berukuran besar seperti APS-C lebih sensitif dibandingkan sensor *smartphone* yang lebih kecil. Namun, perkembangan pesat teknologi kamera ponsel dalam hal optimasi pencahayaan dan algoritma pemrosesan citra memungkinkan penggunaannya dalam observasi fajar *ṣādiq*. Hasil observasi menunjukkan bahwa waktu kemunculan fajar *ṣādiq* yang direkam oleh kamera *smartphone* tidak berbeda secara signifikan dibandingkan dengan kamera bersensor APS-C. Kemiripan data waktu kemunculan fajar *ṣādiq* tersebut menunjukkan perlunya penelitian lebih lanjut mengenai sensitivitas kamera dengan sensor APS-C dan *smartphone* dalam mendeteksi cahaya fajar *ṣādiq*, untuk memastikan konsistensi, keidealannya, dan relevansi hasil observasi menggunakan kamera digital.

Penelitian ini bertujuan untuk menjawab permasalahan: (1) bagaimana sensitivitas ukuran sensor APS-C dan *smartphone* dalam mendeteksi cahaya fajar *ṣādiq*, (2) bagaimana kriteria ideal ukuran sensor kamera untuk menangkap citra fajar *ṣādiq* dan relevansi datanya terkait dengan waktu shalat subuh?. Permasalahan tersebut dibahas menggunakan metode observasi lapangan dengan pendekatan komparatif-deskriptif. Pengamatan dilakukan di lokasi langit gelap, Karimunjawa, untuk meminimalkan polusi cahaya. Data dikumpulkan melalui citra langit timur menjelang Subuh yang diambil secara bersamaan menggunakan kamera Fujifilm X-T30 (APS-C) dan Samsung Galaxy A16 (*smartphone*), dengan pengaturan eksposur seragam. Data berupa citra fajar dianalisis menggunakan perangkat lunak AstroImageJ untuk ekstraksi intensitas cahaya, lalu dipetakan melalui LabPlot dengan metode *moving average*.

Penelitian ini menemukan bahwa: (1) Sensitivitas kedua sensor tidak berbeda secara signifikan dalam mendeteksi kemunculan fajar *ṣādiq* tampak dari kurva intensitas yang merepresentasikan transisi cahaya fajar *ṣādiq* yang dihasilkan. (2) Kamera dengan sensor APS-C dan *smartphone* ideal untuk digunakan dalam mendeteksi sinar fajar *ṣādiq*. Namun, sensor APS-C mampu menghasilkan citra yang lebih bersih dan stabil sehingga kamera dengan sensor APS-C lebih direkomendasikan sebagai alat pengamatan fajar *ṣādiq*. Data fajar *ṣādiq* yang dihasilkan sensor APS-C dan *smartphone* relevan berdasarkan standar -20° yang digunakan Kementerian Agama. Dalam kondisi yang ideal, fajar *ṣādiq* dari kedua kamera teramati pada pukul 04:19 WIB (sudut $-19^\circ 55'$).

Kata Kunci: Fajar *ṣādiq*, sensor kamera, APS-C, *smartphone*, waktu Subuh, citra digital

ABSTRACT

El-Sayed Eid stated that the theoretical ability of a camera sensor to capture light is influenced by its physical size. Larger sensors such as APS-C are generally more sensitive than smaller smartphone sensors. However, the rapid advancement of smartphone camera technology, particularly in terms of light optimization and image processing algorithms, has enabled their use in the observation of fajr *ṣādiq*. Observational results indicate that the recorded time of fajr *ṣādiq* emergence captured by smartphone cameras does not differ significantly from that captured by APS-C sensor cameras. This similarity in the timing of fajr *ṣādiq* suggests the need for further research on the sensitivity of APS-C and smartphone cameras in detecting fajr light, in order to ensure the consistency, reliability, and relevance of observational results obtained through digital imaging devices.

This study aims to address the following research problems: (1) How sensitive are APS-C and smartphone sensor sizes in detecting the light of fajr *sadiq*? (2) What are the ideal criteria for camera sensor size to capture the image of fajr *ṣādiq*, and how relevant is the resulting data to the timing of the Subuh prayer? These issues are examined using a field observation method with a comparative-descriptive approach. Observations were conducted at a dark-sky location in Karimunjawa to minimize light pollution. Data were collected through simultaneous imaging of the eastern sky before Subuh using a Fujifilm X-T30 (APS-C) and a Samsung Galaxy A16 (smartphone), both set to identical exposure settings. The dawn images were analyzed using AstroImageJ software to extract light intensity data, which were then visualized in LabPlot using the *moving average* method.

This study found that: (1) The sensitivity of both sensors does not differ significantly in detecting the appearance of fajr *ṣādiq*, as indicated by the intensity curves representing the light transition at dawn. (2) Cameras with APS-C sensors and smartphones are both suitable for detecting fajr *ṣādiq* light. However, APS-C sensors produce cleaner and more stable images; therefore, APS-C cameras are more recommended for fajr *ṣādiq* observations. The fajr *ṣādiq* data generated by both APS-C and smartphone sensors are relevant based on the -20° standard adopted by the Ministry of Religious Affairs. Under ideal conditions, fajr *ṣādiq* was observed by both cameras at 04:19 Western Indonesian Time (WIB), corresponding to an altitude angle of $-19^\circ 55'$.

Keywords: Fajar *ṣādiq*, camera sensor, APS-C, smartphone, Subuh prayer time, digital imaging

الْمُلْحَصُ

وَفَقًّا لِإِل- سَيِّدِ عَيْدٍ، فَإِنَّ الْقُدْرَةَ النَّظَرِيَّةَ لِمُسْتَشْعِرِ الْكَامِيرَا عَلَى التَّقَاطُفِ الضَّوئِيِّ تَتَأَثَّرُ بِحُجْمِهِ الْفِيْزِيَّائِيِّ. فَالْمُسْتَشْعِرَاتُ الْكَبِيرَةُ مِثْلُ APS-C تَكُونُ عُمُومًا أَكْثَرُ حَسَاسِيَّةً مِنْ مُسْتَشْعِرَاتِ الْهَوَاتِفِ الذَّكِيَّةِ الْأَصْغَرِ حَجْمًا. وَمَعَ ذَلِكَ، فَإِنَّ التَّطَوُّرَ السَّرِيعَ فِي تِكْنُوْلُوجِيَا كَامِيرَاتِ الْهَوَاتِفِ الذَّكِيَّةِ، لَا سِيَّمَا فِي مَجَالِ تَحْسِينِ الْإِضَاءَةِ وَحَوَازِمِيَّاتِ مُعَالَجَةِ الصُّوْرِ، قَدْ مَكَّنَ مِنْ اسْتِخْدَامِهَا فِي رَصْدِ الْفَجْرِ الصَّادِقِ. وَتُشِيرُ نَتَائِجُ الرَّصْدِ إِلَى أَنَّ وَقْتُ ظُهُورِ الْفَجْرِ الصَّادِقِ الْمُسَجَّلِ بِوَاسِطَةِ كَامِيرَاتِ الْهَوَاتِفِ الذَّكِيَّةِ لَا يَخْتَلِفُ اخْتِلَافًا كَبِيرًا عَنِ الْوَقْتِ الْمُسَجَّلِ بِكَامِيرَاتِ مَرْوَدَةِ مُسْتَشْعِرِ APS-C. وَتَدُلُّ هَذِهِ التَّشَاهُجَاتُ فِي تَوْقِيتِ الْفَجْرِ الصَّادِقِ عَلَى ضَرُورَةِ إِجْرَاءِ الْمَزِيدِ مِنَ الْأَنْجَاحِ حَوْلَ حَسَاسِيَّةِ كَامِيرَاتِ APS-C وَالْهَوَاتِفِ الذَّكِيَّةِ فِي رَصْدِ ضَوْءِ الْفَجْرِ، وَذَلِكَ لِضَمَانِ اتِّسَاقٍ وَمَوْثُوقِيَّةٍ وَمُلَاءَمَةٍ لِنَتَائِجِ الرَّصْدِ الْمُسْتَخْلَصَةِ مِنَ الْأَجْهَرَةِ الرَّقْمِيَّةِ الْبَصَرِيَّةِ.

تَهْدِفُ هَذِهِ الدِّرَاسَةُ إِلَى مُعَالَجَةِ الْإِشْكَالِيَّاتِ الْبُحْثِيَّةِ التَّالِيَةِ: (١) مَا مَدَى حَسَاسِيَّةِ مُسْتَشْعِرَاتِ كَامِيرَاتِ APS-C وَالْهَوَاتِفِ الذَّكِيَّةِ فِي الْكَشْفِ عَنِ ضَوْءِ الْفَجْرِ الصَّادِقِ؟ (٢) مَا مَدَى مِثَالِيَّةِ كَامِيرَاتِ APS-C وَالْهَوَاتِفِ الذَّكِيَّةِ فِي تَحْدِيدِ وَقْتِ صَلَاةِ الصُّبْحِ، وَمَا مَدَى مُلَاءَمَةِ بَيَانَاتِ الْفَجْرِ الصَّادِقِ الَّتِي تُنْتِجُهَا؟ تَمَّتْ مُنَاقَشَةُ هَذِهِ الْفُصَايَا بِاسْتِخْدَامِ مَنَهِجِ الرَّصْدِ الْمُبْدَإِيِّ مِنْ خِلَالِ مُقَارَنَةِ وَصْفِيَّةٍ مُقَارَنَةٍ. وَقَدْ أُجْرِيتِ الْمُلَاحَظَاتُ فِي مَنَظِقَةٍ دَاتِ سَمَاءٍ مُظْلَمَةٍ فِي كَرِيمَنْجَاوَا بِمَهْدَفِ تَقْلِيلِ التَّلَوُّثِ الضَّوئِيِّ. جُمِعَتِ الْبَيَانَاتُ مِنْ خِلَالِ تَصْوِيرٍ مُتَزَامٍ لِلْسَّمَاءِ الشَّرْقِيَّةِ قُبْلَ صَلَاةِ الصُّبْحِ بِاسْتِخْدَامِ كَامِيرَا Fujifilm X (APS-C) (T30 وهاتف Samsung Galaxy A16 هاتف ذكي)، مَعَ ضَبْطِ إِعْدَادَاتِ التَّعْرِيزِ بِشَكْلِ مُتَمَاثِلٍ. ثُمَّ تَمَّ تَحْلِيلُ صُورِ الْفَجْرِ بِاسْتِخْدَامِ بَرْنَامِجِ AstroImageJ لِاسْتِخْلَاصِ بَيَانَاتِ شِدَّةِ الضَّوءِ، وَتَمَّ تَمَثِيلُهَا بِصَرِيًّا عَنِ بَرْنَامِجِ LabPlot بِاسْتِخْدَامِ طَرِيقَةِ الْمُتَوَسِّطِ الْمُتَحَرِّكِ.

تَوَصَّلْتُ هَذِهِ الدِّرَاسَةَ إِلَى مَا يَلِي: (١) لَا تُوجَدُ فُرُوقٌ كَبِيرَةٌ فِي حَسَابِيَةِ كَيْلَا
 الْمُسْتَشْعَرِينَ فِي الْكَشْفِ عَنِ ظُهُورِ الْفَجْرِ الصَّادِقِ، كَمَا يَتَّضِعُ مِنْ مُنْخَنِيَّاتِ الشِّدَّةِ الَّتِي
 تَمَثِّلُ انْتِقَالَ الضَّوِّ عِنْدَ الْفَجْرِ. (٢) تُعْتَبَرُ الْكَامِيرَاتُ الْمُرَوَّدَةُ بِمُسْتَشْعِرَاتِ APS-C
 وَالْهَاتِفُ الذَّكِيُّ مُنَاسِبَةٌ لِرِصْدِ ضَوْءِ الْفَجْرِ الصَّادِقِ. وَمَعَ ذَلِكَ، فَإِنَّ مُسْتَشْعِرَاتِ APS-
 C تَنْتِجُ صُورًا أَنْظَفَ وَأَكْثَرَ اسْتِقْرَارًا؛ وَبِالتَّالِي، يُوصَى بِاسْتِحْدَامِ كَامِيرَاتِ APS-C
 بِشَكْلِ أَكْبَرَ فِي مَلاحِظَاتِ الْفَجْرِ الصَّادِقِ. كَمَا أَنَّ بَيِّنَاتِ الْفَجْرِ الصَّادِقِ الَّتِي تَمَّ الْحُصُولُ
 عَلَيْهَا مِنْ كَيْلَا الْمُسْتَشْعَرِينَ APS-C وَالْهَاتِفِ الذَّكِيِّ تُعَدُّ مُلَائِمَةً اسْتِنَادًا إِلَى مَعْيَارِ -
 20° الَّذِي تَعْتَمِدُهُ وَزَارَةُ الشُّؤُونِ الدِّينِيَّةِ. وَفِي ظِلِّ طُرُوفٍ مِثَالِيَّةٍ، تَمَّ رِصْدُ الْفَجْرِ الصَّادِقِ
 بِوَاسِطَةِ الْكَامِيرَتَيْنِ فِي تَمَامِ السَّاعَةِ 04:19 بِتَوْقِيثِ عَرَبِ إِنْدُونِيسِيَا (WIB)، وَهُوَ مَا
 يُقَابِلُ زَاوِيَةَ ارْتِفَاعٍ قَدْرُهَا 19°55'.

الكَلِمَاتُ الْمُفْتَاخِيَّةُ: الْفَجْرُ الصَّادِقُ، مُسْتَشْعِرُ الْكَامِيرَا، APS-C، الْهَاتِفُ الذَّكِيُّ،
 وَقْتُ الصُّبْحِ، الصُّورَةُ الرَّقْمِيَّةُ

TRANSLITERASI ARAB-LATIN

Surat Keputusan Bersama (SKB) Menteri Agama dan Menteri pendidikan dan Kebudayaan RI. Nomor 158 Tahun 1987 dan nomor 0543b/U/1987.

1. Konsonan

No	Arab	Latin
1	ا	tidak dilambangkan
2	ب	b
3	ت	t
4	ث	ṡ
5	ج	j
6	ح	ḥ
7	خ	kh
8	د	d
9	ذ	ẓ
10	ر	r
11	ز	z
12	س	s
13	ش	sy
14	ص	ṣ
15	ض	ḍ

No	Arab	Latin
16	ط	ṭ
17	ظ	ẓ
18	ع	ʿ
19	غ	g
20	ف	f
21	ق	q
22	ك	k
23	ل	l
24	م	m
25	ن	n
26	و	w
27	هـ	h
28	ء	ʾ
29	ي	y

2. Vokal Pendek

.... = a	كَتَبَ	kataba
.... = i	سُئِلَ	su'ila
.... = u	يُكَلِّبُ	yazhabu

3. Vokal Panjang

أ... = ā	قَالَ	qāla
إِ = ī	قِيلَ	qīla
أُ = ū	يُقُولُ	yaqūlu

4. Diftong

أَيَّ	كَيْفَ	kaifa
أَوْ	حَوْلَ	ḥaula

Catatan:

Kata sandang [al-] pada bacaan syamsiyyah atau qamariyyah ditulis [al-] secara konsisten supaya selaras dengan teks Arabnya.

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Alḥamdulillāhi Rabbil ‘ālamīn, segala puji dan syukur dipanjatkan ke hadirat Allah ﷻ atas limpahan rahmat, taufik, dan inayah-Nya, sehingga tesis yang berjudul: “Sensitivitas Sensor Kamera APS-C dan *smartphone* dalam Mendeteksi Fajar *Ṣādiq* serta Relevansinya terhadap Waktu Subuh” ini dapat diselesaikan dengan lancar dan sesuai dengan waktu yang telah direncanakan. Ṣalawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada junjungan Nabi Muhammad ﷺ, keluarga beliau, para sahabat, serta seluruh umatnya hingga akhir zaman. Semoga kita semua mendapatkan syafa’at beliau di yaum al-qiyāmah, Āmīn Allāhumma Āmīn.

Tesis ini berangkat dari perhatian penulis terhadap salah satu persoalan penting dalam ilmu falak, yakni pengamatan fajar *ṣādiq* sebagai penanda awal waktu salat Subuh. Dalam praktiknya, observasi ini melibatkan penggunaan perangkat optik dengan karakteristik teknis yang beragam, terutama dalam hal ukuran dan sensitivitas sensor kamera. Seiring pesatnya perkembangan teknologi digital, muncul fenomena baru bahwa kamera *smartphone* ternyata mampu menghasilkan data pengamatan fajar *ṣādiq* yang cukup mendekati hasil dari kamera profesional bersensor APS-C. Hal ini menimbulkan pertanyaan mendasar mengenai validitas dan sensitivitas perangkat yang digunakan dalam observasi falakiah.

Berangkat dari fenomena tersebut, penelitian ini mengkaji sensitivitas sensor kamera ponsel dan APS-C dalam mendeteksi cahaya fajar *ṣādiq*, serta menganalisis validitas data fajar *ṣādiq* dari hasil pengamatan. Dengan pendekatan komparatif-deskriptif dan lokasi pengamatan di wilayah langit gelap, tesis ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam upaya menstandarkan instrumen observasi waktu salat secara lebih objektif dan berbasis data.

Penulis menyadari bahwa penyusunan tesis ini tidak lepas dari dukungan, bimbingan, dan bantuan berbagai pihak. Untuk itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ayah dan Ibu tercinta, Bapak Muslim H. dan Ibu Lynda Murny, atas cinta, doa, dan pengorbanan yang tak pernah terputus, serta kepada saudara-saudari tersayang: Yayang Muazzinah, Ayyasy Aqilla, dan Muhammad Mifdhal yang selalu memberi semangat dan dukungan. Terimakasih banyak atas segalanya.
2. Dr. Amir Tajrid, M.Ag., selaku pembimbing I dan Dr. Ahmad Syifaul Anam, M.H., selaku pembimbing II atas kesediaan membimbing, memberi masukan, dan arahan yang sangat berarti dalam proses penyusunan tesis ini.
3. Prof. Dr. KH. Ahmad Izzuddin, M.Ag. yang telah banyak menjadi inspirasi penulis dan sudah sangat banyak membimbing penulis untuk menjadi insan yang lebih baik.
4. Dr. KH M. Basthoni, S.H.I, M.H. yang telah banyak menjadi inspirasi penulis dan sudah sangat banyak membantu penulis dalam menyusun tesis ini, terimakasih banyak bapak.
5. Seluruh Dosen Fakultas Syariah dan Hukum, terkhusus Dosen Prodi Magister Ilmu Falak UIN Walisongo Semarang.
6. Waled Nuruzzahri Yahya, ayah rohani penulis yang telah memperkenalkan dasar-dasar ilmu agama dan menjadi pembimbing spiritual sepanjang hidup penulis.
7. Seluruh guru Dayah Ummul Ayman Samalanga, Ustadz Ridha, Ustadz Syarbaini, Ustadz Kafrawi, Ustadz Muzakkir Lc, Ustadz Zulfikar, Ustadz Fadli, dan para asatidz lainnya.
8. Keluarga tidak sedarah: Enul, Agus, Mumup, Rizkur, Syahrul, Ashabul, Sirli, Fazrul, Fadhil Mubarrak, dan Farras yang selalu siap mendampingi dan membantu dalam proses akhir penyusunan tesis ini.
9. Keluarga Zelfandeus dan Asrama Gus Miek, yang sudah menjadi teman dan keluarga selama dua tahun ini. Terimakasih banyak atas bantuan dan kebersamaannya.

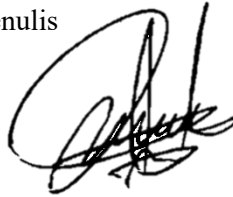
10. Kepada Beliau, yang sudah menjadi motivasi dan inspirasi penulis dalam menyelesaikan studi tahap ini. Terimakasih banyak, Ya. Semoga selalu dalam kebaikan dan lindungan Allah.

11. Serta seluruh pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu, yang telah memberikan bantuan baik secara moril maupun materil.

Semoga semua bantuan dan kebaikan yang diberikan tercatat sebagai amal jariyah di sisi Allah ﷻ. Penulis menyadari bahwa karya ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan karya keilmuan ini di masa mendatang. Besar harapan penulis, semoga tesis ini dapat memberikan manfaat, memperluas wawasan pembaca, serta menjadi bagian kecil dari kontribusi keilmuan dalam bidang falak kontemporer.

Semarang, 15 Juni 2025

Penulis



Muammar Al-Khairi

NIM. 23020680030

DAFTAR ISI

MOTTO.....	ii
PERSEMBAHAN.....	iii
PENGESAHAN	iv
NOTA DINAS	v
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS.....	vii
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT	ix
الْمُلَخَّصُ	x
TRANSLITERASI ARAB-LATIN	xii
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xvi
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL	xx
 BAB I : PENDAHULUAN	 1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Rumusan Masalah.....	5
C. Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	5
D. Kajian Pustaka	6
E. Metode Penelitian	13
F. Sistematika Pembahasan.....	18
 BAB II :TEORI FAJAR <i>ṢĀDIQ</i> DAN FOTOGRAFI.....	 21
A. Fajar <i>Ṣādiq</i> dalam Tinjauan Fikih.....	22
B. Fajar dalam Tinjauan Astronomi	29
C. Teori Fotografi, Kamera, dan Citra.....	34
D. Menentukan Titik Belok Kurva Fajar	43
 BAB III :PENGAMATAN FAJAR <i>ṢĀDIQ</i> MENGGUNAKAN KAMERA APS-C DAN SMARTPHONE	 45
A. Pengamatan Fajar <i>Ṣādiq</i> dengan Kamera APS-C Dan Smartphone.....	45

	B. Interpretasi Data Pengamatan Fajar <i>Şādiq</i> Menggunakan Kamera APS-C Dan Smartphone	55
BAB IV	:SENSITIVITAS UKURAN SENSOR TERHADAP DATA PENGAMATAN FAJAR ŞĀDIQ	71
	A. Analisis Sensitivitas Ukuran Sensor Terhadap Data Pengamatan Fajar <i>Şādiq</i>	71
	B. Relevansi Data Pengamatan Fajar <i>Şādiq</i> Menggunakan Sensor Kamera APS-C dan Smartphone	94
BAB V	:PENUTUP	99
	A. Kesimpulan	99
	B. Saran	101
	C. Penutup	102
	DAFTAR PUSTAKA	103
	LAMPIRAN	109
	Lampiran 1:	109
	Lampiran 2:	118
	Lampiran 3:	127
	Lampiran 4:	136
	Lampiran 5:	145
	Lampiran 6:	154
	DAFTAR RIWAYAT HIDUP	163

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1	Contoh gambar yang diambil menggunakan kamera dengan ukuran sensor yang berbeda. Gambar ini diambil menggunakan kamera Canon C100 Mark II (APS-C).....	2
Gambar 1. 2	Sedangkan gambar ini menggunakan kamera telepon pintar Xiaomi Mi 5	2
Gambar 1. 3	Tahapan analisis data.....	18
Gambar 3. 1	Kurva nilai rata-rata intensitas cahaya pengamatan 30 April	58
Gambar 3. 2	Kondisi langit pengamatan 30 April	59
Gambar 3. 3	Kurva nilai rata-rata intensitas cahaya pengamatan 1 Mei	60
Gambar 3. 4	Kondisi langit pengamatan 1 Mei	61
Gambar 3. 5	Kurva nilai rata-rata intensitas cahaya pengamatan 2 Mei	62
Gambar 3. 6	Kondisi langit pengamatan 2 Mei	63
Gambar 3. 7	Kurva nilai rata-rata intensitas cahaya pengamatan 3 Mei	64
Gambar 3. 8	Kondisi langit pengamatan 3 Mei	65
Gambar 3. 9	Kurva nilai rata-rata intensitas cahaya pengamatan 4 Mei	66
Gambar 3. 10	Kondisi langit pengamatan 4 Mei	67
Gambar 3. 11	Kurva nilai rata-rata intensitas cahaya pengamatan 5 Mei	68
Gambar 3. 12	Kondisi langit pengamatan 5 Mei	69
Gambar 4. 1	<i>Zoom In</i> kurva fajar X-T30 pada tanggal 30 April	74
Gambar 4. 2	<i>Zoom In</i> kurva fajar Samsung A16 pada tanggal 30 April	75
Gambar 4. 3	<i>Zoom In</i> kurva fajar X-T30 pada tanggal 1 Mei	77
Gambar 4. 4	<i>Zoom In</i> kurva fajar Samsung A16 pada tanggal 1 Mei..	78
Gambar 4. 5	<i>Zoom In</i> kurva fajar X-T30 pada tanggal 2 Mei	80
Gambar 4. 6	<i>Zoom In</i> kurva fajar Samsung A16 pada tanggal 2 Mei..	81
Gambar 4. 7	<i>Zoom In</i> kurva fajar X-T30 pada tanggal 3 Mei	82
Gambar 4. 8	<i>Zoom In</i> kurva fajar Samsung A16 pada tanggal 3 Mei..	84
Gambar 4. 9	<i>Zoom In</i> kurva fajar X-T30 pada tanggal 4 Mei	86
Gambar 4. 10	<i>Zoom In</i> kurva fajar Samsung A16 pada tanggal 4 Mei	87
Gambar 4. 11	<i>Zoom In</i> kurva fajar X-T30 pada tanggal 5 Mei	89

Gambar 4. 12 <i>Zoom In</i> kurva fajar Samsung A16 pada tanggal 5 Mei	90
Gambar 4. 13 Gambar yang dihasilkan kamera X-T30 saat awal sinar fajar <i>ṣādiq</i> terdeteksi	93
Gambar 4. 14 Gambar yang dihasilkan kamera Samsung A16 saat awal sinar fajar <i>ṣādiq</i> terdeteksi.....	94
Gambar 4. 15 Sudut Depresi Matahari menurut <i>accurate time</i>	96

DAFTAR TABEL

Tabel 2 1 Perbedaan ketinggian fajar berbagai organisasi dan negara	32
Tabel 2 2 Perbedaan nilai tinggi matahari untuk waktu Subuh ulama Falak Indonesia	33
Tabel 3. 1 Spesifikasi instrumen X-T30	50
Tabel 3. 2 Spesifikasi instrumen Samsung A16	52
Tabel 4. 1 Rekapitan perbandingan sensitivitas kedua instrumen yang digunakan dalam mendeteksi fajar <i>ṣādiq</i>	92

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Kemampuan sensor kamera dalam menangkap cahaya, secara teori, dipengaruhi oleh ukuran fisik sensornya.² Sensor yang lebih besar umumnya mampu menangkap cahaya lebih banyak karena memiliki *photosite* (piksel) berukuran lebih besar. Piksel pada sensor gambar adalah pengumpul cahaya, yang kemudian mengubahnya menjadi data.³ Hal ini menghasilkan peningkatan sensitivitas terhadap cahaya, memperluas *dynamic range*, dan dalam pengamatan fajar *ṣādiq* memperjelas kontras antara cahaya fajar dan langit sekitar. Sehingga, performa kamera dengan sensor besar seperti APS-C⁴ secara teknis dinilai lebih baik,⁵ dibandingkan dengan kamera

² Zeljko Santosi dkk., “Comparative analysis of Full Frame and APS-C camera sensors on 3D digitization results,” dalam *2017 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS)* (IEEE, 2017), 1–5.

³ Snapshot, “Kamera Full-Frame vs APS-C: Manakah yang Sebaiknya Saya Pilih?,” Canon Asia, 2022, <https://snapshot.canon-asia.com/id/article/indo/full-frame-vs-aps-c-camera-which-should-i-choose>.

⁴ Istilah APS-C merupakan akronim dari Advanced Photo System type-C, yang berasal dari format “Classic” dalam sistem film negatif APS. Format ini pertama kali diperkenalkan oleh produsen kamera pada tahun 1996 sebagai bagian dari strategi untuk meningkatkan aksesibilitas teknologi fotografi bagi pengguna non-profesional. Dengan berkembangnya era fotografi digital, produsen mulai mengadopsi sensor gambar digital yang memiliki dimensi mendekati format tersebut guna mempertahankan kompatibilitas desain serta kualitas hasil pencitraan. Baca: SNAPSHOT, “Kamera Full-Frame vs APS-C: Manakah yang Sebaiknya Saya Pilih?,” Canon Asia, 2022, <https://snapshot.canon-asia.com/id/article/indo/full-frame-vs-aps-c-camera-which-should-i-choose>.

⁵ C. Díaz-Vilariño, D. Martín-Torres and J. Martínez-Sánchez, *Impact of Sensor Size on the Photogrammetric Performance of a Digital Camera* [Journal] // Remote Sensing, - 2017.

smartphone yang memiliki sensor kecil. Sebagai perbandingan hasil citra yang dihasilkan kedua instrumen tersebut dapat dilihat dari gambar berikut:



Gambar 1. 1 Contoh gambar yang diambil menggunakan kamera dengan ukuran sensor yang berbeda. Gambar ini diambil menggunakan kamera Canon C100 Mark II (APS-C)



Gambar 1. 2 Sedangkan gambar ini menggunakan kamera telepon pintar Xiaomi Mi 5

Namun demikian, kemajuan teknologi telah memungkinkan kamera *smartphone* modern kini dilengkapi dengan algoritma pemrosesan gambar dan kemampuan optimasi pencahayaan yang telah mengalami kemajuan besar.⁶ Dalam kondisi tertentu, kemajuan teknologi memungkinkan kamera ponsel menghasilkan gambar yang mendekati kualitas gambar kamera digital.⁷

Kemajuan performa kamera *smartphone* berpotensi menjadikannya alternatif alat observasi pengamatan fajar *ṣādiq*. Fenomena ini tercermin dalam beberapa pengamatan fajar *ṣādiq* yang telah dilakukan sebelumnya. Misalnya, M. Nur Iskandar Fajri berhasil mengamati fajar *ṣādiq* menggunakan kamera ponsel pada sudut elevasi matahari $-19,4372^\circ$ di Bawean.⁸ Hasil ini mendekati pengamatan Rusli menggunakan kamera bersensor APS-C yang mencatat fajar pada $-20,6265^\circ$ di Masalembu.⁹

Kemiripan hasil dari dua perangkat dengan spesifikasi teknis yang berbeda signifikan tersebut menimbulkan pertanyaan penting terkait bagaimana sensitivitas kedua perangkat tersebut dalam

⁶ Paul Friederichsen, “Recent Advances in Smartphone Computational Photography,” *Scholarly Horizons: University of Minnesota, Morris Undergraduate Journal* 8, no. 1 (1 Maret 2021), <https://doi.org/10.61366/2576-2176.1088>.

⁷ David Cardinal, “Smartphones vs Cameras: Closing the gap on image quality,” DXOMARK, 19 Maret 2020.

⁸ M. Nur Iskandar Fajri, “Uji Komparasi Olah Citra Fajar Menggunakan Metode Analisa Perbandingan Intensitas Cahaya dan 3D Surface” (Tesis, Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang, 2024).

⁹ Rusli Rusli, Niswatul Kariimah, dan Mahfudz Mahfudz, “Determination Dawn of Shadiq in Masalembu Island by Using Image Processing Sobel Edge Detection Technique,” dalam *International Conference on Law, Technology, Spirituality and Society (ICOLESS)*, vol. 1, 2021, 57–66.

mendeteksi sinar fajar *ṣādiq*, dan bagaimana relevansi data fajar *ṣādiq* yang berhasil ditangkap kedua perangkat tersebut jika dibandingkan dengan data fajar *ṣādiq* yang digunakan pemerintah saat ini. Sehingga dengan demikian dapat ditentukan kriteria ideal ukuran sensor yang baik digunakan dalam pengamatan fajar *ṣādiq* ini.

Dalam ilmu falak, penentuan waktu salat memiliki posisi krusial, terutama waktu Subuh yang ditentukan oleh munculnya fajar *ṣādiq*, yakni cahaya putih horizontal di ufuk timur.¹⁰ Fajar *ṣādiq* merupakan fenomena astronomis yang sangat redup dan tipis¹¹ sehingga pengamatannya membutuhkan ketelitian dan perangkat yang sensitif terhadap cahaya lemah. Oleh karena itu, ketepatan dalam mendeteksi fajar *ṣādiq* dapat dipengaruhi oleh kualitas perangkat observasi, khususnya sensor kamera yang digunakan.

Di sisi lain, belum adanya standar alat observasi fajar dalam hal spesifikasi teknis, terutama ukuran sensor,¹² menjadikan praktik pengamatan fajar sangat beragam dan berpotensi menghasilkan hasil yang tidak konsisten. Observasi fajar dilakukan dengan perangkat mulai dari kamera ponsel hingga kamera bersensor APS-C, tanpa kejelasan batas kualitas yang diperlukan untuk menjamin akurasi.

Oleh karena itu, penelitian terhadap sensitivitas kamera dengan sensor APS-C dan kamera ponsel dalam mendeteksi cahaya fajar

¹⁰ Ahmad Musonnif, “Ilmu Falak Metode Hisab Awal Waktu Shalat, Arah Kiblat, Hisab Urfi dan Hisab Hakiki Awal Bulan,” Yogyakarta: Teras, 2011, 71.

¹¹ M Basthoni, “Efek Polusi Cahaya Terhadap Penentuan Awal Waktu Subuh Di Indonesia,” Disertasi Program Doktorat Studi Islam Pasca Sarjana Uin Walisongo Semarang (Semarang, 2022).

¹² Marataon Ritonga, “Pengamatan Fajar Ṣādiq Menggunakan All Sky Camera Di Kota Medan” (Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang, 2022).

ṣādiq menjadi penting dilakukan. Kesamaan hasil yang telah dijelaskan sebelumnya masih perlu divalidasi secara sistematis melalui pendekatan komparatif untuk menilai tingkat akurasi sensor ponsel dalam konteks observasi fajar. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan dasar rasional dan ilmiah dalam memilih perangkat yang layak untuk observasi waktu salat, sekaligus memperluas alternatif alat observasi dengan tetap menjamin keakuratan data yang dihasilkan.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, dapat dirumuskan pokok-pokok masalah dalam penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana sensitivitas ukuran sensor APS-C dan *smartphone* dalam mendeteksi cahaya fajar *ṣādiq*?
2. Bagaimana kriteria ideal ukuran sensor kamera untuk menangkap citra fajar *ṣādiq* dan relevansi datanya terkait dengan waktu shalat subuh?

C. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari tesis ini adalah:

1. Menganalisis data fajar yang berhasil ditangkap oleh kamera dengan ukuran sensor APS-C dan *smartphone*.
2. Menemukan kriteria ideal ukuran sensor kamera untuk menangkap citra fajar dan relevansi data tersebut dengan waktu salat Subuh.

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini, yaitu:

1. Menambah khazanah keilmuan dalam bidang falak/ astronomi, terutama mengenai pemahaman berkaitan instrumen alat pengamatan waktu salat Subuh.
2. Memberikan tambahan data terkait pengamatan fajar menggunakan sensor kamera yang berbeda.
3. Memberikan informasi mengenai kriteria ideal ukuran sensor kamera untuk menangkap citra fajar, sehingga menjadi pertimbangan ukuran standar baru pemilihan alat yang digunakan dalam dunia falak.
4. Menambah karya ilmiah yang dapat menjadi rujukan bagi para ahli falak/ astronomi yang ingin melakukan pengamatan fajar di kemudian hari.

D. Kajian Pustaka

Penelitian ini disusun berdasarkan kajian atas penelitian terdahulu, ditemukan banyak penelitian yang mengangkat tema pengamatan awal waktu salat Subuh. Namun sejauh yang ditelusuri, tidak ditemukan tulisan yang secara spesifik membahas sensitivitas ukuran sensor terhadap hasil pengamatan fajar. Adapun penelitian tersebut antara lain:

Penelitian dengan judul “*A Prototype of True Dawn Observation Automation System*” (Prototipe System Otomatisasi Observasi Fajar) yang ditulis oleh M. Basthoni.¹³ Penelitian ini berlokasi di tiga tempat yang mencakup Karimunjawa, Bayuwangi

¹³ M Basthoni, “A Prototype of True Dawn Observation Automation System (Prototipe Sistem Otomatisasi Observasi Fajar),” *Jurnal Sains Dirgantara* 18, no. 1 (2020): 33–42.

dan Semarang. Penelitian pertama terhadap kemunculan fajar *ṣādiq* menggunakan *Sistem Otomatisasi Observasi Fajar* (SOOF) berfokus untuk mengetahui seberapa besar pengaruh cahaya bulan terhadap waktu deteksi fajar *ṣādiq* untuk mengetahui awal waktu salat Subuh. Dengan menganalisis data yang diperoleh dari lokasi Karimunjawa dan Bayuwangi yang merupakan lokasi dengan polusi rendah, dapat disimpulkan bahwa cahaya bulan memiliki pengaruh yang sangat kuat terhadap pendeteksian fajar di lokasi dengan kondisi minim polusi cahaya. Sementara, berdasarkan data lokasi di Semarang, dengan kondisi polusi cahaya yang tinggi, ditemukan bahwa cahaya bulan tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap deteksi fajar. Kesimpulan penelitian Basthoni tersebut mengusulkan bahwa fajar *ṣādiq* dapat dideteksi pada saat posisi matahari berada pada ketinggian 20° di bawah ufuk. Dengan meneliti aspek lain, yaitu ukuran sensor kamera, yang diduga dapat mempengaruhi hasil pengamatan cahaya fajar *ṣādiq*. Tesis ini dapat menjadi pelengkap penelitian Basthoni tersebut.

Penelitian yang dilakukan oleh Hisbullah Salam yang ditulis dalam tesis dengan judul “Pengamatan Fajar *Ṣādiq* Menggunakan Sistem Otomatisasi Observasi Fajar *dan Sky Quality Meter Stand Alone* Di sulawesi selatan”.¹⁴ Fokus penelitian tersebut adalah mencari pengaruh tingkat kecerlangan langit malam terhadap ketampakan fajar *ṣādiq* melalui pengamatan menggunakan *Sky*

¹⁴ Hisbullah Salam, “Pengamatan Fajar *Ṣādiq* Menggunakan Sistem Otomatisasi Observasi Fajar Dan *Sky Quality Meter Stand Alone* Di Sulawesi Selatan” (Universitas Islam Negeri Walisongo, 2022).

Quality Meter Stand Alone dan Sistem Otomatisasi Observasi Fajar (SOOF) di Sulawesi Selatan, dan mengetahui tingkat akurasinya di Sulawesi Selatan. Adapun kesimpulan yang didapat dari penelitian tersebut adalah tingkat akurasi SOOF pada pengamatan fajar *ṣādiq* di Sulawesi Selatan berdasarkan uji komparasi bernilai $\text{Sig } 0,950 > 0,05$. Berdasarkan hasil tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa terdapat persamaan antara rerata hasil Dip matahari Subuh menggunakan instrumen SOOF dan SQM SA. Hal ini membuktikan bahwa alat SOOF akurat berdasarkan pengamatan lapangan. Namun begitu, data yang ditunjukkan menggunakan SQM hanya berupa grafik yang tidak dapat menampilkan keadaan pada saat pengamatan dalam bentuk citra, sehingga berpotensi menimbulkan keraguan terhadap data yang dihasilkan. Untuk itu, tesis ini akan mempresentasikan data pengamatan fajar dalam bentuk citra yang diperoleh menggunakan kamera.

Penelitian mengenai observasi fajar *ṣādiq* berbasis citra digital telah dilakukan oleh Rusli dkk. (2021).¹⁵ Dalam penelitian tersebut, digunakan teknik Sobel Edge Detection untuk menganalisis perubahan kontras horizontal pada citra langit. Lokasi penelitian dipilih di Pulau Masalembu yang memiliki tingkat polusi cahaya sangat rendah sehingga minim gangguan dalam pengamatan. Penelitian menggunakan kamera DSLR Canon EOS Kiss X7 dengan pengambilan citra setiap satu menit sejak matahari berada pada sudut depresi -23° . Data kemudian diolah menggunakan perangkat lunak

¹⁵ Rusli, Kariimah, dan Mahfudz, “Determination Dawn of Shadiq in Masalembu Island by Using Image Processing Sobel Edge Detection Technique.”

MATLAB. Hasil penelitian menunjukkan nilai rata-rata sudut depresi saat terdeteksinya fajar *ṣādiq* adalah $-19,7128^\circ$ dengan simpangan baku $1,1144^\circ$. Nilai ini mendekati standar -20° yang ditetapkan Kementerian Agama Republik Indonesia. Metode yang dikembangkan Rusli dkk. (2021) berfokus pada identifikasi visual melalui pola cahaya horizontal (*white thread*) dengan teknik deteksi tepi. Pendekatan tersebut terbukti akurat secara visual maupun statistik sehingga memberikan kontribusi penting dalam validasi sudut astronomis waktu Subuh.

Sedangkan penelitian ini mengembangkan pendekatan berbeda dengan menggunakan dua jenis kamera yang memiliki karakteristik sensor berlainan, yaitu kamera mirrorless APS-C (Fujifilm X-T30) dan kamera *smartphone* (Samsung Galaxy A16). Tujuan penelitian adalah menguji kesesuaian data dan kemampuan masing-masing sensor dalam mendeteksi cahaya fajar *ṣādiq*. Data diperoleh dalam bentuk rangkaian citra (time-lapse) dan dianalisis secara fotometrik menggunakan perangkat lunak AstroImageJ dan LabPlot dengan fokus pada perubahan intensitas cahaya terhadap waktu. Jika penelitian Rusli dkk. (2021) menekankan verifikasi teknis sudut depresi fajar, penelitian ini berfokus pada evaluasi kinerja perangkat serta eksplorasi kemungkinan penggunaan kamera ponsel sebagai instrumen observasi alternatif. Selain aspek akurasi, penelitian ini mempertimbangkan faktor aksesibilitas, portabilitas, dan keterjangkauan perangkat sehingga memiliki relevansi tinggi dalam konteks pengamatan falak yang lebih luas. Dengan demikian, kedua penelitian ini saling melengkapi. Rusli dkk. (2021) memberikan landasan metodologis yang presisi untuk deteksi fajar *shadiq* berbasis

citra digital, sedangkan penelitian ini memperluas cakupan aplikasi dengan mengevaluasi kelayakan perangkat tanpa mengorbankan validitas ilmiah.

Penelitian berjudul “Pengamatan Fajar *Ṣādiq* Menggunakan *All Sky Camera* di Kota Medan” yang ditulis oleh Marataon Ritonga dalam bentuk tesis.¹⁶ Penelitian tersebut berfokus pada akurasi pengamatan fajar *ṣādiq* menggunakan *All Sky Camera* dan bagaimana pengaruh kondisi langit terhadap keterlihatan fajar *ṣādiq* menggunakan *All Sky Camera*. Secara umum, hasil pengamatan dari ASC dapat memperlihatkan secara visual atau bentuk fisik kondisi langit dari gelap malam kepada langit terang, sehingga pengamat lebih mudah untuk mengamati kemunculan fajar *ṣādiq* melalui citra yang dihasilkan dari ASC. Adapun kesimpulan dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa berdasarkan pengamatan yang dilakukan selama 6 bulan dengan rentang bulan Oktober-Nopember 2021 dan Januari-April 2022, didapatkan ketinggian matahari antara -15° sampai -13° di bawah ufuk. Terdapat perbedaan ketinggian matahari yang didapatkan disebabkan perbedaan tingkat polusi cahaya di lokasi pengamatan. Keakuratan *All Sky Camera* dalam mengamati fajar tergantung pada lokasi pengamatan. Keterlihatan fajar *ṣādiq* menggunakan *All Sky Camera* sangat dipengaruhi kondisi kecerahan langit, seperti awan tebal, mendung (cuaca gelap) maupun yang disebabkan polusi cahaya, sehingga *All Sky Camera* lebih lambat dalam mendeteksi kemunculan fajar *ṣādiq* dibandingkan

¹⁶ Ritongga, “Pengamatan Fajar *Ṣādiq* Menggunakan *All Sky Camera* Di Kota Medan.”

dengan pada saat kondisi langit cerah. Hal ini tentu menjadi peluang bagi tesis ini untuk mengkaji lebih lanjut fajar *ṣādiq* di wilayah dengan kondisi kecerlangan langit yang bagus sekaligus menguji sensitivitas ukuran sensor terhadap hasil data pengamatan sebagai focus utamanya.

Penelitian Laksmiyanti Annake Hari Jadi Noor dan Fahmi Fatwa Rosyadi Satria Hamdani (2018) dengan judul “*The Dawn Sky Brightness Observations in The Preliminary Subuh Prayer Time Determination*”.¹⁷ Penelitian tersebut menggunakan alat SQM yang bertujuan untuk menentukan awal terbit fajar sebagai penentu awal salat Subuh. Penelitian di Pantai Tayu, Pati, Jawa Tengah, dalam rentang empat hari pengamatan, menghasilkan data kecerlangan langit awal waktu Subuh yaitu pada 04.31 WIB dengan ketinggian rata-rata matahari adalah -17° (17° di bawah cakrawala). Pemilihan alat dan lokasi membuka peluang bagi tesis ini untuk dapat mengkonfirmasi data tersebut menggunakan hasil pengamatan kamera dan dilakukan di daerah dengan tingkat kecerlangan langit yang lebih baik.

Penelitian oleh Kassim Bahali dkk (2019) yang menggunakan kamera digital DSLR (Digital Single Reflex Lens) dengan judul “*Re-evaluation of Calculation of the Dawn Prayer Time in the Malay World*”.¹⁸ Penelitian tersebut dilakukan antara Februari 2017 dan

¹⁷ Laksmiyanti Annake Harijadi Noor dan FFRS Hamdani, “The dawn sky brightness observations in the preliminary shubuh prayer time determination,” *Qudus International Journal of Islamic Studies* 6, no. 1 (2018): 25–37.

¹⁸ Kassim Bahali dan Abdul Latif Samian, “Re-Evaluation of Calculation of the Dawn Prayer Time in the Malay World.”, *International Journal of the Malay World and Civilisation* 7 (t.t.): 37–48.

September 2018 di 22 lokasi di Malaysia, Indonesia dan Thailand Selatan. Penelitian tersebut menemukan perbedaan waktu subuh dengan waktu Subuh sebenarnya sebanyak 11,4 menit dengan sudut matahari rata-rata saat fajar adalah $17,15^\circ$ di bawah cakrawala. Nilai ini berbeda dengan nilai sudut yang digunakan hari ini (19° dan 20°) dalam perhitungan waktu Subuh di Alam Melayu. Pengambilan data yang pada beberapa lokasi belum memperhatikan kecerlangan langitnya, memberi peluang bagi tesis ini untuk dapat melengkapi penelitian tersebut dan melakukan pengujian terhadap sensitivitas ukuran sensor sebagai fokus utamanya.

Penelitian Ahmed Kamil Ahmed dkk. (2014) dengan judul *“Young Moon Visibility Criterion Based on Crescent Illumination and Sky Brightness Contrast Model”*.¹⁹ Penelitian tersebut berkesimpulan bahwa iluminasi 0,39% adalah kriteria minimum untuk visibilitas bulan sabit muda, sedangkan iluminasi 0,52% cocok untuk daerah ekuatorial yang lebih lembab dan lebih hangat. Data tersebut ditemukan dari dua nilai kontras secara empiris untuk kriteria visibilitas bulan sabit muda, satu berdasarkan data Malaysia dan lainnya berdasarkan data Iran. Penelitian yang berfokus pada kecerlangan langit terhadap visibilitas hilal ini berbeda dengan fokus dari tesis ini, yang memanfaatkan kecerlangan langit suatu lokasi untuk menguji sensitivitas ukuran sensor yang menjadi fokus utamanya.

¹⁹ Ahmed Kamil Ahmed dan Abdul Halim Abdul Aziz, “Young moon visibility criterion based on crescent illumination and sky brightness contrast model,” *Middle-East Journal of Scientific Research* 21, no. 9 (2014): 1616–41.

Penelitian dengan judul “Teknik Astrofotografi dalam Penentuan Pola Akhir Senja (Hilangnya Mega Merah) sebagai Awal Masuknya Waktu Isya dengan *Image Processing*” yang ditulis oleh Arif Septianto, Harry Ramza dan Rosalina.²⁰ Penelitian tersebut berfokus untuk mengetahui waktu dan posisi ketinggian matahari pada saat hilangnya *syafaq* sebagai penanda awal masuknya waktu salat melalui pemrosesan data pada Imagej, MATLAB, maupun *Microsoft Excel*. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa waktu hilangnya *syafaq* berbeda-beda pada setiap harinya. Waktu paling awal hilangnya *syafaq* terjadi pada pukul 18:38:18 dan waktu paling akhir terjadi pada pukul 18:59:19. Hal tersebut relevan dengan Tono Saksono, menurutnya jika dilihat daerah timur tengah mendapatkan nilai dip Subuh -18 dan isya -16, maka di Indonesia seharusnya lebih rendah dari itu, karena Indonesia terletak pada daerah ekuator. Fokus utama dari tesis ini menjadi pembeda dari tulisan tersebut, tesis ini berfokus pada sensitivitas ukuran sensor kamera untuk mengamati fajar *ṣādiq*.

E. Metode Penelitian

1. Jenis dan Pendekatan Penelitian.

Jenis penelitian ini ditinjau secara metodologis adalah penelitian kualitatif dengan kajian penelitian lapangan (*field research*). Penelitian lapangan merupakan penelitian yang pengumpulan datanya dilakukan secara langsung di lapangan

²⁰ Arif Septianto, “Teknik Astofotografi Dalam Penentuan Pola Akhir Senja (Hilangnya Mega Merah) Sebagai Awal Masuknya Waktu Isya Dengan Image Processing,” *Jurnal Kumparan Fisika* 4, no. 3 (2021): 221–28.

menggunakan instrumen penelitian yang telah ditentukan. Penelitian ini menekankan kajian mengenai pengaruh ukuran sensor terhadap sensitivitasnya menangkap cahaya saat digunakan untuk mendeteksi cahaya fajar.

2. Lokasi dan Fokus Penelitian.

Penelitian ini dilakukan dan berpusat di Pulau Karimunjawa. Pemilihan Pulau Karimunjawa sebagai tempat pengamatan karena langit malam di pulau ini tergolong cerah dan bagus dengan nilai kecerlangan langit 22,47 mpsas.²¹ Mengacu pada klasifikasi langit berdasarkan tingkat kecerlangannya menurut Basthoni, nilai tersebut termasuk ke dalam area langit gelap.²² Penelitian ini berfokus pada sensitivitas ukuran sensor kamera terhadap data awal terbit fajar yang dihasilkan.

3. Jenis Data dan Sumber Data

Sumber data penelitian ini dibedakan mejadi:

a. Primer

Data Primer merupakan data yang diperoleh langsung dari sumber data,²³ di mana data tersebut dikumpulkan secara khusus dan berhubungan langsung dengan masalah yang diteliti. Dalam hal ini, data primer adalah data yang diperoleh dari pengamatan cahaya fajar menggunakan kamera dengan

²¹ Basthoni, "Efek Polusi Cahaya Terhadap Penentuan Awal Waktu Subuh Di Indonesia.", 122.

²² Basthoni.

²³ Pendidikan Pendekatan Sugiyono Kuantitatif, "Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D," Alfabeta, Bandung, 2016, 137.

beberapa tipe ukuran sensor yang berbeda. Tipe-tipe ukuran sensor tersebut mencakup sensor kamera *smartphone* dan APS-C (Fujifilm XT-30).

b. Sekunder

Data sekunder merupakan data-data yang mendukung dan berfungsi sebagai pelengkap data primer, dan bukan dari yang berasal dari sumber pertama.²⁴ Data sekunder penelitian diperoleh dari penelitian-penelitian terdahulu baik berupa tulisan dalam bentuk jurnal, buku, *website*, majalah maupun laporan-laporan hasil penelitian yang memiliki kaitan erat dengan bahasan ini.

4. Teknik Pengumpulan Data.

Teknik dalam proses mengumpulkan data ini memiliki peran yang sangat penting dalam menentukan baik buruknya sebuah penelitian.²⁵ Secara teori, terdapat beberapa instrumen pengumpulan data dalam penelitian kualitatif, yaitu dokumentasi, pengamatan atau observasi, wawancara dan triangulasi/gabungan.²⁶ Penelitian ini menggunakan 2 instrumen pengumpulan data yang terdapat pada daftar tersebut, antara lain:

²⁴ Pascasarjana UIN Walisongo, Panduan Penulisan: Karya tulis ilmiah (Semarang: Pascasarjana UIN Walisongo, 2023), 36.

²⁵ Hadi Sutrisno, Pengantar Metodologi Research II (Yogyakarta: Fakultas Psikologi UGM, 1971), 97.

²⁶ Sugiyono Kuantitatif, “Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D”, 225.

a. Observasi

Observasi fajar dilakukan di Karimunjawa dengan menggunakan beberapa jenis kamera dengan tipe ukuran sensor yang berbeda. Tipe-tipe ukuran sensor tersebut mencakup sensor kamera telepon pintar (5.76 x 4.29 mm) dan APS-C Fujifilm XT-30 (23.6 x 15.6 mm). Observasi dilakukan dengan mengambil gambar secara beruntun (*time series*) selama rentan yang bervariasi yaitu antara 6 sampai 28 menit sebelum waktu diduga fajar muncul hingga 27 sampai 41 menit setelahnya. Proses ini menggunakan settingan yang sama pada tiap kamera mencakup nilai *shutter speed* 10 detik,²⁷ iso 3200, dan bukaan 1.8. Untuk mencegah adanya gangguan dari cahaya bulan, penelitian ini nantinya akan dilakukan selama akhir bulan hijriah hingga awal bulan hijriah antara tanggal 28 hingga tanggal 10 pada bulan selanjutnya.

b. Dokumentasi

Teknik dokumentasi digunakan untuk mengumpulkan, menguji, dan mendeskripsikan data dari fokus penelitian. Dokumentasi juga digunakan untuk menambah kredibilitas dari hasil penelitian.²⁸ Dokumen diperoleh melalui

²⁷ Nilai shutter speed 15 detik dipilih untuk menghindari pergerakan langit yang ditangkap akibat rotasi bumi. Baca: Wahyu Widhi, *Memotret Milky Way: Kiat Mendapatkan Foto Bima Sakti Dan Star Trail Yang Menawan* (Jakarta: Gramedia, 2014), 58.

²⁸ Sugiyono Kuantitatif, “Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D”, 240.

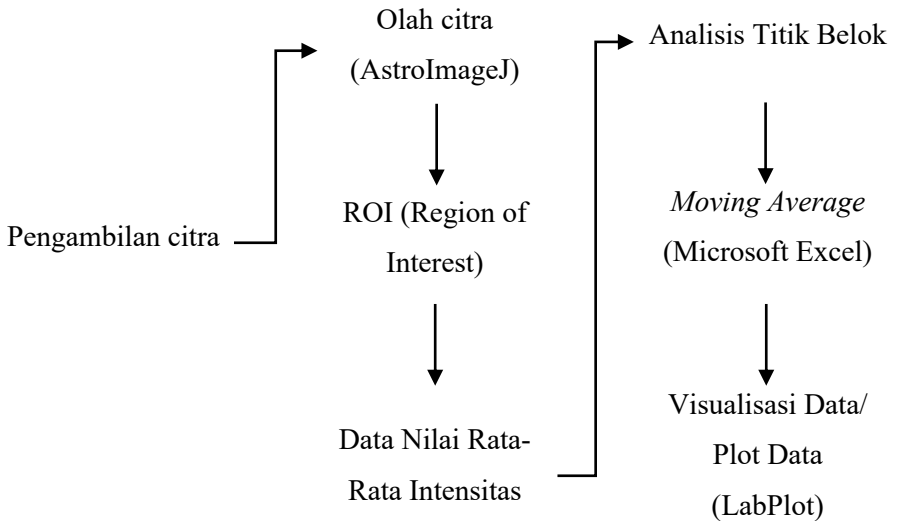
penelitian-penelitian terdahulu baik berupa tulisan dalam bentuk jurnal, buku, *website*, majalah maupun laporan-laporan hasil penelitian yang memiliki kaitan erat dengan bahasan ini.

5. Teknik Analisis Data.

Data-data yang telah dikumpulkan dalam penelitian kemudian dipelajari, diolah dan dianalisis.²⁹ Adapun analisis data dalam penelitian ini menggunakan teknik analisis deskriptif-komparatif. Komparasi dan tinjauan langsung dilakukan pada data yang diperoleh melalui pengamatan sinar fajar menggunakan kamera dengan tipe ukuran sensor yang berbeda. Hasil pengamatan dalam bentuk citra diolah menggunakan software AstroImageJ, Microsoft Excel dan LabPlot.

AstroImageJ berguna untuk mencari nilai intensitas cahaya yang terdapat dalam citra pengamatan. Nilai intensitas yang berupa angka tersebut kemudian dianalisis menggunakan teknik *moving average* menggunakan Microsoft Excel. Setelahnya, data akan divisualisasikan dan dicari titik beloknya menggunakan bantuan software LabPlot. Proses ini bertujuan untuk memperoleh hasil akhir guna mencari pengaruh ukuran sensor terhadap sensitivitasnya menangkap cahaya fajar.

²⁹ Rusdin Pohan, “Metodologi Penelitian Pendidikan, cet,” Ke-2. Banda Aceh: Ar-Rijal Institute, 2008, 94.



Gambar 1. 3 Tahapan analisi data

F. Sistematika Pembahasan

Penulisan penelitian ini disusun menjadi lima bab yang saling terkait, yang mana setiap bab terdiri dari sub-sub pembahasan. Adapun sistematika penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut:

Bab I berisi pendahuluan yang diuraikan kedalam beberapa sub bab. Beberapa sub bab tersebut berisi gambaran umum tentang penelitian, meliputi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penulisan, manfaat penulisan, telaah pustaka, kerangka teori, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

Bab II, merupakan landasan teori yang digunakan untuk membahas bab-bab selanjutnya. Bab ini meliputi beberapa sub bab yang terkait dengan karakteristik cahaya fajar menurut fikih maupun astronomi dan teori terkait konsep fotografi.

BAB III, berisi tinjauan umum mengenai instrumen yang dipakai dalam pengamatan terhadap ketampakan cahaya fajar. Dalam bab ini juga disajikan teknis pengamatan, interpretasi dan data-data hasil daripada pengamatan menggunakan alat-alat tersebut.

BAB IV, bab ini menyajikan analisis data pengamatan fajar menggunakan kamera APS-C dan *smartphone*. Bab ini menguraikan analisis sensor tersebut terhadap ketampakan cahaya fajar dan relevansi data yang dihasilkannya.

Bab V adalah penutup. Bagian ini berisi kesimpulan dan juga saran-saran guna memberi peluang bagi peneliti berikutnya untuk mengoreksi dan mengembangkan temuan dalam penelitian ini.

BAB II

TEORI FAJAR *ṢĀDIQ* DAN FOTOGRAFI

Bab ini membahas pemahaman tentang fajar, khususnya fajar *ṣādiq*, yang merupakan aspek esensial dalam penentuan awal waktu Subuh, baik dari perspektif fikih maupun astronomi. Dalam tinjauan fikih, penggambaran fajar didasarkan pada Al-Qur'an dan hadis, yang membedakan antara fajar *kāzib* (cahaya vertikal menyerupai ekor serigala yang belum menghalalkan salat dan belum mengharamkan makan sahur) dan fajar *ṣādiq*, yakni cahaya horizontal di ufuk yang menandai masuknya waktu Subuh. Hadis-hadis dari berbagai riwayat menegaskan bahwa fajar *ṣādiq* adalah penanda yang sah secara syar'i, sedangkan waktu berakhirnya salat Subuh ditetapkan hingga terbit matahari. Para ulama sepakat bahwa kondisi awal yang dinamakan galas menjadi acuan dimulainya Subuh, dengan perbedaan pendapat mengenai keutamaan pelaksanaan salat pada kondisi galas atau isfar.

Dari sisi astronomi, fajar *kāzib* diidentifikasi sebagai *zodiacal light*, yaitu cahaya akibat hamburan debu antarplanet yang tidak berasal dari sinar langsung matahari. Sementara fajar *ṣādiq* merupakan cahaya yang dihasilkan oleh hamburan sinar matahari oleh partikel atmosfer di lapisan troposfer. Kriteria astronomis membagi fajar menjadi tiga jenis: astronomical dawn (-18°), nautical dawn (-12°), dan civil dawn (-6°), yang masing-masing menggambarkan tingkat kecerahan langit hingga menjelang terbitnya matahari. Di Indonesia, standar sudut depresi matahari yang digunakan untuk penentuan awal Subuh adalah -20° , berdasarkan pertimbangan keilmuan dan dalil syar'i.

Bab ini juga menjelaskan teori fotografi yang menjadi relevan dalam konteks dokumentasi fenomena fajar. Fotografi merupakan seni

melukis dengan cahaya yang ditangkap melalui kamera, baik jenis compact, mirrorless/DSLR, maupun dedicated astronomy camera. Penelitian ini menggunakan kamera mirrorless dengan sensor CMOS berukuran APS-C, yang dibandingkan dengan kamera *smartphone* modern. Faktor seperti ukuran sensor, sensitivitas cahaya (ISO), bukaan diafragma, dan kecepatan rana mempengaruhi kualitas citra. Perkembangan teknologi komputasi fotografi juga memungkinkan kamera ponsel menghasilkan gambar dengan kualitas mendekati kamera digital.

Titik belok kurva cahaya langit dalam penentuan awal fajar dapat dianalisis menggunakan metode *moving average* juga dijelaskan dalam bab ini. Metode ini efektif dalam menyaring *noise* dan mendeteksi perubahan gradien cahaya sebagai indikator munculnya fajar *ṣādiq*. Akurasi metode ini bergantung pada kualitas data pengamatan, dan menjadi pendekatan penting dalam penelitian ini.

A. Fajar *Ṣādiq* dalam Tinjauan Fikih

Penggambaran fajar dalam tinjauan fikih bisa ditemukan dalam Al-Qur'an dan Hadis yang menjadi sumber utamanya. Sebagaimana yang bisa dilihat dalam Firman Allah pada surah al-Baqarah [2] ayat 187:

وَكُلُوا وَاشْرَبُوا حَتَّى يَتَبَيَّنَ لَكُمُ الْخَيْطُ الْأَبْيَضُ مِنَ الْخَيْطِ الْأَسْوَدِ مِنَ الْفَجْرِ

Makan dan minumlah hingga jelas bagimu (perbedaan) antara benang putih dan benang hitam, yaitu fajar (Q.S. al-Baqarah/2: 187).

Penyebutan kata “fajar” dalam Al-Quran sendiri terjadi dalam beberapa ayat lainnya. Namun uraian dan penggambaran mengenai fajar hanya terdapat dalam ayat ini dan tidak digambarkan dalam ayat

lain. Seperti dalam surah Q.S. al-Isra'/17: 78 yang berkaitan dengan waktu salat saat tergelincir matahari, masuk gelapnya malam, dan saat terbit fajar; Q.S. al-Qadr/97: 5 yang menjelaskan keistimewaan ibadah semalam (malam qadar) sampai terbit fajar; serta beberapa ayat lainnya seperti Q.S. an-Nur/24: 58 dan Q.S. al-Fajr/89: 1.³⁰

Uraian dan penggambaran terkait fajar secara lebih detail dapat ditelusuri dan ditemukan dalam literatur hadis, di antaranya:

1. Hadis yang diriwayatkan oleh ad-Daruqutni dan al-Baihaqi:

الْفَجْرُ فَجْرَانِ فَأَمَّا الْفَجْرُ الَّذِي يَكُونُ كَذَنْبِ السَّرْحَانِ فَلَا يُحِلُّ الصَّلَاةَ وَلَا يُحَرِّمُ الطَّعَامَ، وَأَمَّا الَّذِي يَذْهَبُ مُسْتَقِيمًا فِي الْأُفُقِ فَإِنَّهُ يُحِلُّ الصَّلَاةَ وَ يُحَرِّمُ الطَّعَامَ.

Fajar ada dua. Adapun fajar yang (menjulang) seperti ekor serigala maka belum menghalalkan pelaksanaan salat (Subuh) dan belum mengharamkan puasa. Adapun yang fajar yang memanjang di ufuk maka fajar tersebut telah menghalalkan salat (Subuh) dan mengharamkan makan (H.R. ad-Daruqutni dan al-Baihaqi).³¹

2. Hadis yang diriwayatkan oleh Al-Hakim dan Al-Baihaqi dari Ibn Abbas ra:

الْفَجْرُ فَجْرَانِ: فَجْرٌ يَحْرُمُ فِيهِ الطَّعَامُ وَتَحِلُّ فِيهِ الصَّلَاةُ، وَ فَجْرٌ يَحِلُّ فِيهِ الطَّعَامُ وَ تَحْرُمُ فِيهِ الصَّلَاةُ.

³⁰ Basthoni, "Efek Polusi Cahaya Terhadap Penentuan Awal Waktu Subuh Di Indonesia."

³¹ Ali Ibn Umar Al-Daruqutny, Sunan al-Daruqutny (Beirut: Ar-Risalah, 2004), 505.

Fajar itu ada dua; (pertama) fajar yang didalamnya haram makanan serta dihentikan salat, (kedua) fajar yang di dalamnya halal makanan dan haram salat Subuh.³²

3. Hadis yang diriwayatkan oleh Muslim:

لَا يَغْرَنَّ أَحَدُكُمْ نِدَاءُ بِلَالٍ مِنَ السُّحُورِ وَلَا هَذَا الْبَيَاضُ حَتَّى يَسْتَطِيرَ.

Jangan sampai sebagian kalian diganggu oleh panggilan azan Bilal dan cahaya putih (yang menjulang) ini sampai (cahayanya) menyebar (di ufuk)” (H.R. Muslim).³³

4. Hadis dari Abdullah bin ‘Amr yang diriwayatkan oleh Imam Muslim

...وَوَقْتُ صَلَاةِ الصُّبْحِ مِنْ طُلُوعِ الْفَجْرِ مَا لَمْ تَطْلُعِ الشَّمْسُ...

Waktu Subuh mulai terbit fajar selama matahari belum terbit.³⁴

5. Hadis dari ‘Āisyah yang diriwayatkan oleh al-Bukhārī

ان عا ئشة اخبرته، قالت: كُنَّ نِسَاءُ الْمُؤْمِنَاتِ يَشْهَدْنَ مَعَ رَسُولِ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ صَلَاةَ الْفَجْرِ مُتَلَفِّعَاتٍ بِمِرْوَطِهِنَّ ثُمَّ يَنْقَلِبْنَ إِلَى بُيُوتِهِنَّ حِينَ يَقْضَيْنَ الصَّلَاةَ لَا يَعْرِفُهُنَّ أَحَدٌ مِنَ الْعَلَسِ.

Bahwasannya ‘Āisyah telah mengabarkan kepadanya, dan ia mengatakan,”kami wanita-wanita mukminat pernah ikut salat bersama Rasulullah saw. dengan menutup wajahnya dengan kerudung, kemudian kembali ke rumah mereka masing-masing setelah selesai salat tanpa diketahui oleh seorang pun karena hari masih gelap (HR. al-Bukhari).³⁵

³² Ahmad bin Husein bin Ali bin Musa Abu Bakar Al-Baihaqy, Sunan Al-Baihaqy Al-Kubra (Makkah al-Mukarromah: Maktabah Dar al-Baz, 1994), 707.

³³ Muslim bin Al-Hajjaj, Shahih Muslim (Beirut: Dar al-Kutub al-‘Ilmiyah, 1992), 769.

³⁴ Muslim bin al-Hajjaj al-Qusyairi An-Naisaburi, Sahih Muslim (Riyad: Daar Thoyyibah, 2006). H. 276-277.

³⁵ Al-Imam Mohammed bin Isma’il Al-Bukhari, Sahih Al-Bukhari (Beirut: Dar al-Kutub al- ‘Ilmiyah, 2017), 143.

6. Hadis yang diriwayatkan oleh Abu Daud:

سَمِعْتُ أَبَا مَسْعُودٍ الْأَنْصَارِيَّ يَقُولُ سَمِعْتُ رَسُولَ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ صَلَّى الصُّبْحَ مَرَّةً بَعْلَسَ ثُمَّ صَلَّى مَرَّةً أُخْرَى فَاسْفَرَ بِهَا ثُمَّ كَانَتْ صَلَاتُهُ بَعْدَ ذَلِكَ التَّغْلِيصَ حَتَّى مَاتَ وَمَا يَعْنِي إِلَى أَنْ يُسْفَرَ.

Saya mendengar Dari Basyir ibn Abi Mas'ud, bahwa Rasulullah saw salat Subuh sesekali di waktu masih gelap dan di lain waktu Nabi melaksanakan salat Subuh di waktu terang. Setelah itu salat beliau adalah pada waktu gelap (awal) sampai meninggal dunia dan tidak lagi mengerjakan di waktu isfar (bercahaya) (HR. Sunan Abu Daud).³⁶

Para ulama sepakat membagi fajar kepada dua, yaitu fajar *kāzib* dan fajar *ṣādiq*. Fajar *kāzib* disebut juga dengan fajar pertama (*al-fajr al-awwal*) karena ia muncul pertama kali dan berikutnya disusul munculnya fajar *ṣādiq*. Fajar *kāzib* dan fajar *ṣādiq* di sebut dengan banyak istilah yang umumnya berpasangan antara lain:³⁷

1. Fajar Mustathil (meninggi) dan Fajar mustathir (menyebar atau membentang)
2. Al-bayadh (hamburan cahaya putih) dan Bayadh An-Nahar (putihnya siang)
3. As-Sathi (terang keatas) dan Al-Mu'taridh Al-Ahmar (membentang kemerahan).

An-Nawawi menyampaikan bahwa dinamakannya fajar pertama sebagai fajar *kāzib* karena ia muncul bercahaya dan kemudian

³⁶ Abu Daud Sulaiman bin Asy'ats As-Sijistani, Sunan Abi Daud (Beirut: Darul Kutub al- 'Alamiyah, 1996), 156.

³⁷ Tono Saksono, Evaluasi Awal Waktu Subuh & Isya (Jakarta: UHAMKA press & LPP AIKA UHAMKA, 2017).

kembali hilang dan pergi sehingga langit kembali tampak gelap. Sedangkan fajar *ṣādiq* dinamakan demikian karena membenarkan dan menjelaskan waktu Subuh.³⁸ Wahbah az-Zuhaili menjelaskan bahwa fajar *ṣādiq* ialah cahaya putih yang tampak terang dan berada sejajar dengan garis lintang ufuk. Tampak fajar *ṣādiq* ini berbeda dengan fajar *kazib* yang bentuknya tampak memanjang ke atas seperti ekor serigala.³⁹ Ulama fikih sepakat bahwa bahwa yang menjadi indikator awal waktu salat Subuh ialah fajar yang kedua yaitu fajar *ṣādiq*.⁴⁰ Adapun waktu berakhirnya salat Subuh dalam tinjauan syar'i ialah saat matahari terbit.⁴¹ Hal tersebut bisa dilihat pada ayat al-Quran dan hadis yang tersebut di atas.

Terkait dalam praktiknya, berdasarkan yang terdapat pada hadis Abu Daud di atas, Rasulullah SAW melaksanakan salat Subuh di kondisi *ghalas* dan *isfar*. *Ghalas* menurut bahasa berarti kondisi gelap di akhir malam yang bercampur dengan cahaya pagi.⁴² *Ghalas* menurut Badruddin al-Aini bukanlah sebelum terbit fajar melainkan ia adalah kondisi ketika cahaya Subuh bercampur dengan kegelapan di akhir malam. Sehingga yang dimaksud dalam hadis tersebut ialah

³⁸ Imam An-Nawawi, *Al Majmu' Syarah Al Muhadzdzab* Jilid 3, ed. Abdurrahim Ahmad et al., Cet. 1. (Jakarta: Pustaka Azzam, 2009), 97-98.

³⁹ Wahbah Al-Zuhaili, *al-Fiqh al-Islami wa Adillatuh* (Beirut: Dar al-Fikr, 2007).

⁴⁰ Salam, "Pengamatan Fajar *Ṣādiq* Menggunakan Sistem Otomatisasi Observasi Fajar Dan Sky Quality Meter Stand Alone Di Sulawesi Selatan."

⁴¹ Zainuddin Zainuddin, "Posisi matahari dalam menentukan waktu shalat menurut dalil syar'i," *ELFALAKY: Jurnal Ilmu Falak* 4, no. 1 (2020).

⁴² Butar-Butar, Fajar & Syafak; Dalam *Kesarjanaan Astronom Muslim Dan Ulama Nusantara*.

Rasulullah salat Subuh tepat di awal waktunya.⁴³ Sedangkan *isfar* secara bahasa berarti jelas dan terang.⁴⁴

Para ulama sepakat bahwa yang menjadi awal waktu untuk salat Subuh ialah kondisi *galas*.⁴⁵ Adapun yang menjadi perbedaan pendapat di antara para ulama terkait dengan *galas* dan *isfar* ialah pada keutamaan salat Subuh di dua kondisi tersebut. Dalam Mazhab Hanafi dianjurkan bagi perempuan untuk melaksanakan salat Subuh pada saat *galas* sedangkan laki-laki di saat *isfar*.⁴⁶

Awal kemunculan fajar *ṣādiq* tampak seperti benang putih sebagaimana yang dijelaskan Al-Qur'an yang menyifatnya dengan warna putih.⁴⁷ Nawawi menjelaskan bahwa dalam kemunculan fajar *ṣādiq* juga akan hadir citra merah namun citra tersebut hadir setelah hamburan cahaya subuh. Al-Quran sendiri mengibaratkan fajar *ṣādiq* di awal ketampakkannya dengan dengan benang putih.⁴⁸

Namun terdapat hadis yang menyatakan bahwa fajar *ṣādiq* di awal kemunculannya berwarna merah. Dalam versi riwayat yang ditakhrij oleh Ahmad ibn Hambal, teks hadis tersebut berbunyi:

لَيْسَ الْفَجْرُ الْمُسْتَطِيلُ فِي الْأَفْقِ وَ لَكِنَّهُ الْمُعْتَرِضُ الْأَحْمَرُ

⁴³ Salam, "Pengamatan Fajar *Ṣādiq* Menggunakan Sistem Otomatisasi Observasi Fajar Dan Sky Quality Meter Stand Alone Di Sulawesi Selatan."

⁴⁴ Majma' al-Lughah Al-'Arabiyyah, Al-Mu'jam Al-Wasith. Cet. IV (Cairo: Maktabah asy-Syuruq ad-Dauliyyah, 2008), 682.

⁴⁵ Al-Zuhaili, *al-Fiqh al-Islami wa Adillatuh*.

⁴⁶ Ali ibn Zakaria Al-Manbaji, *Al -Lubab fiyy al-Jam'i bain as-Sunnah wa al -Kitab* (Pakistan: Al-Maktabah al-Haqaniyah, 1994), 180.

⁴⁷ Abd. Salam Nawawi, *Ilmu Falak Praktis* (Surabaya: Imtiyaz, 2016), 84.

⁴⁸ Abd. Salam Nawawi.

Fajar itu bukanlah yang melintang (vertikal) di ufuk, melainkan yang melebar (horisontal) dan yang berwarna merah.⁴⁹

Namun menurut Ibrahim bin Muhammad as-Shubaihi, maksud kata “*al -ahmar*” dalam hadis tersebut adalah warna putih.⁵⁰ As-Shubaihi juga menambahkan, pemaknaan dengan warna putih tersebut dikuatkan dengan ungkapan orang arab “امراة حمراء, yaitu wanita berkulit putih.”⁵¹

Adapun karakter cahaya awal fajar *ṣādiq* yang teramati pada zaman Nabi SAW adalah sebagai berikut:⁵²

1. Cahaya fajar *ṣādiq* pada awal terbitnya berwarna putih lembut dan memanjang seperti benang di ufuk timur
2. Fajar *ṣādiq* terbit setelah fajar *kazib* yang warnanya juga putih namun arah cahayanya menjulang ke atas seperti ekor serigala.
3. Intensitas cahaya fajar *ṣādiq* terus meningkat seiring dengan waktu sampai Matahari terbit karena posisi Matahari yang semakin dekat dengan ufuk timur.

⁴⁹ Ahmad Ibn Hanbal, *Musnad al -Imam Ahmad ibn Hanbal* (Beirut: Muassasah al-Risalah, 1998).

⁵⁰ Ibrahim bin Muhammad As-Shubaihi, *Thulu’ al-Fajr as-Shadiq bayna Tahdid al - Quran wa Ithlaq al -Lughah* (Riyadl: Maktabah al-Mulk Fahd, 2007), 51.

⁵¹ Ibrahim bin Muhammad As-Shubaihi, 51.

⁵² Basthoni, “Efek Polusi Cahaya Terhadap Penentuan Awal Waktu Subuh Di Indonesia.”

B. Fajar dalam Tinjauan Astronomi

Fajar dalam tinjauan astronomi memiliki perbedaan dengan fajar dalam tinjauan fikih.⁵³ Dalam tinjauan astronomi, fajar *kazib* tidak dikategorikan sebagai fajar melainkan disebut sebagai *zodiacal light* atau cahaya zodiak. Hal ini disebabkan oleh cahaya fajar *kazib* yang tidak merupakan fenomena hasil dari pengaruh langsung dari pancaran sinar matahari, melainkan cahaya yang muncul akibat debu antar planet yang menghamburkan cahaya matahari.⁵⁴

Fenomena cahaya zodiak ini terjadi di luar Bumi, sehingga proses pembetukan, warna dan fisisnya berbeda dari cahaya fajar.⁵⁵ Cahaya zodiak memiliki bentuk serupa dengan ekor serigala atau piramid, di mana cahaya di bagian bawah tampak lebih terang dari cahaya pada bagian atas. Cahaya yang berupa kabut berpendar yang bisa diamati di sepanjang garis semu ekliptika ini hanya dapat dilihat di langit dengan kondisi yang sangat gelap, tanpa adanya gangguan dari polusi cahaya.⁵⁶

Al-Quran mengibaratkan fajar *ṣādiq* menggunakan ungkapan “terang bagimu benang putih dari benang hitam”. Menurut Djamaluddin, dalam fisika, hitam berarti ketiadaan pancaran cahaya

⁵³ Ritonga, “Pengamatan Fajar Ṣādiq Menggunakan All Sky Camera Di Kota Medan.”

⁵⁴ D. W. Schuerman† dan J L Weinberg, “Zodiacal Light: A Probe of the Properties and Evolution of Interplanetary Dust,” *Highlights of Astronomy* 6 (30 Maret 1983): 421–25, <https://doi.org/10.1017/S1539299600005426>.

⁵⁵ Saksono, “Evaluasi Awal Waktu Subuh & Isya: Perspektif Sains, Teknologi, dan Syariah.”, 6.

⁵⁶ Salam, “Pengamatan Fajar Ṣādiq Menggunakan Sistem Otomatisasi Observasi Fajar Dan Sky Quality Meter Stand Alone Di Sulawesi Selatan.”

sedangkan putih berarti ada pancaran cahaya.⁵⁷ Fajar *ṣādiq* yang juga disebut fajar sejati merupakan sebuah fenomena di mana cahaya matahari dihamburkan oleh partikel udara yang melingkupi bumi. Dengan demikian komponen cahaya tersebar ke bawah hingga menerangi lapisan *troposfer* yang lebih rendah.⁵⁸ Fajar *ṣādiq* akan semakin terang bersamaan dengan mendekatnya matahari ke ufuk, sehingga ukuran yang digunakan untuk mengukur fajar adalah tinggi matahari di bawah ufuk.⁵⁹

Berdasarkan perspektif astronomi, fajar dibagi menjadi tiga macam dan masing-masing mempunyai nilai perbedaan sudut depresi matahari sebesar 6°, yaitu:⁶⁰

- a. *Astronomical dawn* atau fajar astronomi adalah kondisi saat titik pusat dari lingkaran matahari berada pada posisi -18° di bawah ufuk. Fajar ini hanya bisa diamati di daerah dengan kondisi langit yang bebas dari polusi cahaya buatan ataupun cahaya benda langit;⁶¹
- b. *Nautical dawn* atau fajar nautika adalah saat titik pusat dari lingkaran matahari berada pada posisi -12° di bawah ufuk.

⁵⁷ Thomas Djamaluddin, “Waktu Shubuh Ditinjau secara Astronomi dan Syar’i,” diakses 29 Januari 2025, <https://tdjamaluddin.com/2010/04/15/waktu-shubuh-ditinjau-secara-astronomi-dan-syari/>.

⁵⁸ Hamzah Hasan Selfiah Febriani, Andi Muhammad Akmal, “Perspektif Thomas Djamaluddin Terhadap Eksistensi Fajar Sadiq Dalam Penentuan Awal Waktu Subuh,” *Jurnal Hisabuna* 3, no. 1 (2022): 158.

⁵⁹ Djamaluddin.

⁶⁰ Lutfi Fuadi, “Fajar Penanda Awal Waktu Shubuh dan Puasa:(Tinjauan Syar’i dan Astronomi),” *Minhaj: Jurnal Ilmu Syariah* 2, no. 1 (2021): 107–20.

⁶¹ Dhani Herdiwijaya, “Waktu Subuh: tinjauan pengamatan astronomi,” *Jurnal Tarjih* 14, no. 1 (2017): 51–64.

Kondisi langit timur sudah mulai bisa diidentifikasi walaupun masih membutuhkan bantuan pencahayaan. Fajar nautika merupakan fajar yang menampakkan kondisi ufuk bagi para pelaut. Kondisi kecerlangan langit pada selang waktu antara fajar astronomis dan fajar nautika dinamakan *astronomical twilight* atau twilight astronomis;

- c. *Civil dawn* atau fajar sipil adalah kondisi saat titik pusat dari lingkaran matahari berada pada posisi -6° di bawah ufuk. awal fajar sipil dapat dikenali dimanapun selagi langit dalam keadaan cerah. kondisi kecerlangan langit pada selang antara fajar nautika da fajar sipil dinamakan *nautical twilight* atau twilight nautika.

Adapun kondisi matahari terbit yaitu ketika lingkaran piringan bagian atas matahari menyentuh ufuk. Kondisi kecerlangan langit pada selang antara fajar sipil dan matahari terbit dinamakan *civil twilight* atau twilight sipil. Pendefinisian ini berlaku juga saat matahari tenggelam sampai masuk waktu isya.⁶²

Penentuan nilai posisi ketinggian matahari untuk fajar astronomi ini tidak mutlak dalam posisi -18° di bawah ufuk dan memiliki perbedaan.⁶³ Kriteria ketinggian matahari untuk fajar astronomi memiliki nilai yang beragam, berkisar sekitar -15 hingga -20 derajat. Perbedaan tersebut dapat dilihat dari table berikut:

⁶² Saksono, “Evaluasi Awal Waktu Subuh & Isya: Perspektif Sains, Teknologi, dan Syariah.”, 15-16.

⁶³ Djamaluddin, “Waktu Shubuh Ditinjau secara Astronomi dan Syar’i.”

Tabel 2 1Perbedaan ketinggian fajar berbagai organisasi dan negara⁶⁴

No	Organisasi	Tinggi Matahari	Negara
1	<i>Universitas of Islamic Science Karachi</i>	-18	Pakistan, Bangladesh, India, Afghanistan, dan sebagian Eropa
2	Islami c Society of North America	-15	Canada dan sebagian Amerika
3	Muslim World League	-18	Eropa, Timur jauh, dan sebagian Amerika Serikat
4	Ummul Qurra Committee	-19	Semenanjung Arabia
5	Egyptian General Authority of Survey	-19,5	Afrika, Syria, Irak, Libanon, Malaysia

⁶⁴ Slamet Hambali, *Ilmu Falak 1* (Semarang: Program Pascasarjana IAIN Walisongo, 2011).

Perbedaan nilai tinggi matahari untuk waktu Subuh ulama Falak Indonesia:

Tabel 2 2 Perbedaan nilai tinggi matahari untuk waktu Subuh ulama Falak Indonesia⁶⁵

No	Tokoh	Tinggi Matahari
1	Saadoe'ddin Djabat	-20
2	Zubair Umar al-Jailani	-18
3	Muhammad Ma'shum bin Ali	-19
4	Abdur Rachim	-20
5	Noor Ahmad SS	-20
6	Slamet Hambali	-19° - tinggi Matahari terbit
7	Muhyiddin Khazin	-20

Namun perbedaan ini dianggap wajar karena merupakan produk *ijtihadiah*. Perbedaan juga dapat terjadi akibat dari berbagai faktor seperti ketebalan atmosfer akibat perbedaan lintang, temperatur, kelembapan udara dan polusi cahaya.⁶⁶ Di Indonesia mengacu pada Kementerian Agama RI, berdasarkan landasan *syar'i*

⁶⁵ Slamet Hambali, 40.

⁶⁶ Basthoni, "Efek Polusi Cahaya Terhadap Penentuan Awal Waktu Subuh Di Indonesia."

dan astronomi yang dianggap kuat, nilai ketinggian matahari yang digunakan adalah -20 derajat.⁶⁷

C. Teori Fotografi, Kamera, dan Citra

Fotografi adalah seni atau proses untuk menghasilkan gambar/citra dari suatu objek dengan merekam pantulan cahaya yang mengenai objek tersebut pada media yang peka cahaya melalui sebuah alat yang disebut kamera.⁶⁸ Menurut kamus besar bahasa Indonesia, fotografi merupakan seni dan proses penghasilan gambar melalui cahaya pada permukaan yang dipeka. Artinya fotografi adalah teknik melukis menggunakan cahaya. Tanpa adanya cahaya, karya seni fotografi tidak akan tercipta.⁶⁹

Kamera merupakan perangkat yang menerima objek yang ditangkap oleh lensa objektif dan merekamnya baik dalam bentuk analog maupun digital. Fungsi dari kamera ini sebagai pengganti fungsi okuler dalam pengamatan biasa.⁷⁰ Secara umum kamera bisa dikelompokkan dalam 3 kategori:

1. *Compact Camera*

Compact camera atau yang biasa disebut kamera saku adalah kamera otomatis yang menggunakan format pengambilan

⁶⁷ Zaman, "Terbit fajar dan waktu subuh (kajian nash syar'i dan astronomi).", 40.

⁶⁸ I Yunianto, *Teknik Fotografi, Belajar Daris Basic Hingga Professional*, Penerbit Yayasan Prima Agus Teknik (Semarang: Yayasan Prima Agus Teknik, 2021), <https://penerbit.stekom.ac.id/index.php/yayasanpat/article/download/213/239>.

⁶⁹ Giwanda, "Panduan Praktis Belajar Fotografi.", 2.

⁷⁰ Junaidi, *Astrofotografi: Adopsi dan Implementasinya dalam Rukyatulhلال di Indonesia*, 15.

gambar dan penyimpanan digital dengan ukuran kecil dan ringan sehingga mudah dibawa.⁷¹

2. *Interchangeable Lens Camera (ILC)*

Interchangable Lens Camera (ILC) adalah kamera dengan lensa yang bisa diganti-ganti, yang menyajikan berbagai menu setting manual sehingga lebih leluasa untuk disesuaikan dengan objek yang akan dibidik. Ada dua jenis yang termasuk dalam kategori ini, yaitu Digital Single Lens Reflex/DSLR dan Mirrorless. Digital Single Lens Reflex/DSLR adalah kamera digital yang menggunakan sistem cermin otomatis dan pentarprisma atau pentamirror untuk meneruskan cahaya dari lensa menuju ke view finder (lobang kecil dibelakang kamera untuk mengintip objek yang sedang dibidik).

Jenis mirrorless atau kamera “tanpa cermin” pada hakikatnya adalah DSLR yang dihilangkan bagian mirrobox-nya (pemantulan cahaya). Tanpa mirrobox yang berfungsi membelokkan cahaya dari lensa ke jendela bidik optis, maka ukuran kamera *mirrorless* bisa jauh lebih ramping dibandingkan DSLR, dengan tetap mempertahankan kualitas hasil foto dan lensa yang bisa diganti-ganti sebagaimana DSLR.⁷²

3. *Dedicated Astronomy Camera/ Digital Eyepeace*

Dedicated astronomy camera adalah kamera yang dirancang khusus untuk disambungkan dengan teleskop. Kamera ini terdiri dari sensor CCD atau CMOS yang dilengkapi

⁷¹ Junaidi, 16.

⁷² Junaidi, 16-17.

sebuah *t-ring* yang berfungsi sebagai penghubung dengan teleskop sebagaimana *eyepeace*, sehingga kamera ini juga disebut dengan digital *eyepeace*.⁷³

Dalam perkembangannya, kamera kemudian memiliki beberapa ukuran sensor diantaranya berukuran 1/2,55" yang umum digunakan pada kamera ponsel, satu inci (12,80 x 9,60 mm) biasa digunakan pada drone, Sensor Micro 4/3rds (17,00 x 13,00 mm) dan yang paling umum adalah *Full Frame* (35,8 x 23,9 mm) dan APSC (23.6 x 15.6 mm). Dua ukuran sensor terakhir yang juga paling umum digunakan tersebut memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing, seperti:⁷⁴

1. Ukuran fisik yang berbeda menjadikan ukuran kamera dengan dua sensor ini memiliki ukuran yang berbeda. Kamera dengan sensor APS-C cenderung memiliki ukuran fisik kamera yang lebih ringan dan ringkas dibanding full frame. Hal ini juga berpengaruh pada ukuran lensa yang digunakan.

Crop factor sensor APS-C meningkatkan panjang fokus efektif lensa apa pun hingga 1,6x. Seperti lensa dengan focal length 70-300mm pada kamera APS-C memberikan rentang zoom efektif sekitar 112-480mm, membawanya ke wilayah super-telefoto. Untuk mendapat rentang zoom efektif yang sama

⁷³ Junaidi, 17-18.

⁷⁴ Canon, "APS-C vs full-frame – the difference explained," 2024, <https://www.canon-europe.com/get-inspired/tips-and-techniques/aps-c-vs-full-frame/>.

di full frame, maka diperlukan lensa yang lebih besar dan lebih berat.

2. Bidang pandang di sensor full-frame lebih lebar dari APS-C, sehingga kamera full-frame ideal untuk bentang alam yang luas, interior arsitektur yang sangat lebar, dan astrofotografi, dan untuk efek kreatif saat Anda ingin melebih-lebihkan perspektif antara area latar depan dan latar belakang.
3. Reseptor cahaya atau photosites pada sensor full-frame secara fisik lebih besar daripada yang dimiliki sensor APS-C dengan jumlah megapiksel yang sama. Oleh karena itu, sensor full frame memiliki lebih banyak potensi pengumpulan cahaya dan dapat menangkap lebih banyak informasi, dengan lebih sedikit *noise* atau grain gambar, terutama pada pengaturan ISO tinggi dalam kondisi cahaya redup.
4. Ukuran file dari APSC akan lebih kecil dibanding Full Frame.

Seiring waktu fotografi kemudian berevolusi dari kamera digital ke *smartphone*. Sejak awal 2010-an, penggunaan *smartphone* untuk fotografi meningkat pesat. Pada tahun 2011, lebih dari seperempat foto diambil menggunakan *smartphone*, dan pada 2015, jumlahnya mencapai lebih dari satu triliun foto per tahun. Faktor utama di balik tren ini adalah kenyamanan dan kemudahan penggunaan *smartphone*, yang selalu tersedia dan memungkinkan pengguna untuk mengambil, mengedit, dan membagikan foto dengan cepat.⁷⁵

⁷⁵ David Cardinal, “Smartphones vs Cameras: Closing the gap on image quality.”

Kualitas gambar *smartphone* tertinggal jauh dibandingkan kamera digital diawal perkembangannya. Namun, produsen *smartphone* melakukan inovasi terhadap peningkatan sensor, lensa, dan terutama pemrosesan gambar berbasis komputasi yang kemudian berhasil mejadikan gambar yang ditangkap oleh *smartphone* menyamai kamera saku. Inovasi kemudian berlanjut untuk meningkatkan kualitas gambar yang ditangkap *smartphone* melalui *image stabilization* dan menumpuk gambar saat memproses gambar. Dengan peningkatan kemampuan pemrosesan gambar pada *smartphone* modern memungkinkan peningkatan kualitas gambar. Teknologi seperti penggabungan *multi-frame*, koreksi distorsi otomatis, dan pemetaan kedalaman memungkinkan *smartphone* menghasilkan gambar dengan kualitas yang mendekati kamera DSLR atau *mirrorless*.⁷⁶

Komputasional di bidang fotografi telah memungkinkan kemajuan besar juga dalam fotografi *smartphone*, yang memungkinkan kamera ponsel melampaui apa yang dapat dicapai oleh perangkat kerasnya yang terbatas. Hal ini memungkinkan lebih banyak orang daripada sebelumnya untuk mengambil foto berkualitas tinggi dengan mudah. Bagian perangkat lunak kamera menjadi lebih berpengaruh terhadap kualitas gambar daripada perangkat keras fisik.⁷⁷

⁷⁶ David Cardinal.

⁷⁷ Friederichsen, "Recent Advances in Smartphone Computational Photography."

Peningkatan kepadatan sensor, ukuran sensor, dan *wafer-level* optik akan memungkinkan mode dan mekanisme baru untuk penangkapan medan cahaya. Ketersediaan daya komputasional yang terus meningkat pada *platform* ponsel (dalam bentuk CPU, GPU, dan FPGA) akan memungkinkan mode pemrosesan gambar baru. *Platform* ponsel juga akan memberikan peluang baru untuk integrasi penangkapan dan pemrosesan yang lebih erat. Seiring kemampuan fotografi yang semakin canggih ditempatkan di tangan semakin banyak orang, dampak kreatif fotografi komputasional ponsel kemungkinan akan lebih mendalam daripada dampak teknologinya.⁷⁸

Selain dari ukurannya, sensor juga bisa dibedakan berdasarkan teknologi pembuatannya menjadi dua jenis, yaitu CCD (*Charge Coupled Device*) dan CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*).⁷⁹ Kedua solid state sensor ini, melalui perangkat opto-electronic, mengubah cahaya menjadi electron. Sehingga partikel cahaya (photon), secara diskrit, dapat diukur dan dikuantisasi menjadi nilai intensitas radiometrik.⁸⁰ Saat ini teknologi CMOS lebih umum ditemukan pada kamera digital meskipun CCD juga tidak ditinggalkan sepenuhnya.⁸¹

⁷⁸ Alexander Oberdörster dan Hendrik P. A. Lensch, “Resolution and sensitivity of wafer-level multi-aperture cameras,” *Journal of Electronic Imaging* 22, no. 1 (31 Januari 2013): 011001, <https://doi.org/10.1117/1.jei.22.1.011001>.

⁷⁹ Martinus Edwin Tjahjadi, “Dampak Ukuran Sensor Kamera Dijital Dalam Kemampuan Untuk Mendeteksi Pergeseran Deformasi Struktur,” *The Indonesian Journal of Computer Science* 13, no. 6 (2024).

⁸⁰ Tjahjadi.

⁸¹ Eufat Tsahib Qasthari, “Sensor dan Aktuator: Digital Camera sebagai sensor optikal,” 2017.

Citra sebagai hasil yang ditangkap oleh kamera secara umum adalah kumpulan piksel-piksel atau titik-titik yang berwarna untuk membentuk imitasi dari sebuah objek.⁸² Dalam pengertian lain, citra merupakan representasi dari suatu objek dua dimensi dari dunia visual.⁸³ Citra terbagi menjadi dua kategori, yaitu citra bersifat analog (kontinu) dan citra yang bersifat digital (diskrit).⁸⁴ Jenis citra digital yang umum digunakan adalah citra biner, *grayscale* dan warna.⁸⁵

Agar sebuah citra dapat tercipta, sensor kamera yang terdapat di dalam kamera yang kedap cahaya harus disinari. Untuk memperoleh pencahayaan yang tepat pada saat memotret, proses masuknya cahaya ke dalam sensor kamera harus diatur. Pengaturan cahaya dapat dilakukan dengan mengontrol bukaan diafragma dan kecepatan rana. Besarnya bukaan diafragma menentukan jumlah cahaya yang diteruskan ke sensor, sedangkan kecepatan rana menentukan lamanya waktu yang diperlukan untuk mencahayai sensor. Kombinasi dari besarnya bukaan diafragma dan kecepatan rana merupakan jumlah cahaya yang dipantulkan dari

⁸² Mangaras, Bambang Yuwono, dan Dessyanto, “Dasar Pengolahan Citra Digital.”, 19-20.

⁸³ Harvei Desmon Hutahaean, Bakti Dwi Waluyo, dan Muhammad Amin Rais, “Teknologi Identifikasi Objek Berbasis Drone Menggunakan Algoritma Sift Citra Digital,” *Jurnal Teknik Informatika UNIKA Santo Thomas* 4, no. 2 (2019): 202–7.

⁸⁴ Citra kontinu dihasilkan dari sistem optik yang menerima sinyal analog, misalnya mata manusia dan kamera analog. Citra diskrit dihasilkan melalui proses digitalisasi terhadap citra kontinu. Beberapa sistem optik dilengkapi dengan fungsi digitalisasi sehingga ia mampu menghasilkan citra diskrit, misalnya kamera digital dan scanner. Citra diskrit disebut juga citra digital. Komputer digital yang umum dipakai saat ini hanya dapat mengolah citra digital.

⁸⁵ Mangaras, Bambang Yuwono, dan Dessyanto, “Dasar Pengolahan Citra Digital.”

objek dan kecepatan sensor kamera yang digunakan. Berbagai kombinasi dari bukaan dan kecepatan rana memberikan pencahayaan yang sama.⁸⁶

Selain diafragma dan rana, kecepatan sensor juga berpengaruh dalam proses pencahayaan. Kecepatan sensor berarti kepekaan sensor terhadap cahaya. Kecepatan sensor dinyatakan dengan ISO (*International Standard Organization*) atau ASA (*American Standard Association*). Bilangan ISO mengindikasikan seberapa besar kepekaan sensor terhadap cahaya.⁸⁷ Makin kecil angka ISO, makin rendah kepekaannya terhadap cahaya. Sebaliknya, makin tinggi angka ISO, makin peka sensor tersebut terhadap cahaya.⁸⁸

Selain itu, sensitivitas sebuah kamera dipengaruhi juga oleh ukuran sensornya,⁸⁹ sehingga semakin besar ukuran sensor maka akan semakin baik performa kamera tersebut.⁹⁰ Hal ini dapat terjadi karena ukuran sensor akan menentukan seberapa banyak piksel yang mampu dimuat dalam sebuah kamera. Piksel pada sensor gambar adalah *photosites* atau pengumpul cahaya, yang kemudian mengubahnya menjadi data.⁹¹ Piksel dapat dianggap sebagai wadah cahaya terkumpul. Cahaya yang terkumpul di sensor dikodekan ke

⁸⁶ Giwanda, “Panduan praktis menciptakan foto menarik.”, 19-20.

⁸⁷ Frost, *Photography*, 112.

⁸⁸ Giwanda, “Panduan praktis menciptakan foto menarik.”, 20.

⁸⁹ Santosi dkk., “Comparative analysis of Full Frame and APS-C camera sensors on 3D digitization results.”

⁹⁰ C. Díaz-Vilariño, D. Martín-Torres and J. Martínez-Sánchez, *Impact of Sensor Size on the Photogrammetric Performance of a Digital Camera* [Journal] // Remote Sensing. - 2017.

⁹¹ SNAPSHOT, “Kamera Full-Frame vs APS-C: Manakah yang Sebaiknya Saya Pilih?”

dalam data digital dengan bit tertentu, yang dikenal dengan istilah kuantisasi. Disamping itu, ukuran sensor juga menentukan luas dynamic range yang bisa ditangkap kamera. Dynamic range (DR)⁹² Artinya rasio dari tingkat terang maksimum yang bisa ditangkap sensor, dibanding dengan tingkat minimumnya (gelap).⁹³

Metode yang digunakan dalam pengamatan fajar salah satunya yaitu dengan metode *image processing*. Metode ini merupakan metode di mana pengamat menangkap citra fajar menggunakan kamera yang hasilnya kemudian diolah untuk menganalisis keberadaan fajar di ufuk. Pada saat menangkap gambar, kamera menangkap *exposure* yang ada di langit. *Exposure* adalah banyaknya jumlah cahaya yang ditangkap sensor kamera, yang ditentukan oleh lamanya rentang waktu penangkapan cahaya dan lebar bukaan lensa.⁹⁴ *Exposure* juga bisa dianggap sebagai tingkat terang sebuah foto. *Exposure* terdiri dari tiga unsur yaitu: diafragma (aperture) atau bukaan lensa, Shutter speed, dan ISO sebagaimana yang telah dijelaskan sebelumnya. Ketiganya disebut Segitiga exposure yang

⁹² Satuan DR adalah stop, sensor kecil biasanya bisa membedakan terang gelap sekitar 5 stop. Kamera DSLR punya sensor yang DR-nya sekitar 11 stop. Sedangkan mata manusia 24 stop. Dynamic range jika dianalogikan sebagai penggaris, maka ia ibarat panjang penggaris. Sedangkan bit adalah jumlah level dalam rentan panjang penggaris tersebut. Contoh jika ada penggaris dengan panjang 10 cm dan memiliki dip 256 tentu berbeda dengan penggaris yg memiliki panjang 20 cm dengan nilai dip yang sama.

⁹³ Yulius Widi Nugroho, "Problematika Mengenai Dynamic Range pada Kamera Digital dan Aplikasinya pada Cetak," *Majalah Print Media*, 2017.

⁹⁴ Xabier Quintana dkk., "Image sensors for digital photography: a short course for undergraduates. I: Optics," *Optica Pura y Aplicada* 53 (24 Maret 2020): 1–23, <https://doi.org/10.7149/OPA.53.1.51040>.

saling berinteraksi. Perubahan pada salah satu ukuran akan berpengaruh pada ukuran lainnya.⁹⁵

Penelitian ini berfokus pada penggunaan kamera digital dengan jenis mirrorless yang menggunakan sensor dengan jenis CMOS. Dengan jenis kamera yang tersebut, ukuran sensor yang digunakan ialah APS-C yang akan dikomparasikan dengan kamera *smartphone*. Pengaturan exposure yang digunakan mencakup nilai *shutter speed* 10 detik,⁹⁶ *iso* 3200, dan bukaan diafragma 1.8.

D. Menentukan Titik Belok Kurva Fajar

Titik belok kurva fajar, sebagai indikasi kemunculan awal fajar, bisa ditentukan dengan beberapa metode. Di antara metode yang digunakan dalam penelitian fajar ialah model polynomial⁹⁷, *moving average*, analisis visual, dan fungsi linear.⁹⁸

Metode *moving average* menunjukkan nilai rata-rata suatu data, yang berbentuk *time series*, dalam suatu periode kemudian dicari beda gradiennya. Jika nilai gradien dalam suatu rentan data bernilai negatif dan rentan setelahnya juga konsisten bernilai negatif, maka titik tersebut ditetapkan sebagai awal waktu terbit fajar.⁹⁹

⁹⁵ I Kadek Angga Aditya, Anis Raharjo, dan Ida Bagus Candra Yana, “Gerak Fire Dance Dalam Karya Fotografi Ekspresi,” *Prabangkara: Jurnal Seni Rupa dan Desain* 22, no. 1 (2018).

⁹⁶ Wahyu Widhi, *Memotret Milky Way: Kiat Mendapatkan Foto Bima Sakti Dan Star Trail Yang Menawan* (Jakarta: Gramedia, 2014), 58.

⁹⁷ Tono Saksono dan Mohamad Ali Fulazzaky, “Predicting the accurate period of true dawn using a third-degree polynomial model,” *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics* 9, no. 1 (2020): 238–44.

⁹⁸ Basthoni, “Efek Polusi Cahaya Terhadap Penentuan Awal Waktu Subuh Di Indonesia.”

⁹⁹ Adi Damanhuri, “Pengamatan dan Penelitian Awal Waktu Subuh: Semua Bisa Melakukannya,” *Sidoarjo: Nizamia Learning Center*, 2020, 72–73.

Dalam pengolahan data fajar menggunakan teknik ini, keberhasilan mengidentifikasi munculnya fajar *ṣādiq* bergantung kepada *noise* yang dihasilkan. Semakin sedikit *noise*, maka akan semakin mudah untuk melihat perubahan keadaan langit.¹⁰⁰ Metode *moving average* dapat menyaring *noise* yang dihasilkan dari data pengamatan. Sehingga dengan demikian kurva yang terbentuk dari data tersebut akan lebih halus dan akan memperjelas perubahan kondisi langit dari terang ke gelap.¹⁰¹

¹⁰⁰ Putraga dkk., “Penentuan awal waktu subuh menggunakan kamera DSLR dan metode moving average.”

¹⁰¹ Abu Yazid Raisal dan Yudhiakto Pramudya, “Pemanfaatan Metode Moving Average dalam Menentukan Awal Waktu Salat Subuh Menggunakan Sky Quality Meter (SQM),” *Al-Marshad: Jurnal Astronomi Islam Dan Ilmu-Ilmu Berkaitan* 5, no. 1 (2019).

BAB III

PENGAMATAN FAJAR *ṢĀDIQ* MENGGUNAKAN KAMERA APS-C DAN SMARTPHONE

Bab ini membahas pelaksanaan pengamatan fajar *ṣādiq* dengan menggunakan dua jenis perangkat kamera, yaitu kamera digital bersensor APS-C dan kamera pada *smartphone*. Penekanan utama diberikan pada kemampuan masing-masing sensor dalam menangkap intensitas cahaya fajar serta metodologi yang digunakan untuk mendokumentasikan fenomena tersebut secara sistematis. Perbedaan ukuran sensor antara kedua perangkat menjadi titik awal pembahasan.

Penelitian ini menggunakan dua alat utama: kamera mirrorless Fujifilm X-T30 dengan sensor APS-C dan *smartphone* Samsung A16. Dalam praktiknya, observasi dilakukan dengan metode *time series* menggunakan interval pengambilan gambar setiap 30 detik. Semua parameter eksposur, meliputi kecepatan rana, ISO, dan bukaan lensa, diseragamkan untuk memastikan kesetaraan kondisi pencahayaan dan memperkecil bias teknis. Data visual kemudian dianalisis menggunakan perangkat lunak AstroImageJ untuk mengekstraksi intensitas cahaya rata-rata pada setiap frame. Selanjutnya, nilai-nilai ini diplot dengan menggunakan software labplot untuk memvisualisasikan kurva cahaya fajar *ṣādiq* yang berhasil ditangkap kedua kamera.

A. Pengamatan Fajar *Ṣādiq* dengan Kamera APS-C Dan Smartphone

1. Sensor Kamera APSC dan *Smartphone*

Sensor kamera merupakan perangkat semikonduktor yang berfungsi menangkap partikel cahaya (foton) melalui jutaan

piksel sensitif, lalu mengubahnya menjadi sinyal listrik. Sinyal ini kemudian diproses oleh chip komputer untuk menghasilkan gambar digital. Jenis sensor kamera yang paling umum digunakan adalah *complementary metal-oxide semiconductor* (CMOS). Sensor ini digunakan hampir di semua kamera digital modern, termasuk pada smartphone, kamera saku, dan kamera mirrorless dengan lensa yang dapat diganti.¹⁰²

Sensor CMOS terdiri atas jutaan piksel kecil yang tersusun dalam bentuk grid. Setiap piksel merupakan *photosite* tunggal, atau sering disebut “sumur cahaya”. Ketika foton masuk ke dalam *photosite*, mereka mengenai dioda semikonduktor yang sensitif terhadap cahaya (*photodiode*) dan diubah menjadi arus listrik yang besarnya sebanding dengan intensitas cahaya yang diterima. Sinyal ini diperkuat langsung di setiap piksel, lalu dikirim ke konverter analog-ke-digital (ADC) untuk diubah menjadi sinyal digital dan diteruskan ke prosesor gambar.¹⁰³

Prosesor gambar kemudian membaca keseluruhan data digital tersebut dan menerjemahkannya menjadi gambar, karena tiap piksel memiliki nilai tersendiri berdasarkan seberapa banyak cahaya yang diterimanya. Karena proses penguatan dan konversi dilakukan langsung di tingkat piksel, maka transistor, kabel, dan komponen sirkuit lainnya harus ditempatkan di antara *photosite*. Untuk mengurangi pantulan cahaya dari sirkuit tersebut, sebuah

¹⁰² “Camera Sensors: What Are They and How Do They Work?,” <https://www.fujifilm-x.com/en-us/series/fundamentals-of-photography/camera-sensors-what-are-they-and-how-do-they-work/>, t.t.

¹⁰³ “Camera Sensors: What Are They and How Do They Work?”

microlens ditempatkan di atas tiap piksel guna mengarahkan cahaya langsung ke *photodiode*, sehingga jumlah foton yang ditangkap dapat dimaksimalkan.¹⁰⁴

Ukuran sensor pada kamera memiliki ukuran yang berbeda-beda, diantara yang paling umum adalah 1/2,55" yang biasa digunakan pada kamera ponsel, 1/2,3" yang sering digunakan kamera saku,¹⁰⁵ satu inci (12,80 x 9,60 mm) biasa digunakan pada drone, Sensor Micro 4/3rds (17,00 x 13,00 mm), APSC (23.6 x 15.6 mm), *Full Frame* (35,8 x 23,9 mm) dan Medium Format.¹⁰⁶ Sensor dengan ukuran yang lebih besar memungkinkan titik piksel untuk menangkap cahaya lebih optimal. Hal ini berimplikasi pada hasil foto oleh sensor dengan ukuran yang lebih besar memiliki kelebihan disisi ketajaman gambar, kedalaman warna, dan lebih bersih dari *noise*.¹⁰⁷

Kamera yang dilengkapi sensor APS-C banyak digunakan dalam kamera *digital single-lens reflex* (DSLR) dan kamera *mirrorless*. Kedua jenis kamera ini memiliki kemampuan yang sangat baik serta memiliki dimensi yang relatif ringkas dan ringan.¹⁰⁸ Istilah APS-C merupakan akronim dari *Advanced Photo System type-C*, yang berasal dari format *Classic* dalam

¹⁰⁴ "Camera Sensors: What Are They and How Do They Work?"

¹⁰⁵ Wahyu Dharsito, *Dasar Fotografi Digital I: Pengenalan Kamera Digital* (Elex Media Komputindo, 2015).

¹⁰⁶ Dharsito.

¹⁰⁷ Dharsito.

¹⁰⁸ Agus Pribadi, "Pemanfaatan kamera dengan sensor APS-C pada penelusuran lapangan kawasan rawan bencana untuk informasi spasial mitigasi bencana SIGDa," *Jurnal Teknologi dan Informasi* 9, no. 1 (2019): 12–23.

sistem film negatif APS. Format ini pertama kali diperkenalkan oleh produsen kamera pada tahun 1996 sebagai bagian dari strategi untuk meningkatkan aksesibilitas teknologi fotografi bagi pengguna non-profesional. Dengan berkembangnya era fotografi digital, produsen mulai mengadopsi sensor gambar digital yang memiliki dimensi mendekati format tersebut guna mempertahankan kompatibilitas desain serta kualitas hasil pencitraan.¹⁰⁹ Sensor APS-C sedikit lebih kecil, dengan crop factor sebesar 1,6 dibandingkan dengan sensor *Full Frame* (50 x 39 mm, yang setara dengan film 35mm). Oleh karena itu, istilah *full frame* digunakan untuk menggambarkan ukuran sensor ini.¹¹⁰ Meski terdapat crop factor dari kamera *full frame*, ukuran APS-C masih terpaut jauh dibanding dengan ukuran sensor *smartphone*.¹¹¹

Kualitas gambar *smartphone* pada awal perkembangannya tertinggal jauh dibandingkan kamera digital. Namun, inovasi terhadap peningkatan sensor, lensa, dan terutama pemrosesan gambar berbasis komputasi yang dilakukan berhasil mejadikan gambar yang ditangkap oleh *smartphone* menyamai kamera saku.

¹⁰⁹ SNAPSHOT, “Kamera Full-Frame vs APS-C: Manakah yang Sebaiknya Saya Pilih?”

¹¹⁰ Adrian Permana Zen dan Donny Trihanondo, “Perkembangan Seni Fotografi dan Sinematografi serta Tantangannya pada era Pasca Pandemi Covid-19,” dalam *SENADA (Seminar Nasional Manajemen, Desain Dan Aplikasi Bisnis Teknologi)*, vol. 5, 2022, 33–41.

¹¹¹ Hendri Hartono, “Sensor Size dan Pengaruhnya terhadap Gambar,” <https://binus.ac.id/semarang/dkv/2024/04/03/sensor-size-dan-pengaruhnya-terhadap-gambar/>, 3 April 2024, <https://binus.ac.id/semarang/dkv/2024/04/03/sensor-size-dan-pengaruhnya-terhadap-gambar/>. Diakses 7 Mei 2025, 9:53

Inovasi berlanjut melalui penerapan *image stabilization*, teknik menumpuk gambar saat memproses gambar, dan peningkatan kemampuan *image processing* itu sendiri pada *smartphone* modern yang memungkinkan peningkatan kualitas gambar yang mendekati kamera DSLR atau mirrorless.¹¹²

Peningkatan kualitas gambar juga mendorong inovasi di bidang hardware. Penemuan sensor *Back-side illuminated* (BSI) memungkinkan *smartphone* menggunakan sensor dengan ukuran yang lebih besar tanpa menambah ketebalannya. Sensor ini menempatkan *photosites* lebih dekat ke permukaan sehingga dapat mengumpulkan cahaya dari arah yang lebih banyak. Hal ini memberi beberapa kelebihan yaitu *aperture* lensa bisa lebih besar, yang berarti lebih banyak informasi dapat ditangkap dalam eksposur tertentu dan lebih sedikit *noise* dalam gambar yang diambil. Kelebihan lainnya yaitu lensa dapat ditempatkan lebih dekat ke sensor, memungkinkan penggunaan sensor yang lebih besar tanpa menambah ketebalan ponsel. Sehingga, lensa yang lebih datar dapat digunakan, yang memungkinkan lebih banyak fleksibilitas dalam menambahkan elemen optik tambahan dan menciptakan lensa panjang fokus yang lebih efektif, dan juga tanpa menyebabkan ponsel yang lebih tebal.¹¹³

¹¹² David Cardinal, “Smartphones vs Cameras: Closing the gap on image quality.”

¹¹³ David Cardinal.

2. Spesifikasi Alat Pengamatan Fajar *Ṣādiq*

Penelitian ini menggunakan dua kamera dengan ukuran sensor yang berbeda, yaitu kamera Fujifilm X-T30 dengan ukuran sensor 23.5mm x 15.6mm dan kamera smartphone Samsung a16 yang memiliki ukuran sensor 1/2.76"¹¹⁴. spesifikasi dari kedua alat yang digunakan ini adalah sebagai berikut:

a. Fujifilm X-T30

Tabel 3. 1 Spesifikasi instrumen X-T30

Model Name	FUJIFILM X-T30 II
Lens Mount	FUJIFILM X mount
Image Sensor	23.5mm x 15.6mm (APS-C) X-Trans CMOS 4 with primary color filter
Number Of Effective Pixels	26.1 millions pixels
Sensor Cleaning System	Ultra Sonic Vibration
Image Processing Engine	X-Processor 4
Storage Media	SD Card (-2GB)
	SDHC Card (-32GB)
	SDXC Card (-2TB)
	UHS-I
	JPEG (Exif Ver.2.32)
	RAW (14bit RAW (RAF original format))
Sensitivity	Still Image
	Standard Output (AUTO1, AUTO2, AUTO3, ISO160~12800 (1/3 step))
	Extended Output (ISO80, ISO100, ISO125, ISO25600, ISO51200)

¹¹⁴ “Samsung Galaxy A16 - Spesifikasi dan Harga Terbaru | Kalvo,” Kalvo, t.t.

Exposure Mode	P (Program AE), A (Aperture Priority AE), S (Shutter Speed Priority AE), M (Manual Exposure)
Shutter Type	Focal Plane Shutter
Shutter Speed	Mechanical Shutter (P Mode (4sec. to 1/4000sec.), A Mode (30sec. to 1/4000sec.), S/M Mode (15min. to 1/4000sec.), Bulb (up to 60min.))
Focus	
Mode	Single AF, Continuous AF, MF
Type	Intelligent Hybrid AF (TTL contrast AF / TTL phase detection AF)
AF Frame Selection	Single Point AF (13×9 / 25×17 (Changeable size of AF frame))
	Zone AF (3×3 / 5×5 / 7×7 from 117 areas on 13×9 grid)
	All (Yes)
LCD Monitor	
LCD Monitor	3.0 inch Tilt-Type Touch Screen Color LCD Monitor
Aspect Ratio	3:2
Dots	Approx. 1.62 million dots
Touch Screen Mode	
Shooting Mode	Shooting, AF, Focus Area, OFF, Double Tap Setting (ON/OFF), Touch Function Setting (ON/OFF), EVF Touch Screen Area Setting
White Balance	
Auto	White Priority, Auto, Ambience Priority,
Custom	Custom1 – 3

Color Temperature Selection	2500K~10000K
Preset	Daylight, Shade, Fluorescent Light-1, Fluorescent Light-2, Fluorescent Light-3, Incandescent Light, Underwater
Self-timer	
Still	10sec, 2sec
Interval Timer Shooting	Yes (Setting : Interval, Number of shots, Starting time, Interval timer shooting exposure smoothing)
Power Supply	
Power Supply	NP-W126S Li-ion battery
Dimensions	
Width	118.4mm
Height	82.8mm
Depth	46.8mm
(Minimum Depth)	(31.9mm)

b. Samsung a16

Tabel 3. 2 Spesifikasi instrumen Samsung A16

Model	Samsung Galaxy A16 4G
Layar	6,7" FHD+ Super AMOLED (1080 × 2340)
Chipset & CPU	Octa-Core (4×2.2 GHz + 4×2.0 GHz)
GPU	Mali-G57
RAM & Penyimpanan	8 GB RAM / 128 GB internal (microSD hingga 1,5 TB)

Sistem Operasi	Android (One UI)
Baterai	5000 mAh, Super Fast Charging 25 W
Dimensi & Berat	164,4 × 77,9 × 7,9 mm / 200 g
Sensor Utama Foto	Triple Camera: 50 MP (f/1.8) + 5 MP ultrawide (f/2.2) + 2 MP depth (f/2.4)
Fitur Kamera Belakang	– Autofocus– Digital Zoom up to 10×– LED flash– AI Scene Optimizer (20+ scene types)
Mode Foto	Night, Portrait, Panorama, Pro, Macro, Food, Live Focus, Hyperlapse
Stabilisasi	Digital stabilization (EIS); no OIS
Kamera Depan	13 MP (f/2.0), autofocus: no, LED flash off
Mode Selfie	Beauty Mode, Live Focus
Video Recording	– Rear: FHD 1080p@30fps, Slow-Mo 120fps@HD– Front: FHD 1080p@30fps
Audio & Mikrofon	Stereo recording via microphone array; no headphone jack
Konektivitas Foto & Video	USB-C 2.0, Wi-Fi 802.11a/b/g/n/ac, Bluetooth 5.0, GPS
AI & Perangkat Lunak	AI scene detection, Quick Share, Smart Switch
Keamanan Kamera	Samsung Knox Vault (melindungi data kamera & file)
Ketahanan	IP54 (anti percikan air dan debu)

3. Teknis Pengamatan Fajar *Ṣādiq* Menggunakan Kamera APS-C Dan *Smartphone*

Pengamatan Fajar *Ṣādiq* dilakukan dengan teknik pengambilan gambar *time series* dengan interval 30 detik tiap sekali pengambilan citra. Proses ini menggunakan settingan yang sama pada tiap kamera mencakup nilai shutter speed 10 detik, ISO 3200, dan bukaan 1.8. Nilai *shutter speed* 10 detik dipilih untuk menghindari pergerakan langit yang ditangkap akibat rotasi bumi.¹¹⁵ Pengamatan fajar *ṣādiq* dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan alat-alat yang dibutuhkan untuk pengamatan, mencakup kamera dan tripod. Tripod dibutuhkan agar citra fajar *ṣādiq* terlihat jelas tanpa ada efek *motion blur* akibat dari *shutter speed* yang lama.
2. Pasang kamera pada tripod. Disarankan menggunakan tripod yang kokoh untuk meminimalisir goyangan akibat tertiup angin.
3. Hadapkan kamera ke arah ufuk di daerah posisi matahari akan terbit. Untuk mengetahui daerah tersebut, bisa menggunakan bantuan aplikasi pemetaan langit seperti Stellarium atau Skymaps.
4. Proses pengambilan citra dengan teknik *time series* siap dilakukan dengan menekan tombol *shutter* di kamera.
5. Tunggu hingga proses pengambilan citra selesai.

¹¹⁵ Wahyu Widhi, *Memotret Milky Way: Kiat Mendapatkan Foto Bima Sakti Dan Star Trail Yang Menawan* (Jakarta: Gramedia, 2014), 58.

Teknik pengambilan citra *time series* pada kamera X-T30 dapat dilakukan dengan masuk ke menu kemudian pilih *shooting setting* dan pilih *interval timer shooting*. Menu *interval timer shooting* memungkinkan pengguna untuk menentukan jarak interval dan jumlah pengambilan foto. Sedangkan di *smartphone* Samsung A16, teknik *time series* dilakukan dengan memanfaatkan fitur mode pro pada kamera dan bantuan *software* tambahan yaitu AutoClicker.

B. Interpretasi Data Pengamatan Fajar *Ṣādiq* Menggunakan Kamera APS-C dan *Smartphone*

Pendekatan fotometri dalam pengamatan fenomena fajar bertumpu pada prinsip bahwa proses ini menghasilkan kurva cahaya, yaitu representasi grafis yang menunjukkan hubungan antara intensitas cahaya dan waktu. Kurva cahaya tersebut berfungsi sebagai instrumen analisis yang sederhana, namun cukup efektif untuk mengilustrasikan serta menjelaskan dinamika perubahan intensitas cahaya dari waktu ke waktu. Melalui interpretasi terhadap kurva yang diperoleh, karakteristik sumber cahaya serta medium yang dilaluinya dapat dianalisis secara lebih terstruktur dan mendalam.¹¹⁶

Nilai intensitas cahaya yang terdapat pada citra fajar yang berhasil ditangkap dapat dicari dengan memanfaatkan aplikasi AstroImageJ. Proses ini memanfaatkan fitur penilaian terhadap rata-rata nilai intensitas cahaya pada suatu area di gambar, dalam hal ini area yang akan dicari adalah area di mana matahari akan terbit.

¹¹⁶ Basthoni, “Efek Polusi Cahaya Terhadap Penentuan Awal Waktu Subuh Di Indonesia.”

Adapun langkah-langkah untuk membandingkan nilai intensitas cahaya menggunakan perangkat lunak AstroImageJ adalah:

1. Buka perangkat lunak AstroImageJ, kemudian pilih file,
2. Pilih Import – Image Sequence,
3. Akan muncul tampilan untuk mengimport folder yang akan diproses, pilih Browse,
4. Cari folder yang akan diimport, pilih Open,
5. AstroImageJ akan memproses foto yang ada dalam folder yang dipilih tersebut,
6. Pilih Analyze – Set Measurements,
7. Akan muncul tampilan check box seperti gambar di bawah, hidupkan centang pada pilihan Mean Gray Value¹¹⁷ dan matikan centang pada pilihan lainnya, kemudian klik Ok,
8. Pilih Analyze lagi dan pilih Tools kemudian pilih ROI Manager,
9. Muncul tampilan berikut
10. Pilih bentuk lingkaran/ kotak sesuai kebutuhan pada AIJ, letakkan pada gambar yang dianalisis di bagian yang

¹¹⁷ Adalah nilai rata-rata dari semua intensitas piksel dalam suatu area yang diseleksi pada gambar. Ini dihitung dengan menjumlahkan semua nilai abu-abu piksel dalam area tersebut dan membaginya dengan jumlah piksel.

diperkirakan sebagai tempat munculnya fajar *ṣādiq*, pilih add dan juga Show all dan label,

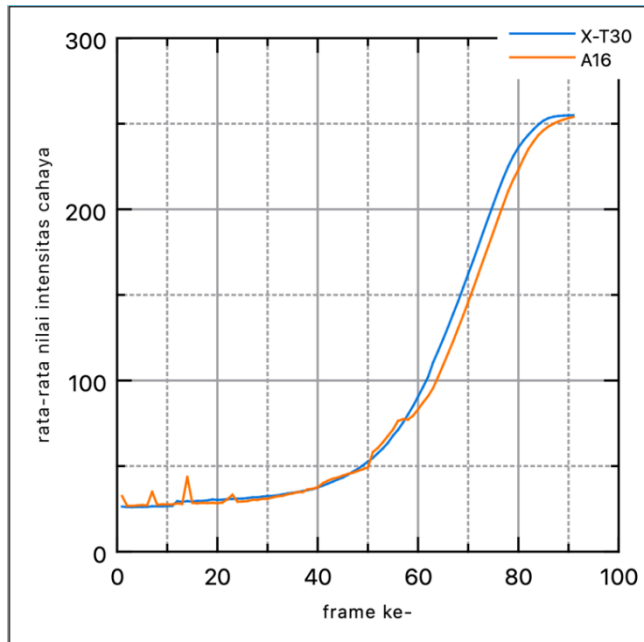
11. Pilih More pada ROI Manager, pilih multi measure,
12. Muncul Check box seperti di bawah kemudian centang di bagian measure all ... slice dan one row per slice, pilih Ok,
13. Kemudian akan muncul hasil dari perhitungan rata-rata titik yang telah dipilih pada Langkah ke-10 tadi,
14. Simpan hasil dalam bentuk format txt dan arahkan pada folder yang ingin dituju, pilih save,
15. Plot dan Identifikasi Titik Belok Data Fajar *Ṣādiq*. Identifikasi titik belok kurva fajar *ṣādiq* dapat dilakukan setelah mendapatkan nilai intensitas cahaya dari tiap citra yang ditangkap dari proses sebelumnya. Nilai intensitas ini kemudian diolah menggunakan teknik *moving average* dan dicari nilai gradiennya dengan bantuan aplikasi Microsoft Excel. Setelah diolah, kemudian data tersebut diplot menggunakan aplikasi LabPlot untuk dapat mengidentifikasi titik belok fajar *ṣādiq*.

C. Data Pengamatan Fajar *Ṣādiq* Menggunakan Kamera APS-C dan *Smartphone*

Pengamatan menggunakan instrumen kamera APS-C Fujifilm X-T30 dan *smartphone* Samsung A16, yang telah dilakukan selama rentan waktu 30 April – 6 Mei 2025 di Karimunjawa, menghasilkan data sebagai berikut:

1. Citra Pengamatan Fajar *Ṣādiq* Menggunakan Kamera APS-C Fujifilm X-T30
 - a. 30 April, pengamatan yang dilakukan dengan teknik *time series*, yang dimulai pada pukul 4:13 dan berakhir pada pukul

05:00 dengan menggunakan interval 30 detik untuk setiap pengambilan *frame*-nya, menghasilkan 95 data dalam bentuk gambar. Rata-rata nilai intensitas tiap frame pada kedua instrumen dapat dilihat dalam kurva berikut:



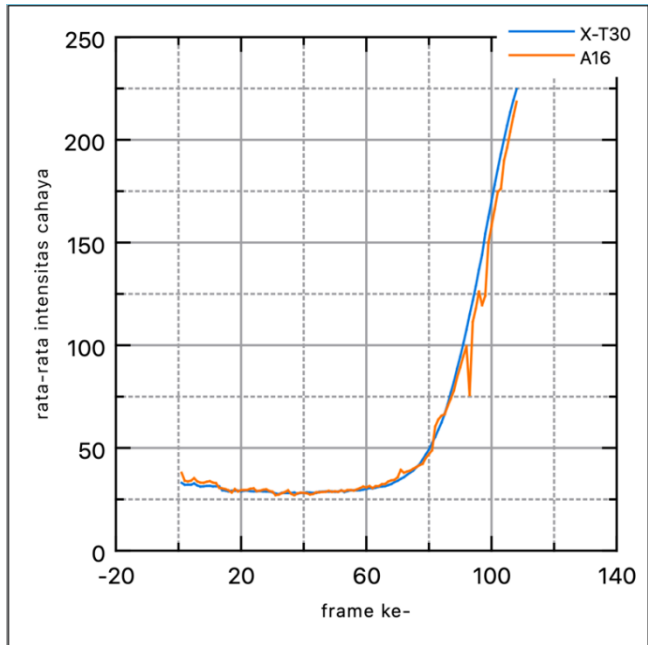
Gambar 3. 1 Kurva nilai rata-rata intensitas cahaya pengamatan 30 April

Dari grafik dapat dilihat bahwa hasil intensitas rata-rata yang berhasil ditangkap kedua instrumen sangat identik. Kondisi langit pada hari ini tergolong cerah, namun terdapat awan di bagian ufuk. Untuk lebih jelas, kondisi langit dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3. 2 Kondisi langit pengamatan 30 April

- b. 1 Mei, pengamatan dilakukan dengan teknik *time series*. Pengambilan citra dimulai pada pukul 03:58 dan berakhir pada pukul 04:51. Menggunakan interval 30 detik untuk setiap pengambilan *frame*-nya, pengamatan dalam rentan waktu tersebut menghasilkan 108 data dalam bentuk gambar. Rata-rata nilai intensitas tiap frame pada kedua instrumen dapat dilihat dalam kurva berikut:



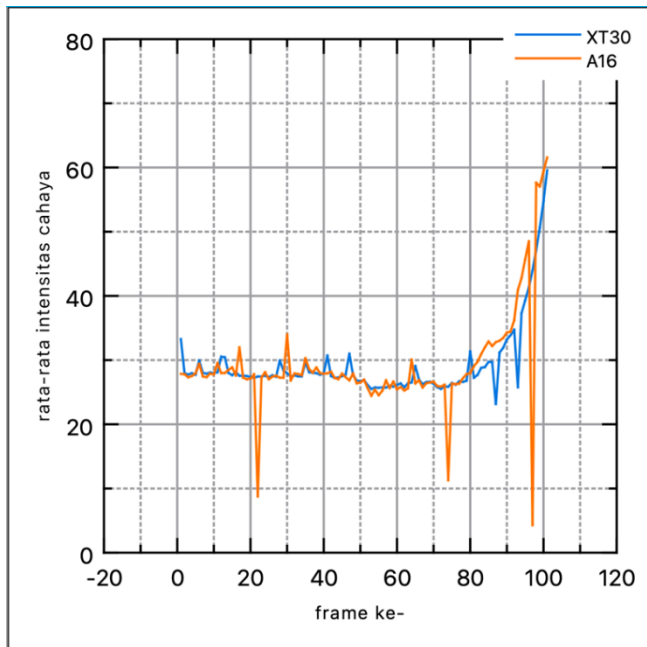
Gambar 3. 3 Kurva nilai rata-rata intensitas cahaya pengamatan 1 Mei

Dari grafik dapat dilihat bahwa hasil intensitas rata-rata yang berhasil ditangkap kedua instrumen sangat identik. Kondisi langit pada hari ini tergolong cerah, namun terdapat awan dibagian ufuk. Gambaran kondisi langit pada hari ini dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3. 4 Kondisi langit pengamatan 1 Mei

- c. 2 Mei, pengamatan pada hari ini dimulai pada pukul 03:58 dan berakhir pada pukul 04:51. Menggunakan teknik *time series* dengan interval 30 detik untuk setiap pengambilan *frame*-nya, pengamatan dalam rentan waktu tersebut menghasilkan 108 data dalam bentuk gambar. Rata-rata nilai intensitas tiap frame pada kedua instrumen dapat dilihat dalam kurva berikut:



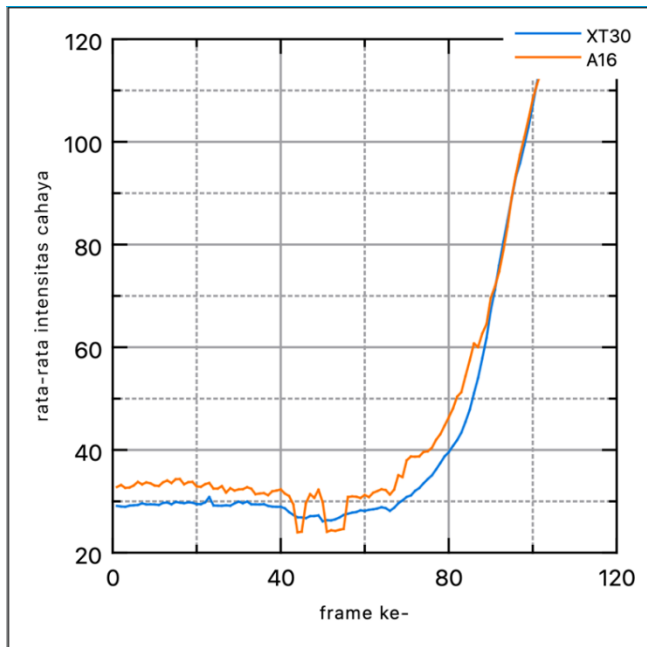
Gambar 3. 5 Kurva nilai rata-rata intensitas cahaya pengamatan 2 Mei

Dari grafik dapat dilihat bahwa hasil intensitas rata-rata yang berhasil ditangkap kedua instrumen juga tergolong identik. Pada hari ini, terdapat cukup banyak awan di daerah ufuk yang terlihat. Namun, awan tidak menutup seluruh bagian langit dan masih menyisakan beberapa bagian langit yang bersih. Awan-awan tersebut selama pengamatan terus bergerak sehingga menghasilkan kurva yang fluktuatif. Untuk lebih jelas, gambaran kondisi langit dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3. 6 Kondisi langit pengamatan 2 Mei

- d. 3 Mei, pengamatan yang dilakukan dengan teknik *time series*, yang dimulai pada pukul 04:01 dan berakhir pada pukul 04:51 dengan menggunakan interval 30 detik untuk setiap pengambilan *frame*-nya, menghasilkan 102 data dalam bentuk gambar. Rata-rata nilai intensitas tiap frame pada kedua instrumen dapat dilihat dalam kurva berikut:



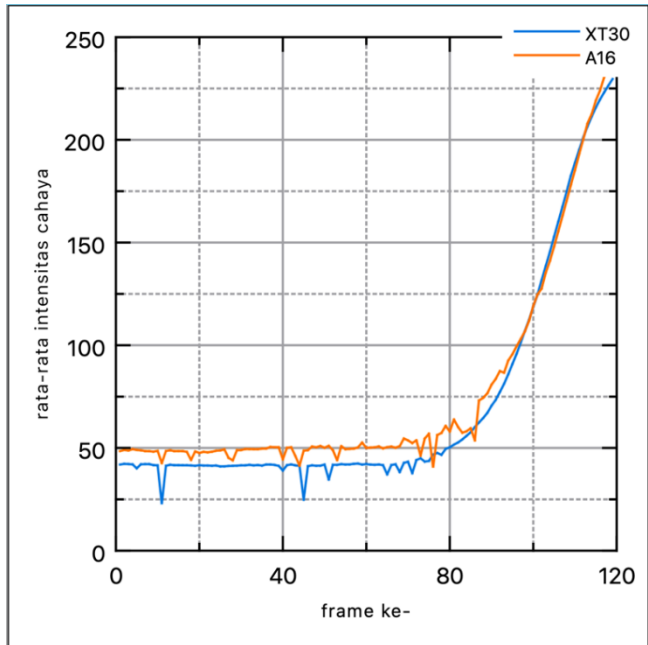
Gambar 3. 7 Kurva nilai rata-rata intensitas cahaya pengamatan 3 Mei

Berdasarkan grafik, terlihat adanya perbedaan nilai rata-rata intensitas cahaya yang ditangkap oleh kedua instrumen. Pada hari pengamatan, langit di sekitar ufuk tampak dipenuhi oleh awan dalam jumlah yang cukup banyak. Dibandingkan hari sebelumnya, kuantitas awan kali ini lebih besar dan cukup signifikan memengaruhi hasil pengukuran cahaya, terutama pada fase awal sebelum peningkatan intensitas yang tajam. Untuk memberikan gambaran visual mengenai kondisi langit saat itu, berikut disajikan dokumentasi citra langit yang diambil selama proses pengamatan:



Gambar 3. 8 Kondisi langit pengamatan 3 Mei

- e. 4 Mei, pengamatan pada hari ini dimulai pada pukul 03:51 dan berakhir pada pukul 04:50. Menggunakan teknik *time series* dengan interval 30 detik untuk setiap pengambilan *frame*-nya, pengamatan dalam rentan waktu tersebut menghasilkan 120 data dalam bentuk gambar. Rata-rata nilai intensitas tiap frame pada kedua instrumen dapat dilihat dalam kurva berikut:



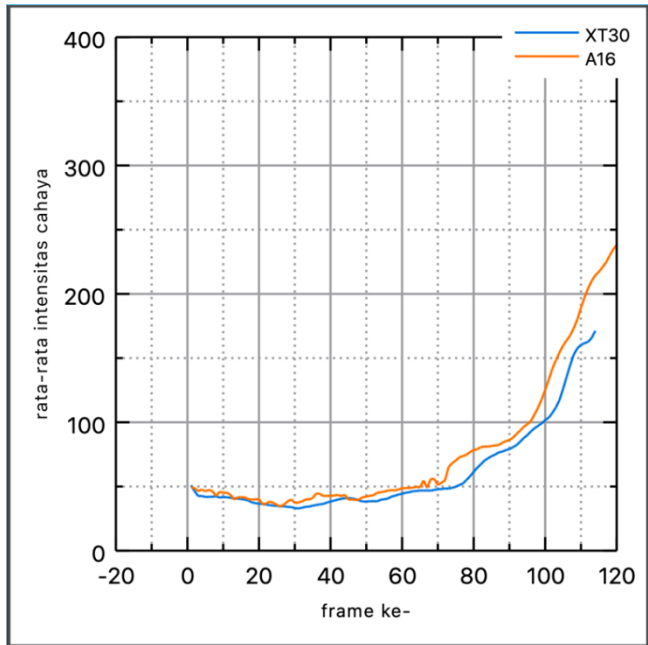
Gambar 3. 9 Kurva nilai rata-rata intensitas cahaya pengamatan 4 Mei

Berdasarkan grafik, terlihat adanya perbedaan nilai rata-rata intensitas cahaya yang ditangkap oleh kedua instrumen. Kondisi langit pada hari ini tergolong bersih namun masih terdapat gumpalan awan yang terus bergerak selama pengamatan dilakukan. Untuk memberikan gambaran visual mengenai kondisi langit saat itu, berikut disajikan dokumentasi citra langit yang diambil selama proses pengamatan:



Gambar 3. 10 Kondisi langit pengamatan 4 Mei

- f. 5 Mei, pengamatan dilakukan dengan teknik *time series*. Pengambilan citra dimulai pada pukul 03:57 dan berakhir pada pukul 04:54. Menggunakan interval 30 detik untuk setiap pengambilan *frame*-nya, pengamatan dalam rentan waktu tersebut menghasilkan 116 data dalam bentuk gambar. Rata-rata nilai intensitas tiap frame pada kedua instrumen dapat dilihat dalam kurva berikut:



Gambar 3. 11 Kurva nilai rata-rata intensitas cahaya pengamatan 5 Mei

Berdasarkan grafik, terlihat adanya perbedaan nilai rata-rata intensitas cahaya yang ditangkap oleh kedua instrumen. Terdapat gumpalan awan yang terus bergerak selama pengamatan dilakukan. Untuk memberikan gambaran visual mengenai kondisi langit saat itu, berikut disajikan dokumentasi citra langit yang diambil selama proses pengamatan:



Gambar 3. 12 Kondisi langit pengamatan 5 Mei

Berdasarkan rangkaian pengamatan fajar *ṣādiq* yang dilaksanakan di Karimunjawa pada tanggal 30 April hingga 5 Mei 2025, ditemukan bahwa kamera bersensor APS-C (Fujifilm X-T30) dan kamera smartphone (Samsung A16) keduanya mampu menghasilkan data intensitas cahaya yang relatif serupa, khususnya pada hari-hari dengan kondisi atmosfer yang cerah. Hal ini tercermin dari kesamaan pola kurva rata-rata intensitas cahaya yang ditangkap oleh kedua perangkat pada tanggal 30 April hingga 2 Mei, di mana perbedaan nilai antar instrumen hampir tidak terlihat signifikan.

Namun demikian, pada tanggal 3, 4, dan 5 Mei, mulai terlihat deviasi antara grafik hasil pengamatan dari kedua kamera. Perbedaan tersebut terutama mencolok pada fase awal kemunculan cahaya fajar, ketika kondisi langit didominasi oleh awan atau mengalami pergerakan atmosfer yang aktif. Dalam situasi ini, kamera dengan sensor APS-C menunjukkan performa yang lebih konsisten dan presisi dalam menangkap fluktuasi cahaya, sedangkan kamera

smartphone cenderung lebih sensitif terhadap *noise* dan ketidakstabilan pencahayaan.

Secara umum, temuan ini menunjukkan bahwa kamera smartphone modern dapat berfungsi sebagai instrumen alternatif yang valid dalam dokumentasi fajar *ṣādiq*, terutama dalam situasi pencahayaan yang stabil dan dengan pengaturan teknis yang terstandarisasi. Kendati demikian, untuk kebutuhan observasi yang menuntut ketepatan fotometrik tinggi, khususnya dalam kondisi langit yang kompleks, kamera dengan sensor lebih besar seperti APS-C tetap menawarkan keunggulan teknis yang substansial.

BAB IV

SENSITIVITAS UKURAN SENSOR TERHADAP DATA PENGAMATAN FAJAR *ṢĀDIQ*

Setelah dilakukan serangkaian pengamatan fajar *ṣādiq* menggunakan dua perangkat dengan karakteristik sensor yang berbeda, yaitu kamera digital APS-C dan kamera *smartphone*, bab ini secara khusus membahas sensitivitas kedua sensor tersebut terhadap kemunculan cahaya fajar. Analisis dilakukan untuk mengevaluasi konsistensi hasil antara keduanya dalam mendeteksi titik belok kurva cahaya sebagai indikator awal waktu Subuh. Penjabaran data sensitivitas tersebut melingkupi kurva titik belok fajar, waktu terdeteksinya fajar, dan sudut elevasi matahari saat fajar terdeteksi.

Selain menyoroti aspek sensitivitas, bab ini juga menekankan relevansi hasil pengamatan terhadap kriteria resmi yang digunakan oleh Kementerian Agama RI, yakni depresi matahari sekitar -20° . Salah satu data ideal pada 1 Mei 2025 menunjukkan kesesuaian ini dengan baik, sehingga mendukung validitas penggunaan metode visual-instrumenal sebagai alternatif ilmiah dalam penentuan waktu terbit fajar.

A. Analisis Sensitivitas Ukuran Sensor terhadap Data Pengamatan Fajar *Ṣādiq*

Pengamatan terhadap fajar *ṣādiq* yang telah dilakukan selama rentan waktu 30 April-5 Mei, sebagaimana yang telah dipaparkan pada bab sebelumnya, menghasilkan waktu terdeteksinya fajar yang beragam. Kondisi ini dapat terjadi akibat pengaruh dari beberapa hal, seperti arah, waktu, dan rentang pengamatan, teknik pengamatan,

lokasi, teknis analisis, dan alat pengamatan serta sumber cahaya.¹¹⁸ Selain itu, menurut Thomas Djamaluddin, cahaya fajar dapat terhalang oleh awan tipis sebagaimana yang telah terkonfirmasi lewat pengamatan.¹¹⁹ Berdasarkan gambar yang terekam saat pengamatan yang dilakukan, perbedaan yang terjadi merupakan akibat dari kondisi langit yang berawan, sebagaimana pendapat Djamaluddin tersebut.

Selanjutnya untuk dapat mengetahui sensitivitas dari dua instrumen yang digunakan dalam mendeteksi fajar *ṣādiq*, data yang dihasilkan oleh kedua instrumen ini kemudian dikomparasikan. Adapun data yang diambil adalah data yang sebelumnya telah diolah terlebih dahulu dengan mencari nilai intensitas cahaya pada tiap frame, kemudian hasilnya diperhalus dengan menggunakan *moving average*. Metode *moving average* menunjukkan nilai rata-rata suatu data, yang berbentuk *time series*, dalam suatu periode kemudian dicari beda gradiennya. Jika nilai gradien dalam suatu rentan data bernilai negatif dan rentan setelahnya juga konsisten bernilai negatif, maka titik tersebut ditetapkan sebagai awal waktu terbit fajar.¹²⁰

Penelitian ini menggunakan dua rentan data *moving average*, yaitu rentan 5 data dan 15 data. *Moving average* rentan 5 data digunakan untuk mencari titik belok kurva fajar *ṣādiq* pada pengamatan tanggal 30 April 2025. Data pengamatan pada tanggal

¹¹⁸ Salam, “Pengamatan Fajar Ṣādiq Menggunakan Sistem Otomatisasi Observasi Fajar Dan Sky Quality Meter Stand Alone Di Sulawesi Selatan.”

¹¹⁹ Basthoni, “Efek Polusi Cahaya Terhadap Penentuan Awal Waktu Subuh Di Indonesia.”

¹²⁰ Damanhuri, “Pengamatan dan Penelitian Awal Waktu Subuh: Semua Bisa Melakukannya.”

tersebut sangat mendekati dengan waktu perkiraan munculnya fajar, sehingga tidak memungkinkan untuk menggunakan rentan 15 data. Sedangkan pada pengamatan pada hari lain menggunakan *moving average* rentan 15 data. Rentan 15 data dipilih karena rentan ini merupakan rentan yang bagus untuk mendeteksi fajar.¹²¹

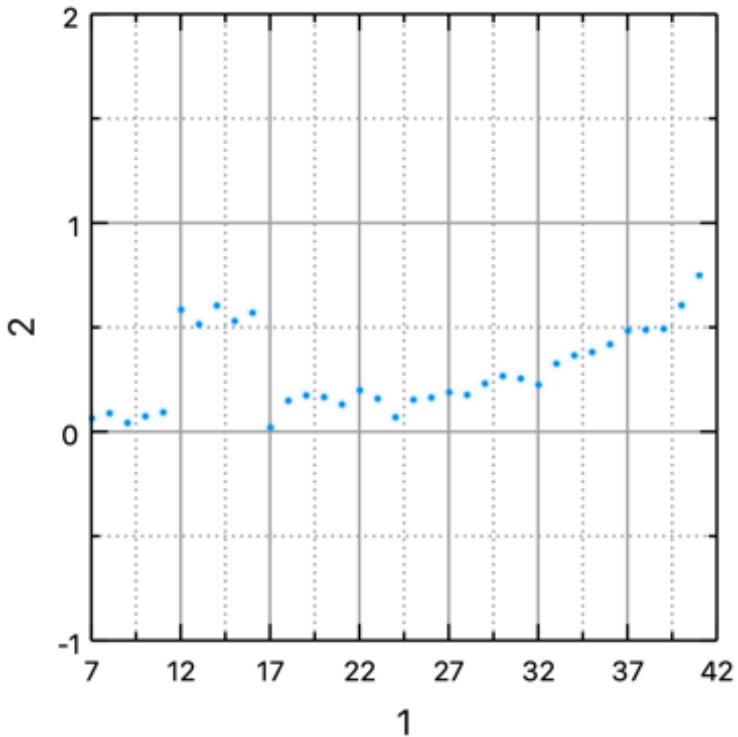
Data yang telah diolah menggunakan metode *moving average* tersebut akan menampilkan frame pada saat fajar *ṣādiq* muncul. Kemudian dicari frame tersebut merupakan citra yang berhasil ditangkap pada pukul berapa. Setelah mengetahui waktu frame itu diambil baru kemudian dicari nilai ketinggian matahari pada saat itu. Nilai ketinggian matahari ini bisa dicari dengan bantuan *software accurate time* karya Mohammad Odeh, yang dengan menggunakan suku-suku koreksi algoritma VSOP dan ELP sudah sangat akurat dalam menentukan posisi matahari dan bulan.¹²²

Berikut adalah data titik belok ketampakan fajar dari kedua instrumen tersebut:

¹²¹ M Nur Iskandar Fajri dan Adib Rofiudin, “Efektivitas Penggunaan Metode Analisis Data Menggunakan Visual Analisis, Moving Average Dan Linier Pada Fajar Sadik,” *Esensi Pendidikan Inspiratif* 6, no. 2 (2024).

¹²² Eng Rinto Anugraha dan MSi Jurusan Fisika Fakultas MIPA niversitas Gadjah Mada, “Mekanika Benda Langit,” 2012, 165.

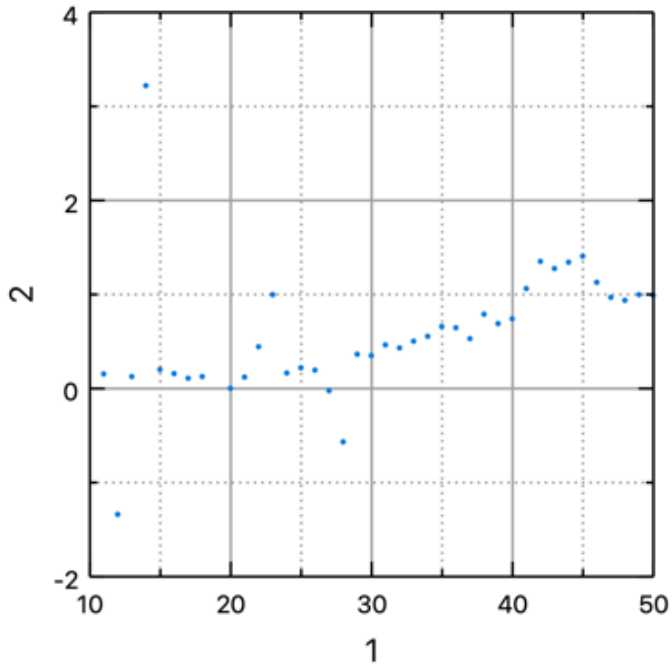
1. 30 April 2025



Gambar 4. 1 *Zoom In* kurva fajar X-T30 pada tanggal 30 April

Grafik di atas merupakan hasil dari perbesaran yang dilakukan pada data yang diperoleh menggunakan instrumen kamera APS-C. Pengamatan dilakukan dengan teknik *time series* yang dimulai pada pukul 4:23 dan berakhir pada pukul 05:00. Menggunakan interval 30 detik untuk setiap pengambilan *frame*-nya, pengamatan dalam rentan waktu tersebut menghasilkan 95 data dalam bentuk gambar. Berdasarkan hasil analisis menggunakan *moving average* derajat 15, dapat dilihat bahwa terjadi perubahan yang signifikan pada kurva yang dimulai dari

frame ke-17 atau bersamaan pada pukul 04:21. Nilai ketinggian matahari pada waktu tersebut dapat diketahui dengan memanfaatkan aplikasi *accurate time*. Diketahui bahwa nilai ketinggian matahari pada waktu tersebut ialah -19:27.



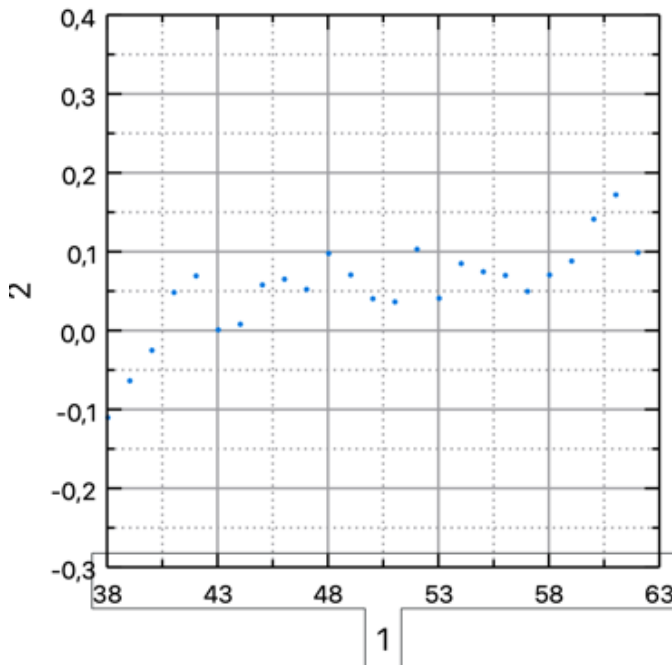
Gambar 4. 2 Zoom In kurva fajar Samsung A16 pada tanggal 30 April

Sedangkan tampilan grafik yang ditunjukkan pada gambar di atas merupakan hasil dari perbesaran yang dilakukan pada data yang diperoleh menggunakan instrumen kamera *smartphone* Samsung A16. Pengamatan dilakukan dengan teknik *time series* yang dimulai pada pukul 4:23 dan berakhir pada pukul 05:00. Menggunakan interval 30 detik untuk setiap pengambilan *frame*-nya, pengamatan dalam rentan waktu tersebut menghasilkan 95

data dalam bentuk gambar. Berdasarkan hasil analisis menggunakan *moving average* derajat 15, dapat dilihat bahwa terjadi perubahan yang signifikan pada kurva yang dimulai dari frame ke-20 atau bersamaan pada pukul 04:22. Nilai ketinggian matahari pada waktu tersebut dapat dicari dengan bantuan aplikasi *accurate time*. Diketahui bahwa nilai ketinggian matahari pada waktu tersebut ialah -19:13.

Berdasarkan hasil yang diperoleh tersebut, dapat dilihat bahwa hasil yang diperoleh menggunakan Samsung A16 mampu menyamai kamera APS-C. Hasil kedua instrumen tergolong tidak signifikan dengan terpaut sebanyak 3 frame atau 1 menit.

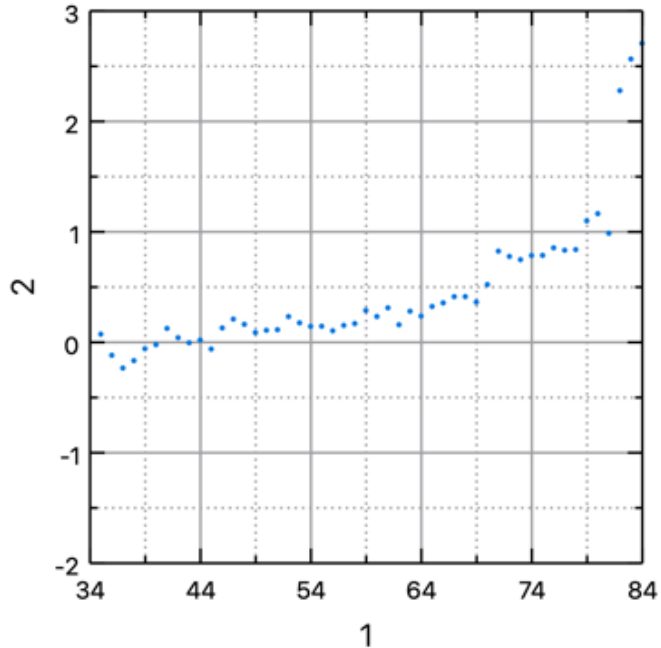
2. 1 Mei 2025



Gambar 4. 3 Zoom In kurva fajar X-T30 pada tanggal 1 Mei

Grafik di atas merupakan hasil dari perbesaran yang dilakukan pada data yang diperoleh menggunakan instrumen kamera APS-C. Pengamatan dilakukan dengan teknik *time series* yang dimulai pada pukul 03:58 dan berakhir pada pukul 04:51. Menggunakan interval 30 detik untuk setiap pengambilan *frame*-nya, pengamatan dalam rentan waktu tersebut menghasilkan 108 data dalam bentuk gambar. Berdasarkan hasil analisis menggunakan *moving average* derajat 15, dapat dilihat bahwa terjadi perubahan yang signifikan pada kurva yang dimulai dari frame ke-43 atau bersamaan pada pukul 04:19. Nilai ketinggian

matahari pada waktu tersebut dapat dicari dengan bantuan aplikasi *accurate time*. Diketahui bahwa nilai ketinggian matahari pada waktu tersebut ialah -19:55.



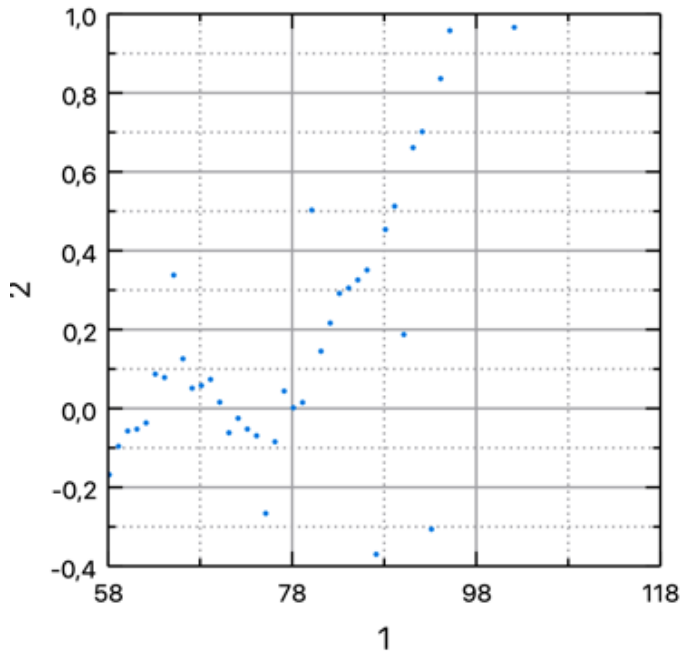
Gambar 4. 4 Zoom In kurva fajar Samsung A16 pada tanggal 1 Mei

Sedangkan tampilan grafik yang ditunjukkan pada gambar di atas merupakan hasil dari perbesaran yang dilakukan pada data yang diperoleh menggunakan instrumen kamera *smartphone* Samsung A16. Pengamatan dilakukan dengan teknik *time series* yang dimulai pada pukul 03:58 dan berakhir pada pukul 04:51. Menggunakan interval 30 detik untuk setiap pengambilan *frame*-nya, pengamatan dalam rentan waktu tersebut menghasilkan 108 data dalam bentuk gambar. Berdasarkan hasil analisis

menggunakan *moving average* derajat 15, dapat dilihat bahwa terjadi perubahan yang signifikan pada kurva yang dimulai dari frame ke-43 atau bersamaan pada pukul 04:19. Nilai ketinggian matahari pada waktu tersebut dapat dicari dengan bantuan aplikasi *accurate time*. Diketahui bahwa nilai ketinggian matahari pada waktu tersebut ialah -19:55.

Berdasarkan hasil yang diperoleh tersebut, dapat dilihat bahwa hasil yang diperoleh menggunakan Samsung A16 mampu menyamai kamera APS-C. Kedua instrumen, dalam pengamatan dihari kedua ini, menangkap pergeseran kurva sebagai pertanda awal masuknya waktu Subuh dalam waktu yang bersamaan.

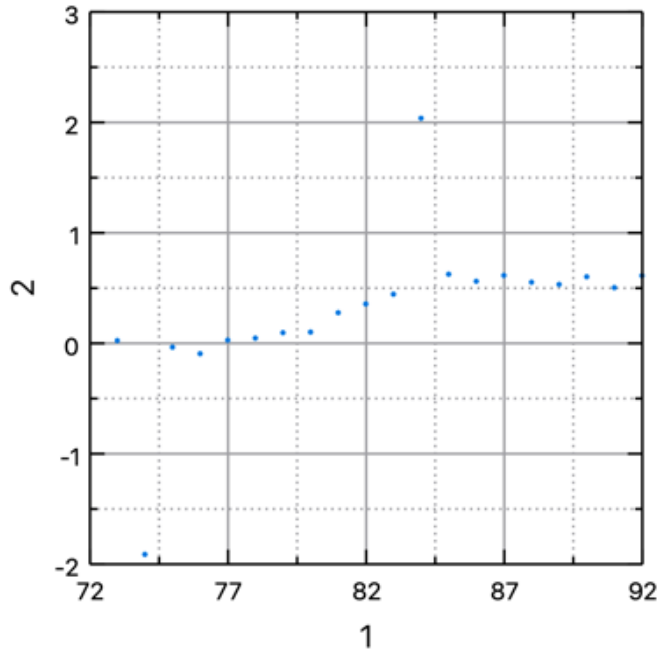
3. 2 Mei 2025



Gambar 4. 5 Zoom In kurva fajar X-T30 pada tanggal 2 Mei

Grafik di atas merupakan hasil dari perbesaran yang dilakukan pada data yang diperoleh menggunakan instrumen kamera APS-C. Pengamatan dilakukan dengan teknik *time series* yang dimulai pada pukul 3:56 dan berakhir pada pukul 04:46. Menggunakan interval 30 detik untuk setiap pengambilan *frame*-nya, pengamatan dalam rentan waktu tersebut menghasilkan 102 data dalam bentuk gambar. Berdasarkan hasil analisis menggunakan *moving average* derajat 15, dapat dilihat bahwa terjadi perubahan yang signifikan pada kurva yang dimulai dari frame ke-78 atau bersamaan pada pukul 04:34. Nilai ketinggian

matahari pada waktu tersebut dapat dicari dengan bantuan aplikasi *accurate time*. Diketahui bahwa nilai ketinggian matahari pada waktu tersebut ialah -16:16.



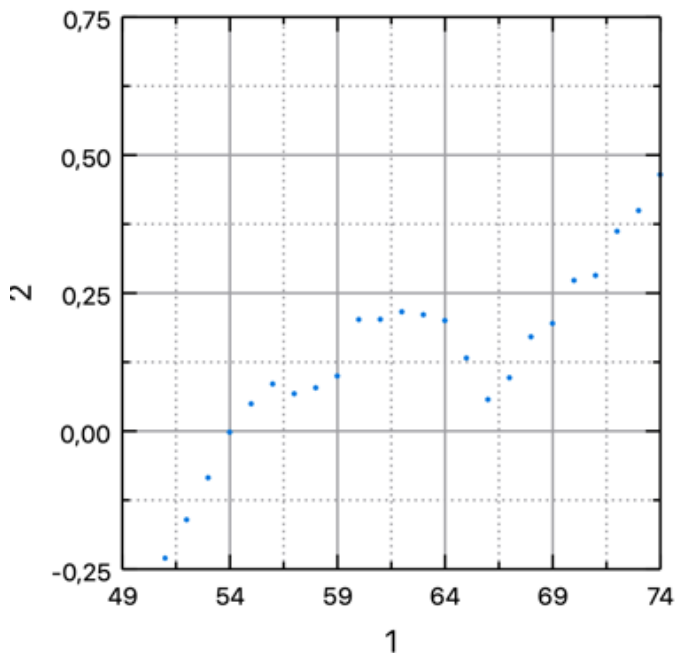
Gambar 4. 6 Zoom In kurva fajar Samsung A16 pada tanggal 2 Mei

Sedangkan tampilan grafik yang ditunjukkan pada gambar di atas merupakan hasil dari perbesaran yang dilakukan pada data yang diperoleh menggunakan instrumen kamera *smartphone* Samsung A16. Pengamatan dilakukan dengan teknik *time series* yang dimulai pada pukul 03:56 dan berakhir pada pukul 04:46. Menggunakan interval 30 detik untuk setiap pengambilan *frame*-nya, pengamatan dalam rentan waktu tersebut menghasilkan 102 data dalam bentuk gambar. Berdasarkan hasil analisis

menggunakan *moving average* derajat 15, dapat dilihat bahwa terjadi perubahan yang signifikan pada kurva yang dimulai dari frame ke-78 atau bersamaan pada pukul 04:34. Nilai ketinggian matahari pada waktu tersebut dapat dicari dengan bantuan aplikasi *accurate time*. Diketahui bahwa nilai ketinggian matahari pada waktu tersebut ialah -16:16.

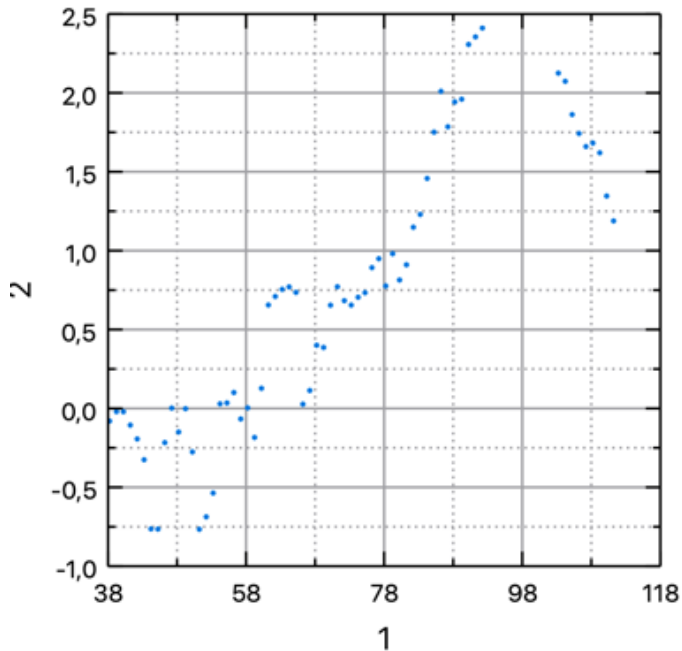
Berdasarkan hasil yang diperoleh tersebut, dapat dilihat bahwa kedua instrumen, dalam pengamatan dihari ketiga ini, menangkap pergeseran kurva sebagai pertanda awal masuknya waktu Subuh dalam waktu yang bersamaan.

4. 3 Mei 2025



Gambar 4. 7 Zoom In kurva fajar X-T30 pada tanggal 3 Mei

Grafik di atas merupakan hasil dari perbesaran yang dilakukan pada data yang diperoleh menggunakan instrumen kamera APS-C. Pengamatan dilakukan dengan teknik *time series* yang dimulai pada pukul 04:01 dan berakhir pada pukul 04:51. Menggunakan interval 30 detik untuk setiap pengambilan *frame*-nya, pengamatan dalam rentan waktu tersebut menghasilkan 102 data dalam bentuk gambar. Berdasarkan hasil analisis menggunakan *moving average* derajat 15, dapat dilihat bahwa terjadi perubahan yang signifikan pada kurva yang dimulai dari frame ke-54 atau bersamaan pada pukul 04:27. Nilai ketinggian matahari pada waktu tersebut dapat dicari dengan bantuan aplikasi *accurate time*. Diketahui bahwa nilai ketinggian matahari pada waktu tersebut ialah -17:56.



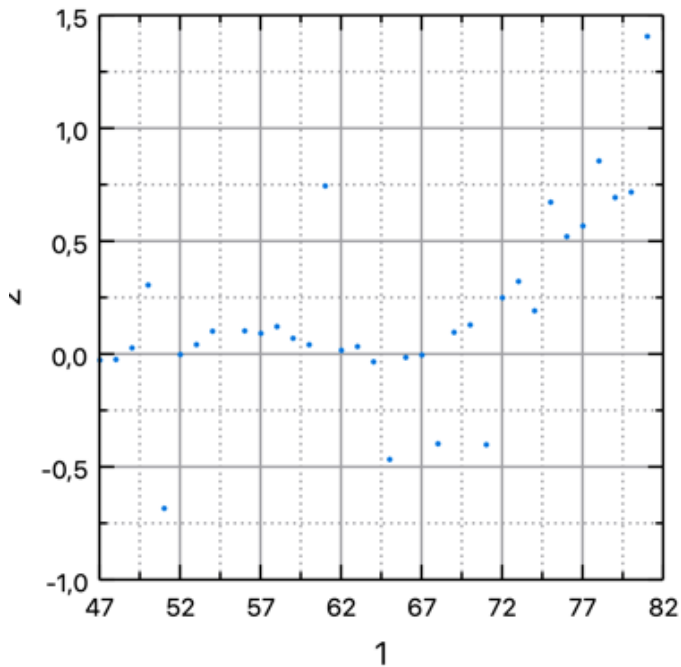
Gambar 4. 8 Zoom In kurva fajar Samsung A16 pada tanggal 3 Mei

Sedangkan tampilan grafik yang ditunjukkan pada gambar di atas merupakan hasil dari perbesaran yang dilakukan pada data yang diperoleh menggunakan instrumen kamera *smartphone* Samsung A16. Pengamatan dilakukan dengan teknik *time series* yang dimulai pada pukul 04:01 dan berakhir pada pukul 04:51. Menggunakan interval 30 detik untuk setiap pengambilan *frame*-nya, pengamatan dalam rentan waktu tersebut menghasilkan 102 data dalam bentuk gambar. Berdasarkan hasil analisis menggunakan *moving average* derajat 15, dapat dilihat bahwa terjadi perubahan yang signifikan pada kurva yang dimulai dari

frame ke-58 atau bersamaan pada pukul 04:29. Nilai ketinggian matahari pada waktu tersebut dapat dicari dengan bantuan aplikasi *accurate time*. Diketahui bahwa nilai ketinggian matahari pada waktu tersebut ialah -17:27.

Berdasarkan data pada tanggal tersebut, dapat dilihat bahwa hasil yang diperoleh menggunakan Samsung A16 mampu menyamai kamera APS-C. Hasil kedua instrumen tergolong tidak signifikan dengan terpaut sebanyak 4 frame atau 2 menit.

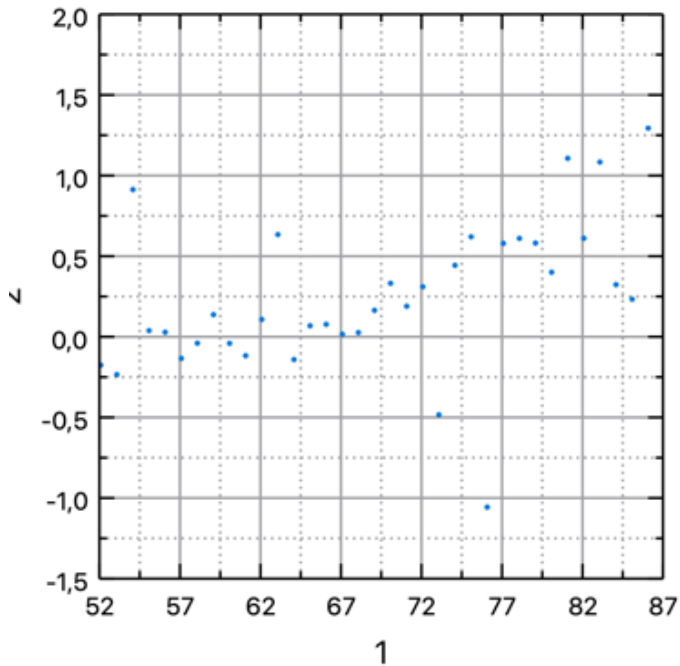
5. 4 Mei 2025



Gambar 4. 9 Zoom In kurva fajar X-T30 pada tanggal 4 Mei

Grafik di atas merupakan hasil dari perbesaran yang dilakukan pada data yang diperoleh menggunakan instrumen kamera APS-C. Pengamatan dilakukan dengan teknik *time series* yang dimulai pada pukul 03:51 dan berakhir pada pukul 04:50. Menggunakan interval 30 detik untuk setiap pengambilan *frame*-nya, pengamatan dalam rentan waktu tersebut menghasilkan 120 data dalam bentuk gambar. Berdasarkan hasil analisis menggunakan *moving average* derajat 15, dapat dilihat bahwa terjadi perubahan yang signifikan pada kurva yang dimulai dari

frame ke-67 atau bersamaan pada pukul 04:24. Nilai ketinggian matahari pada waktu tersebut dapat dicari dengan bantuan aplikasi *accurate time*. Diketahui bahwa nilai ketinggian matahari pada waktu tersebut ialah -18:38.



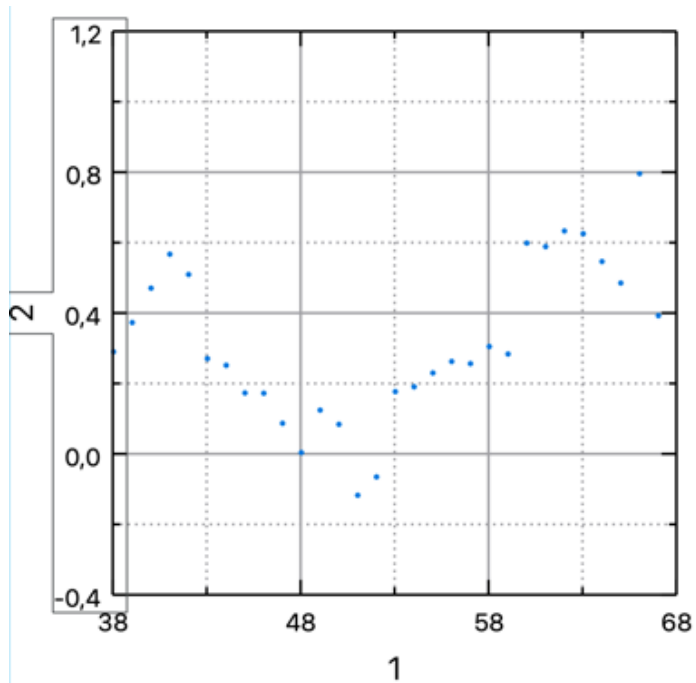
Gambar 4. 10 Zoom In kurva fajar Samsung A16 pada tanggal 4 Mei

Sedangkan tampilan grafik yang ditunjukkan pada gambar di atas merupakan hasil dari perbesaran yang dilakukan pada data yang diperoleh menggunakan instrumen kamera *smartphone* Samsung A16. Pengamatan dilakukan dengan teknik *time series* yang dimulai pada pukul 03:51 dan berakhir pada pukul 04:50. Menggunakan interval 30 detik untuk setiap pengambilan *frame*-nya, pengamatan dalam rentan waktu tersebut menghasilkan 119

data dalam bentuk gambar. Berdasarkan hasil analisis menggunakan *moving average* derajat 15, dapat dilihat bahwa terjadi perubahan yang signifikan pada kurva yang dimulai dari frame ke-67 atau bersamaan pada pukul 04:24. Nilai ketinggian matahari pada waktu tersebut dapat dicari dengan bantuan aplikasi *accurate time*. Diketahui bahwa nilai ketinggian matahari pada waktu tersebut ialah -18:38.

Berdasarkan data pada hari tersebut, dapat dilihat bahwa hasil yang diperoleh menggunakan Samsung A16 identik dengan kamera APS-C. Kedua instrumen menangkap pergeseran kurva sebagai pertanda awal masuknya waktu Subuh dalam waktu yang bersamaan.

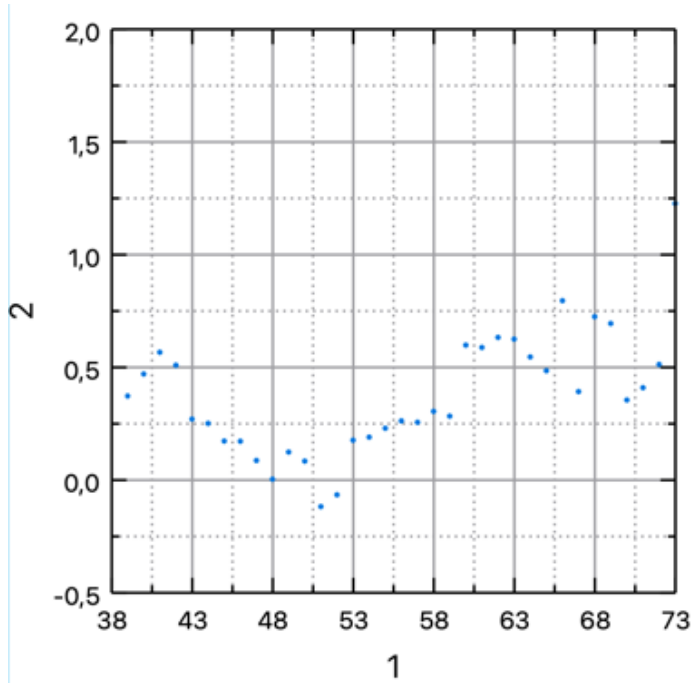
6. 5 Mei 2025



Gambar 4. 11 Zoom In kurva fajar X-T30 pada tanggal 5 Mei

Grafik di atas merupakan hasil dari perbesaran yang dilakukan pada data yang diperoleh menggunakan instrumen kamera APS-C. Pengamatan dilakukan dengan teknik *time series* yang dimulai pada pukul 03:57 dan berakhir pada pukul 04:54. Menggunakan interval 30 detik untuk setiap pengambilan *frame*-nya, pengamatan dalam rentan waktu tersebut menghasilkan 116 data dalam bentuk gambar. Berdasarkan hasil analisis menggunakan *moving average* derajat 15, dapat dilihat bahwa terjadi perubahan yang signifikan pada kurva yang dimulai dari frame ke-48 atau bersamaan pada pukul 04:17. Nilai ketinggian

matahari pada waktu tersebut dapat dicari dengan bantuan aplikasi *accurate time*. Diketahui bahwa nilai ketinggian matahari pada waktu tersebut ialah -20:18.



Gambar 4. 12 Zoom In kurva fajar Samsung A16 pada tanggal 5 Mei

Sedangkan tampilan grafik yang ditunjukkan pada gambar di atas merupakan hasil dari perbesaran yang dilakukan pada data yang diperoleh menggunakan instrumen kamera *smartphone* Samsung A16. Pengamatan dilakukan dengan teknik time series yang dimulai pada pukul 03:57 dan berakhir pada pukul 04:54. Menggunakan interval 30 detik untuk setiap pengambilan frame-nya, pengamatan dalam rentan waktu tersebut menghasilkan 116 data dalam bentuk gambar. Berdasarkan hasil analisis

menggunakan *moving average* derajat 15, dapat dilihat bahwa terjadi perubahan yang signifikan pada kurva yang dimulai dari frame ke-48 atau bersamaan pada pukul 04:20. Nilai ketinggian matahari pada waktu tersebut dapat dicari dengan bantuan aplikasi *accurate time*. Diketahui bahwa nilai ketinggian matahari pada waktu tersebut ialah -19:35.

Berdasarkan data tersebut, dapat dilihat bahwa hasil yang diperoleh menggunakan Samsung A16 mampu menyamai kamera APS-C. Namun, hasil pengamatan fajar *ṣādiq* menggunakan APS-C lebih konsisten, dapat dilihat dari selisih yang dihasilkan kedua instrumen tersebut di mana data APS-C berhasil mendeteksi fajar *ṣādiq* lebih dahulu. Hasil kedua instrumen tergolong tidak signifikan dengan terpaut sebanyak 3 menit.

Berikut adalah rekapan perbandingan sensitivitas kedua instrumen yang digunakan dalam mendeteksi fajar *ṣādiq*:

Tabel 4. 1 Rekapan perbandingan sensitivitas kedua instrumen yang digunakan dalam mendeteksi fajar *ṣādiq*

No	Tanggal Pengamatan	X-T30		A16		Selisih (Elevasi)
		Waktu	Elevasi	Waktu	Elevasi	
1	30 April 2025	4:21	-19:27	4:22	-19:13	0:14
2	1 Mei 2025	4:19	-19:55	4:19	-19:55	-
3	2 Mei 2025	4:34	-16:16	4:34	-16:16	-
4	3 Mei 2025	4:27	-17:56	4:29	-17:27	0:29
5	4 Mei 2025	4:24	-18:38	4:24	-18:38	-
6	5 Mei 2025	4:17	-20:18	4:20	-19:35	0:43
Rata-Rata						0:7

Kualitas dari kedua instrumen tersebut baru terlihat berbeda saat gambar yang dihasilkan oleh keduanya di bandingkan. Terlihat bahwa, gambar yang dihasilkan oleh kamera *smartphone* mengandung lebih banyak *noise*, sedangkan gambar X-T30 terlihat lebih bersih. Jumlah *noise* ini sendiri secara langsung terkait dengan jumlah keseluruhan cahaya yang ditangkap dalam sebuah gambar.

Semakin sedikit foton berarti semakin banyak *noise*.¹²³ Karena sensor telepon pintar biasa hanya menerima kurang dari seperduapuluh foton dari sensor *full-frame* 35mm untuk waktu pencahayaan yang sama, maka sensor tersebut jauh lebih rentan terhadap *noise*. Meski demikian, pixel yang kekurangan foton tersebut tidak mempengaruhi hasil interpretasi terhadap data kuva fajar *ṣādiq*.

Perbandingan kualitas yang dihasilkan kedua instrumen tersebut dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4. 13 Gambar yang dihasilkan kamera X-T30 saat awal sinar fajar *ṣādiq* terdeteksi

¹²³ David Cardinal, “Smartphones vs Cameras: Closing the gap on image quality.”



Gambar 4. 14 Gambar yang dihasilkan kamera Samsung A16 saat awal sinar fajar *ṣādiq* terdeteksi

Konsistensi dan *noise* yang dihasilkan kedua instrumen yang diuji tersebut dapat menjadi pertimbangan dalam pemilihan alat pengamatan fajar *ṣādiq*. Dengan demikian, APS-C tetap menjadi alat yang lebih ideal digunakan dibandingkat *smartphone* karena konsistensi data dan *noise* yang dihasilkan lebih baik. Namun, *smartphone* tetap bisa menjadi alat yang digunakan dalam mendeteksi fajar *ṣādiq*, karena data yang dihasilkan identic dengan data APS-C.

B. Relevansi Data Pengamatan Fajar *Ṣādiq* Menggunakan Sensor Kamera APS-C dan *Smartphone*

Relevansi data yang ditemukan melalui pengamatan menggunakan Sensor Kamera APS-C dan *smartphone* diuji dengan

kriteria yang digunakan oleh Kemenag. Data yang diambil adalah data yang paling ideal yakni data pada tanggal 1 Mei 2025 dengan kondisi langit yang cerah saat dilakukan pengamatan. Tim Hisab Rukyat Kementerian Agama RI, melalui pengamatan yang dilakukan di Labuanbajo Nusa Tenggara Timur pada 23-25 April 2018, menghasilkan temuan penurunan nilai magnitudo terjadi pada pukul 04:46 dan 04:44 WITA. Penurunan magnitudo yang menjadi indikasi mulai munculnya cahaya fajar ini bersesuaian dengan ketinggian atau sudut depresi matahari yang bernilai -19,5 dan -20 derajat.¹²⁴

Berdasarkan uraian pada bagian sebelumnya, diketahui kedua instrumen dalam kondisi cerah mampu mendeteksi fajar *ṣādiq* dalam waktu yang bersamaan yaitu pada pukul 4:19 WIB. Sudut depresi matahari pada saat terdeteksinya fajar *ṣādiq* di hari pengamatan tersebut berada pada ketinggian -19,55 derajat di bawah ufuk. Hasil tersebut sangat mendekati kriteria -20 derajat yang ditetapkan oleh Kemenag.

¹²⁴ Thomas Djamaluddin, “Penentuan Waktu Shubuh: Pengamatan dan Pengukuran Fajar di Labuan Bajo,” 30 April 2018. Diakses 8 Mei 2025

By the
Islamic Cresc
Accurate Tim

* Settings:-

- Sun Ephemeris
- Karimujawa, Indonesia, Long: 110:26:55,0, Lat: -5 :52:
- Ephemeris are Topocentric.
- Time Reference is Local (UT1).
- Summer Time is Off.

=====

Time & Date	R. A.	Dec.	Altitude
04.19.00 01/05/2025	02H 33M 24S	+15:03:20	-19:55:02
04.19.30 01/05/2025	02H 33M 24S	+15:03:20	-19:47:47
04.20.00 01/05/2025	02H 33M 24S	+15:03:21	-19:40:33
04.20.30 01/05/2025	02H 33M 24S	+15:03:21	-19:33:18

Gambar 4. 15 Sudut Depresi matahari menurut *accurate time*

Instrumen yang basisnya kamera ini kiranya memiliki kelebihan di mana data pengamatan sebagai hasil akhir dapat ditelusuri melalui gambar fisik. Sehingga, untuk dapat melihat dan membuktikan relevansi datanya secara langsung dapat dilakukan dengan melihat gambar yang dihasilkan tersebut. Berbeda dengan data yang dihasilkan oleh SQM sebagai contoh, di mana datanya hanya berupa angka. Sehingga data yang dihasilkan hanya dapat dibuktikan dengan membangun argumen yang mendukung.

Dapat disimpulkan, pengolahan data menggunakan metode *moving average* dan pemetaan waktu melalui aplikasi *accurate time* menunjukkan bahwa perbedaan waktu deteksi antara kamera Fujifilm X-T30 dan Samsung A16 rata-rata hanya terpaut beberapa menit, dan pada hari tertentu bahkan identik. Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun terdapat perbedaan signifikan dalam ukuran fisik sensor dan kualitas citra yang dihasilkan, sensitivitas keduanya dalam mendeteksi fenomena fajar

ṣādiq masih berada dalam tingkat yang relevan dan ideal secara ilmiah. Namun dengan mempertimbangkan konsistensi dan *noise* yang dihasilkan, kamera dengan sensor APS-C lebih direkomendasikan sebagai alat pengamatan fajar *ṣādiq*. Lebih jauh, hasil pengamatan pada tanggal 1 Mei (yang dianggap paling ideal karena kondisi langit cerah) menunjukkan sudut depresi matahari sebesar -19,55 derajat, sangat dekat dengan nilai -20 derajat yang dijadikan standar oleh Kementerian Agama RI.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan yang telah dituang dalam bab sebelumnya dan merujuk pada rumusan masalah tesis ini, dapat disimpulkan:

1. Sensitivitas kamera dengan sensor APS-C (Fujifilm X-T30) maupun kamera *smartphone* (Samsung Galaxy A16) mampu menghasilkan data pengamatan yang sangat identik. Kedua instrumen yang digunakan tersebut mampu mendeteksi kemunculan fajar *ṣādiq* melalui pendekatan fotometri berbasis citra digital. Namun demikian, terdapat beberapa perbedaan mendasar yang perlu diperhatikan. Kamera X-T30, dengan ukuran sensor yang lebih besar dan teknologi pencitraan yang lebih stabil, secara konsisten menunjukkan performa yang lebih unggul dalam hal kestabilan data dan kejernihan citra. Hal ini tampak dari kurva intensitas yang lebih halus, minim *noise*, dan mampu merepresentasikan transisi cahaya fajar dengan baik, terutama pada fase awal kemunculan fajar *ṣādiq*. Sebaliknya, kamera A16 yang menggunakan sensor lebih kecil dan sistem pemrosesan otomatis pada perangkat ponsel, cenderung menghasilkan citra dengan fluktuasi yang lebih besar, serta menunjukkan keterlambatan dalam mendeteksi titik belok awal kemunculan fajar pada beberapa hari pengamatan. Meski pada kondisi langit yang relatif cerah kedua perangkat memberikan hasil yang hampir identik.

2. Kedua instrumen ideal untuk digunakan dalam mendeteksi sinar fajar *ṣādiq*, namun dengan mempertimbangkan konsistensi data dan *noise* yang dihasilkan kamera dengan sensor APS-C lebih direkomendasikan sebagai alat pengamatan fajar *ṣādiq*. Data titik belok fajar *ṣādiq* yang berhasil ditangkap oleh Kamera APS-C dan kamera *smartphone* dalam rentan periode tergolong bervariasi. Perbedaan hasil data fajar dapat terjadi akibat kondisi langit yang berawan pada saat pengamatan ini dilakukan. Data fajar *ṣādiq*, berdasarkan pengamatan selama enam hari, paling awal teramati pada pukul 4:19 atau pada saat sudut depresi matahari bernilai -19:55. Data ini berhasil teramati secara bersamaan oleh kedua instrumen pada tanggal 1 Mei 2025. Adapun data fajar paling lama yang berhasil diamati oleh kedua instrumen adalah pada pukul 4:34 atau pada saat sudut depresi matahari bernilai -16:16. Data fajar yang dihasilkan kedua instrumen juga sangat identik dengan rata-rata selisih sudut depresi matahari hanya berkisar 0 derajat 7 menit. Perbedaan data terjadi pada tiga hari pengamatan yaitu 30 April, 3 Mei, dan 5 Mei di mana data fajar *ṣādiq* kamera Samsung A16 selalu terlambat dari pada X-T30 pada waktu-waktu tersebut. Sensitivitas sensor dengan ukuran APS-C dan yang dimiliki kamera *smartphone* tergolong sangat baik. Namun, dalam hal menghasilkan gambar yang jernih sensor APS-C lebih baik. Sensor kamera *smartphone* saat menangkap sinar fajar masih menghasilkan *noise* yang banyak, *noise* yang merupakan pixel tidak terisi foton ini dikhawatirkan dapat mempengaruhi hasil saat mengolah nilai

intensitas cahaya pada satu gambar utuh. Sehingga sensor APS-C akan lebih ideal untuk digunakan dalam pengamatan fajar *ṣādiq*.

Dalam hal relevansi datanya, kedua sensor tersebut mampu mendeteksi kemunculan fajar *ṣādiq* dengan akurat saat dibandingkan dengan kriteria yang digunakan oleh Kemenag. Data fajar *ṣādiq* paling awal teramati oleh kedua instrumen bernilai -19:55, memiliki selisih yang sangat kecil dengan nilai -20 yang digunakan oleh Kemenag. Hal ini dapat dilihat dari data pengamatan yang dilakukan di daerah yang ideal, yaitu daerah yang minim polusi cahayanya dan dalam kondisi tanpa gangguan awan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa data pengamatan fajar *ṣādiq* yang diperoleh oleh kedua instrumen sangat relevan dengan data yang umum digunakan saat ini.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diuraikan pada bagian-bagian sebelumnya, beberapa saran berikut kiranya dapat dipertimbangan:

1. Dari berbagai alat dengan beragam metode yang digunakan untuk kebutuhan pengamatan fajar, sudah seharusnya ditetapkan kriteria-kriteria penggunaan alat dan metode tersebut. Sebagai contoh penggunaan metode dengan pendekatan fotometri dalam bentuk gambar. Sebagaimana yang sudah dijelaskan bahwa sensitivitas sensor berkaitan dengan ukurannya. Sehingga meski alat dengan sensor yang kecil sudah mampu menghasilkan data yang relevan, akan tetap lebih disarankan menggunakan alat

dengan sensor yang lebih besar guna mengurangi pengaruh dari *noise* yang dihasilkan.

2. Pengaruh *noise* terhadap ketidakstabilan data dari sensor yang kecil ini juga kiranya dapat diteliti lebih lanjut. Karena berdasarkan penelitian ini, *noise* yang dihasilkan oleh kedua sensor yang berbeda ukurannya secara signifikan ini tergolong jauh.
3. Metode pengolahan data dengan pendekatan fotometri ini tergolong cukup panjang dan memerlukan banyak perangkat lunak yang berbeda. Untuk itu, perlu kiranya pengembangan sebuah perangkat lunak yang berfokus untuk kebutuhan observasi fajar. Di mana perangkat lunak tersebut nantinya mampu melakukan dan menjalankan tahapan-tahapan dalam metode ini secara langsung didalamnya. Sehingga metode ini dapat dilakukan secara lebih efektif dan efisien.

C. Penutup

Alhamdulillah, puji syukur dihaturkan kepada Allah SWT sebagai ungkapan rasa syukur karena telah melimpahkan nikmat dan karunia-Nya sehingga tesis ini dapat diselesaikan. Meskipun telah diusahakan dan dikerjakan seoptimal mungkin, disadari bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna dan memiliki kelamahan dan kekurangan dari berbagai sisinya. Untuk itu, sangat dibutuhkan kritik dan saran yang membangun guna perbaikan dan sempurnanya tesis ini. Namun demikian, sangat diharapkan kiranya semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan pembaca secara umum.

DAFTAR PUSTAKA

- Abd. Salam Nawawi. *Ilmu Falak Praktis*. Surabaya: Imtiyaz, 2016.
- Aditya, I Kadek Angga, Anis Raharjo, dan Ida Bagus Candra Yana. "Gerak Fire Dance Dalam Karya Fotografi Ekspresi." *Prabangkara: Jurnal Seni Rupa dan Desain* 22, no. 1 (2018).
- Ahmad Ibn Hanbal. *Musnad al -Imam Ahmad ibn Hanbal*. Beirut: Muassasah al-Risalah, 1998.
- Ahmed, Ahmed Kamil, dan Abdul Halim Abdul Aziz. "Young moon visibility criterion based on crescent illumination and sky brightness contrast model." *Middle-East Journal of Scientific Research* 21, no. 9 (2014): 1616–41.
- Al-'Arabiyyah, Majma' al-Lughah. *Al-Mu'jam Al-Wasith. Cet. IV*. Cairo: Maktabah asy-Syuruq ad-Dauliyyah, 2008.
- Al-Baihaqy, Ahmad bin Husein bin Ali bin Musa Abu Bakar. *Sunan Al-Baihaqy Al-Kubra*. Makkah al-Mukarromah: Maktabah Dar al-Baz, 1994.
- Al-Bukhari, Al-Imam Mohammed bin Isma'il. *Sahih Al-Bukhari*. Beirut: Dar al-Kutub al- 'Ilmiyah, 2017.
- Al-Daruqutny, Ali Ibn Umar. *Sunan al-Daruqutny*. Beirut: Ar-Risalah, 2004.
- Al-Hajjaj, Muslim bin. *Shahih Muslim*. Beirut: Dar al-Kutub al-'Ilmiyah, 1992.
- Al-Manbaji, Ali ibn Zakaria. *Al -Lubab fiy al-Jam'i bain as-Sunnah wa al -Kitab*. Pakistan: Al-Maktabah al-Haqaniyah, 1994.
- Al-Zuhaili, Wahbah. *al-Fiqh al-Islami wa Adillatuh*. Beirut: Dar al-Fikr, 2007.
- An-Nawawi, Imam. *Al Majmu' Syarah Al Muhadzdzab Jilid 3, ed. Abdurrahim Ahmad et al., Cet. 1*. Jakarta: Pustaka Azzam, 2009.
- As-Sijistani, Abu Daud Sulaiman bin Asy'ats. *Sunan Abi Daud*. Beirut: Darul Kutub al- 'Alamiyah, 1996.
- Bahali, Kassim, dan Abdul Latif Samian. "Re-Evaluation of Calculation of the Dawn Prayer Time in the Malay World." *International Journal of the Malay World and Civilisation* 7 (t.t.): 37–48.

- Basthoni, M. "A Prototype of True Dawn Observation Automation System (Prototipe Sistem Otomatisasi Observasi Fajar)." *Jurnal Sains Dirgantara* 18, no. 1 (2020): 33–42.
- . "Efek Polusi Cahaya Terhadap Penentuan Awal Waktu Subuh Di Indonesia." *Disertasi Program Doktorat Studi Islam Pasca Sarjana Uin Walisongo Semarang (Semarang, 2022)*, 2022, 181–82.
- Butar-Butar, Arwin Juli Rakhmadi. *Fajar & Syafak; Dalam Kesarjanaan Astronom Muslim Dan Ulama Nusantara*. LKIS PELANGI AKSARA, 2018.
- Canon. "APS-C vs full-frame – the difference explained," 2024. <https://www.canon-europe.com/get-inspired/tips-and-techniques/aps-c-vs-full-frame/>.
- Damanhuri, Adi. "Pengamatan dan Penelitian Awal Waktu Subuh: Semua Bisa Melakukannya." *Sidoarjo: Nizamia Learning Center*, 2020, 72–73.
- David Cardinal. "Smartphones vs Cameras: Closing the gap on image quality." DXOMARK, 19 Maret 2020.
- Dharsito, Wahyu. *Dasar Fotografi Digital I: Pengenalan Kamera Digital*. Elex Media Komputindo, 2015.
- Djamaluddin, Thomas. "Waktu Shubuh Ditinjau secara Astronomi dan Syar'i." Diakses 29 Januari 2025. <https://tdjamaluddin.com/2010/04/15/waktu-shubuh-ditinjau-secara-astronomi-dan-syari/>.
- Fajri, M Nur Iskandar, dan Adib Rofiudin. "Efektivitas Penggunaan Metode Analisis Data Menggunakan Visual Analisis, Moving Average Dan Linier Pada Fajar Sadik." *Esensi Pendidikan Inspiratif* 6, no. 2 (2024).
- Friederichsen, Paul. "Recent Advances in Smartphone Computational Photography." *Scholarly Horizons: University of Minnesota, Morris Undergraduate Journal* 8, no. 1 (1 Maret 2021). <https://doi.org/10.61366/2576-2176.1088>.
- Frost, Lee. *Photography*. London: McGraw-Hill Education, 2008.
- Fuadi, Lutfi. "Fajar Penanda Awal Waktu Shubuh dan Puasa:(Tinjauan Syar'i dan Astronomi)." *Minhaj: Jurnal Ilmu Syariah* 2, no. 1 (2021): 107–20.

- Giwanda, Griand. “Panduan Praktis Belajar Fotografi.” *Jakarta: Puspa Swara, Anggota IKAPI*, 2001.
- . “Panduan praktis menciptakan foto menarik.” *Jakarta: Puspa Swara*, 2002.
- Hadi Sutrisno. *Pengantar Metodologi Research II*. Yogyakarta: Fakultas Psikologi UGM, 1971.
- Hartono, Hendri. “Sensor Size dan Pengaruhnya terhadap Gambar.”
<https://binus.ac.id/semarang/dkv/2024/04/03/sensor-size-dan-pengaruhnya-terhadap-gambar/>, 3 April 2024.
<https://binus.ac.id/semarang/dkv/2024/04/03/sensor-size-dan-pengaruhnya-terhadap-gambar/>.
- Herdiwijaya, Dhani. “Waktu Subuh: tinjauan pengamatan astronomi.” *Jurnal Tarjih* 14, no. 1 (2017): 51–64.
<https://www.fujifilm-x.com/en-us/series/fundamentals-of-photography/camera-sensors-what-are-they-and-how-do-they-work/>. “Camera Sensors: What Are They and How Do They Work?,” t.t.
- Hutahaeen, Harvei Desmon, Bakti Dwi Waluyo, dan Muhammad Amin Rais. “Teknologi Identifikasi Objek Berbasis Drone Menggunakan Algoritma Sift Citra Digital.” *Jurnal Teknik Informatika UNIKA Santo Thomas* 4, no. 2 (2019): 202–7.
- Ibrahim bin Muhammad As-Shubaihi. *Thulu’ al-Fajr as-Shadiq bayna Tahdid al - Quran wa Ithlaq al -Lughah*. Riyadl: Maktabah al-Mulk Fahd, 2007.
- Junaidi, Ahmad. *Astrofotografi: Adopsi dan Implementasinya dalam Rukyatulhilar di Indonesia*. Yogyakarta: Q Media, 2021.
- Kalvo. “Samsung Galaxy A16 - Spesifikasi dan Harga Terbaru | Kalvo,” t.t.
- Kementerian Agama Republik Indonesia. *Al-Quran dan Terjemah*. Cibiru Bandung: JABAL, 2010.
- M. Nur Iskandar Fajri. “Uji Komparasi Olah Citra Fajar Menggunakan Metode Analisa Perbandingan Intensitas Cahaya dan 3D Surface.” Tesis, Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang, 2024.

- Mangaras, Yanu F, B Y Bambang Yuwono, dan Boedi Prasetyo Dessyanto. “Dasar Pengolahan Citra Digital.” LPPM UPN Veteran Yogyakarta, 2022.
- Musonnif, Ahmad. “Ilmu Falak Metode Hisab Awal Waktu Shalat, Arah Kiblat, Hisab Urfi dan Hisab Hakiki Awal Bulan.” *Yogyakarta: Teras*, 2011.
- Noor, Laksmiyanti Annake Harijadi, dan FFRS Hamdani. “The dawn sky brightness observations in the preliminary shubuh prayer time determination.” *Qudus International Journal of Islamic Studies* 6, no. 1 (2018): 25–37.
- Nugroho, Yulius Widi. “Problematika Mengenai Dynamic Range pada Kamera Digital dan Aplikasinya pada Cetak.” *Majalah Print Media*, 2017.
- Oberdörster, Alexander, dan Hendrik P. A. Lensch. “Resolution and sensitivity of wafer-level multi-aperture cameras.” *Journal of Electronic Imaging* 22, no. 1 (31 Januari 2013): 011001. <https://doi.org/10.1117/1.jei.22.1.011001>.
- Pohan, Rusdin. “Metodologi Penelitian Pendidikan, cet.” *Ke-2. Banda Aceh: Ar-Rijal Institute*, 2008.
- Pribadi, Agus. “Pemanfaatan kamera dengan sensor APS-C pada penelusuran lapangan kawasan rawan bencana untuk informasi spasial mitigasi bencana SIGDa.” *Jurnal Teknologi dan Informasi* 9, no. 1 (2019): 12–23.
- Putraga, Hariyadi, Arwin Juli Rakhmadi, Muhammad Dimas Firdaus, dan Muhammad Hidayat. “Penentuan awal waktu subuh menggunakan kamera DSLR dan metode moving average.” *JlIF (Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika)* 6, no. 2 (2022): 114–22.
- Qasthari, Eufrat Tsaqib. “Sensor dan Aktuator: Digital Camera sebagai sensor optikal,” 2017.
- Quintana, Xabier, Morten Geday, Manuel Caño-Garcia, Eva Otón, dan José Otón. “Image sensors for digital photography: a short course for undergraduates. I: Optics.” *Optica Pura y Aplicada* 53 (24 Maret 2020): 1–23. <https://doi.org/10.7149/OPA.53.1.51040>.
- Raisal, Abu Yazid, dan Yudhiakto Pramudya. “Pemanfaatan Metode Moving Average dalam Menentukan Awal Waktu

- Salat Subuh Menggunakan Sky Quality Meter (SQM).” *Al-Marshad: Jurnal Astronomi Islam Dan Ilmu-Ilmu Berkaitan* 5, no. 1 (2019).
- Rinto Anugraha, Eng, dan MSi Jurusan Fisika Fakultas MIPA universitas Gadjah Mada. “Mekanika Benda Langit,” 2012.
- Ritongga, Marataon. “Pengamatan Fajar Šādiq Menggunakan All Sky Camera Di Kota Medan.” Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang, 2022.
- Rusli, Rusli, Niswatul Kariimah, dan Mahfudz Mahfudz. “Determination Dawn of Shadiq in Masalembu Island by Using Image Processing Sobel Edge Detection Technique.” Dalam *International Conference on Law, Technology, Spirituality and Society (ICOLESS)*, 1:57–66, 2021.
- Saksono, Tono. “Evaluasi Awal Waktu Subuh & Isya: Perspektif Sains, Teknologi, dan Syariah.” *Jakarta: Uhamka Press & Lpp Aika Uhamka*, 2017.
- Saksono, Tono, dan Mohamad Ali Fulazzaky. “Predicting the accurate period of true dawn using a third-degree polynomial model.” *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics* 9, no. 1 (2020): 238–44.
- Salam, Hisbullah. “Pengamatan Fajar Šādiq Menggunakan Sistem Otomatisasi Observasi Fajar Dan Sky Quality Meter Stand Alone Di Sulawesi Selatan.” Universitas Islam Negeri Walisongo, 2022.
- Santosi, Zeljko, Mario Sokac, Tatjana Puskar, dan Igor Budak. “Comparative analysis of Full Frame and APS-C camera sensors on 3D digitization results.” Dalam *2017 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS)*, 1–5. IEEE, 2017.
- Septianto, Arif. “Teknik Astrofotografi Dalam Penentuan Pola Akhir Senja (Hilangnya Mega Merah) Sebagai Awal Masuknya Waktu Isya Dengan Image Processing.” *Jurnal Kumparan Fisika* 4, no. 3 (2021): 221–28.
- Slamet Hambali. *Ilmu Falak 1*. Semarang: Program Pascasarjana IAIN Walisongo, 2011.
- SNAPSHOT. “Kamera Full-Frame vs APS-C: Manakah yang Sebaiknya Saya Pilih?” Canon Asia, 2022.

<https://snapshot.canon-asia.com/id/article/indo/full-frame-vs-aps-c-camera-which-should-i-choose>.

- Sugiyono Kuantitatif, Pendidikan Pendekatan. “Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D.” *Alfabeta, Bandung*, 2016.
- Thomas Djamaluddin. “Penentuan Waktu Shubuh: Pengamatan dan Pengukuran Fajar di Labuan Bajo,” 30 April 2018.
- Tjahjadi, Martinus Edwin. “Dampak Ukuran Sensor Kamera Dijital Dalam Kemampuan Untuk Mendeteksi Pergeseran Deformasi Struktur.” *The Indonesian Journal of Computer Science* 13, no. 6 (2024).
- Tono Saksono. *Evaluasi Awal Waktu Subuh & Isya*. Jakarta: UHAMKA press & LPP AIKA UHAMKA, 2017.
- Wahyu Widhi. *Memotret Milky Way: Kiat Mendapatkan Foto Bima Sakti dan star Trail yang Menawan*. Jakarta: Gramedia, 2014.
- Walisongo, Pascasarjana UIN. *Panduan Penulisan: Karya tulis ilmiah*. Semarang: Pascasarjana UIN Walisongo, 2023.
- Yunianto, I. *Teknik Fotografi, Belajar Daris Basic Hingga Professional*. Penerbit Yayasan Prima Agus Teknik. Semarang: Yayasan Prima Agus Teknik, 2021.
<https://penerbit.stekom.ac.id/index.php/yayasanpat/article/download/213/239>.
- Zainuddin, Zainuddin. “Posisi matahari dalam menentukan waktu shalat menurut dalil syar’i.” *ELFALAKY: Jurnal Ilmu Falak* 4, no. 1 (2020).
- Zaman, Qomarus. “Terbit fajar dan waktu subuh (kajian nash syar’i dan astronomi).” *Mahakim: Journal of Islamic Family Law* 2, no. 1 (2018): 27–43.
- Zen, Adrian Permana, dan Donny Trihanondo. “Perkembangan Seni Fotografi dan Sinematografi serta Tantangannya pada era Pasca Pandemi Covid-19.” Dalam *SENADA (Seminar Nasional Manajemen, Desain Dan Aplikasi Bisnis Teknologi)*, 5:33–41, 2022.

LAMPIRAN

Lampiran 1:

Tabel *Moving Average* 30 April

X-T30 30 april			
Frame ke-	Intensitas_Asli	Average 5	Gradien
1	26,35969162		
2	26,10231972		
3	25,99478149		
4	26,16800499		
5	26,1457653	26,15411263	
6	26,20761681	26,12369766	-0,030414963
7	26,49442673	26,20211906	0,078421402
8	26,50663948	26,30449066	0,102371597
9	26,44822502	26,36053467	0,056044006
10	26,58415031	26,44821167	0,087677002
11	26,74193001	26,55507431	0,10686264
12	29,48615456	27,15341988	0,598345566
13	29,15041351	27,68217468	0,528754807
14	29,54006767	28,30054321	0,61836853
15	29,30386925	28,844487	0,543943787
16	29,65958214	29,42801743	0,583530426
17	29,65906525	29,46259956	0,034582138
18	29,9628315	29,62508316	0,162483597
19	30,47904205	29,81287804	0,187794876
20	30,20332909	29,99277	0,179891968
21	30,38208199	30,13726997	0,144499969
22	30,72117043	30,34969101	0,212421036
23	30,82360077	30,52184486	0,172153854
24	30,89629364	30,60529518	0,083450317

25	31,03827667	30,7722847	0,166989517
26	31,26902199	30,9496727	0,177388
27	31,73562622	31,15256386	0,202891159
28	31,77589607	31,34302292	0,190459061
29	32,11949921	31,58766403	0,244641113
30	32,44040298	31,86808929	0,280425262
31	32,6115799	32,13660088	0,268511581
32	32,92936707	32,37534904	0,238748169
33	33,47574997	32,71531982	0,339970779
34	34,01613617	33,09464722	0,379327393
35	34,41540527	33,48964767	0,395000458
36	34,77535629	33,92240295	0,43275528
37	35,41781235	34,42009201	0,497689056
38	35,98459625	34,92186127	0,501769257
39	36,54865265	35,42836456	0,506503296
40	37,51307678	36,04789886	0,619534302
41	38,59324265	36,81147614	0,763577271
42	39,71066284	37,67004623	0,858570099
43	40,89823914	38,65277481	0,982728577
44	42,19999313	39,78304291	1,130268097
45	43,29863358	40,94015427	1,157111359
46	44,86771011	42,19504776	1,254893494
47	46,73084641	43,59908447	1,404036713
48	48,33393097	45,08622284	1,487138367
49	50,42875671	46,73197556	1,645752716
50	52,56925201	48,58609924	1,854123688
51	54,80012512	50,57258224	1,986483002
52	57,56518555	52,73945007	2,166867828
53	60,35030365	55,14272461	2,403274536
54	63,59105301	57,77518387	2,632459259
55	67,73026276	60,80738602	3,032202148
56	71,15414429	64,07818985	3,270803833
57	75,38467407	67,64208755	3,563897705

58	80,12837982	71,59770279	3,955615234
59	85,06188965	75,89187012	4,294167328
60	90,53659821	80,45313721	4,56126709
61	96,15042114	85,45239258	4,999255371
62	102,0728226	90,79002228	5,3376297
63	110,5569687	96,87574005	6,085717773
64	117,1649857	103,2963593	6,420619202
65	124,1397858	110,0169968	6,720637512
66	131,3266296	117,0522385	7,035241699
67	138,862915	124,410257	7,358018494
68	146,3119202	131,5612473	7,150990295
69	154,2546539	138,9791809	7,417933655
70	162,1863861	146,588501	7,609320068
71	170,1645355	154,3560822	7,767581177
72	178,3392792	162,251355	7,895272827
73	186,7122803	170,331427	8,080072021
74	194,9157257	178,4636414	8,132214355
75	202,927948	186,6119537	8,148312378
76	210,7859802	194,7362427	8,12428894
77	218,3504639	202,7384796	8,002236938
78	225,2050934	210,4370422	7,698562622
79	231,0934906	217,6725952	7,235552979
80	236,0874634	224,3044983	6,631903076
81	240,1160126	230,1705048	5,86600647
82	243,5018921	235,2007904	5,030285645
83	246,6612701	239,4920258	4,291235352
84	249,538147	243,180957	3,688931274
85	251,7749939	246,3184631	3,137506104
86	253,2638092	248,9480225	2,629559326
87	254,0668488	251,0610138	2,112991333
88	254,4992828	252,6286163	1,567602539
89	254,7359619	253,6681793	1,039562988
90	254,8708954	254,2873596	0,619180298

91	254,9533386	254,6252655	0,337905884
92	107,5564804	225,3231918	-29,30207367
93	114,9136581	197,4060669	-27,91712494
94	121,693161	170,7975067	-26,60856018
95	128,88974	145,6012756	-25,19623108
96	136,8750763	208,519637	62,91836141
97	144,0751801	201,8911896	-6,628447469
98	154,3190918	195,7350444	-6,156145223
99	162,2653809	189,9168599	-5,818184408
100	170,134964	184,4741913	-5,44266866
101	178,1132507	179,4641541	-5,010037231
102	185,7932281	174,9125793	-4,551574707
103	193,3327789	170,8348124	-4,077766927
104	200,3066101	167,206189	-3,628623454
105	207,0843506	164,0204193	-3,185769653
106	213,5521545	161,2603404	-2,760078939
107	219,3073273	168,7103968	7,450056458
108	224,6260071	176,0245534	7,314156596
109	177,9414368	179,7744385	3,74988505
110	185,3508148	183,5385101	3,764071655
111	193,040451	187,2828684	3,744358317
112	200,4048004	191,0381765	3,755308024
113	207,9968262	194,6166921	3,578515625
114	212,6035309	197,9725688	3,355876668
115	219,1943512	201,2431946	3,270625814
116	224,0215759	204,3037496	3,060555013
117	230,5331116	207,2864085	2,982658895
118	237,0946655	210,2038676	2,917459106
119	243,080307	213,0554474	2,851579793
120	238,2089539	215,1304209	2,074973551
121		215,2431543	0,112733314
122		214,9305256	-0,312628694
123		214,1225688	-0,807956793

124		217,4117626	3,289193818
125		220,6178574	3,206094777
126		223,6820136	3,064156257
127		226,5916653	2,90965165
128		229,2480709	2,656405585
129		232,0221608	2,774089995
130		234,5877228	2,56556193
131		237,2292595	2,641536713
132		239,4613088	2,232049306
133		240,6446304	1,183321635
134		238,2089539	-2,435676575

Samsung A16 30 april			
Frame ke-	Intensitas_Asli	Average 15	Gradien
1	32,53186798		
2	26,87843323		
3	26,68865585		
4	26,98763466		
5	27,27240562	28,07179947	
6	27,03351593	26,97212906	-1,09967041
7	35,00404739	28,59725189	1,625122833
8	27,45995331	28,75151138	0,154259491
9	27,67735672	28,8894558	0,137944412
10	27,64238167	28,963451	0,073995209
11	27,65111351	29,08697052	0,123519516
12	28,15465927	27,7170929	-1,369877625
13	27,93824005	27,81275024	0,095657349
14	43,62657547	31,00259399	3,18984375
15	28,49394226	31,17290611	0,170312119
16	28,2836113	31,29940567	0,126499557
17	28,5437851	31,37723083	0,077825165

18	28,41815948	31,47321472	0,095983887
19	28,54003716	28,45590706	-3,017307663
20	28,34669495	28,4264576	-0,029449463
21	28,731884	28,51611214	0,089654541
22	30,60745811	28,92884674	0,412734604
23	33,25084686	29,89538422	0,966537476
24	29,20694542	30,02876587	0,133381653
25	29,29211044	30,21784897	0,189083099
26	29,55243301	30,38195877	0,164109802
27	30,33278465	30,32702408	-0,054934692
28	30,25665665	29,72818604	-0,598838043
29	30,8728466	30,06136627	0,333180237
30	30,88392067	30,37972832	0,318362045
31	31,71334267	30,81191025	0,432181931
32	32,33347702	31,21204872	0,400138474
33	32,61625671	31,68396873	0,471920013
34	33,48925781	32,20725098	0,523282242
35	34,02326202	32,83511925	0,627868271
36	34,78630447	33,44971161	0,614592361
37	34,82648849	33,9483139	0,498602295
38	36,40847397	34,70675735	0,758443451
39	36,78256607	35,36541901	0,658661652
40	37,57411957	36,07559052	0,710171509
41	39,94073868	37,10647736	1,030886841
42	41,42665482	38,42651062	1,320033264
43	42,6292572	39,67066727	1,244156647
44	43,33957291	40,98206863	1,311401367
45	44,45096588	42,3574379	1,375369263
46	45,42905045	43,45510025	1,097662354
47	46,11177063	44,39212341	0,937023163
48	47,15968323	45,29820862	0,906085205
49	48,17016983	46,264328	0,966119385
50	49,25822067	47,22577896	0,961450958

51	58,19390106	49,77874908	2,552970123
52	60,61156464	52,67870789	2,899958801
53	63,96448898	56,03966904	3,360961151
54	67,62432098	59,93049927	3,890830231
55	71,33017731	64,34489059	4,414391327
56	76,34828949	67,97576828	3,630877686
57	77,42955017	71,33936539	3,363597107
58	77,14510345	73,97548828	2,636122894
59	79,46492004	76,34360809	2,368119812
60	83,13017273	78,70360718	2,359999084
61	87,13595581	80,86114044	2,157533264
62	90,86919403	83,54906921	2,687928772
63	95,5661087	87,23327026	3,68420105
64	102,0734863	91,75498352	4,521713257
65	108,9889526	96,9267395	5,171755981
66	115,9267578	102,6848999	5,7581604
67	122,8880157	109,0886642	6,403764343
68	130,5610504	116,0876526	6,998988342
69	138,0016632	123,273288	7,185635376
70	145,777771	130,6310516	7,357763672
71	153,8116455	138,2080292	7,576977539
72	162,0151367	146,0334534	7,825424194
73	170,2393188	153,9691071	7,935653687
74	178,4083252	162,0504395	8,081332397
75	186,5755157	170,2099884	8,15954895
76	194,8372803	178,4151154	8,205126953
77	202,8466187	186,5814117	8,166296387
78	210,8140411	194,6963562	8,114944458
79	217,4024963	202,4951904	7,798834229
80	223,0747223	209,7950317	7,299841309
81	229,4966125	216,7268982	6,931866455
82	235,147049	223,1869843	6,46008606
83	239,526886	228,9295532	5,74256897

84	243,3834991	234,1257538	5,196200562
85	246,169281	238,7446655	4,618911743
86	248,3423462	242,5138123	3,769146729
87	250,0165253	245,4877075	2,973895264
88	251,3320007	247,8487305	2,361022949
89	252,3729706	249,6466248	1,797894287
90	253,2667236	251,0661133	1,419488525
91	253,9471436	252,1870728	1,120959473
92	107,5564804	223,6950638	-28,49200897
93	114,9136581	196,4113953	-27,28366852
94	121,693161	170,2754333	-26,13596191
95	128,88974	145,4000366	-24,87539673
96	136,8750763	205,5621694	60,16213277
97	144,0751801	199,4907115	-6,071457926
98	154,3190918	193,8101919	-5,680519613
99	162,2653809	188,4023173	-5,407874552
100	170,134964	183,3333628	-5,068954468
101	178,1132507	178,6514231	-4,681939697
102	185,7932281	174,36987	-4,281553141
103	193,3327789	170,5032552	-3,866614787
104	200,3066101	167,0321645	-3,471090698
105	207,0843506	163,9533396	-3,07882487
106	213,5521545	161,2603404	-2,692999268
107	219,3073273	168,7103968	7,450056458
108	224,6260071	176,0245534	7,314156596
109	177,9414368	179,7744385	3,74988505
110	185,3508148	183,5385101	3,764071655
111	193,040451	187,2828684	3,744358317
112	200,4048004	191,0381765	3,755308024
113	207,9968262	194,6166921	3,578515625
114	212,6035309	197,9725688	3,355876668
115	219,1943512	201,2431946	3,270625814
116	224,0215759	204,3037496	3,060555013

117	230,5331116	207,2864085	2,982658895
118	237,0946655	210,2038676	2,917459106
119	243,080307	213,0554474	2,851579793
120	238,2089539	215,1304209	2,074973551
121		215,2431543	0,112733314
122		214,9305256	-0,312628694
123		214,1225688	-0,807956793
124		217,4117626	3,289193818
125		220,6178574	3,206094777
126		223,6820136	3,064156257
127		226,5916653	2,90965165
128		229,2480709	2,656405585
129		232,0221608	2,774089995
130		234,5877228	2,56556193
131		237,2292595	2,641536713
132		239,4613088	2,232049306
133		240,6446304	1,183321635
134		238,2089539	-2,435676575

Lampiran 2:*Moving Average 1 Mei*

X-T30 1 Mei			
Frame ke-	Intensitas_Asli	Average 15	Gradien
1	33,03376007		
2	32,0959816		
3	32,10153961		
4	32,1306076		
5	32,73578644		
6	31,78439713		
7	31,22267532		
8	31,34591675		
9	31,52236557		
10	31,58929825		
11	31,32057953		
12	31,36382675		
13	31,3107338		
14	29,38052177		
15	29,20758438	31,47637164	
16	28,87563515	31,19916331	-0,277208328
17	29,18132782	31,00485306	-0,194310252
18	29,17295456	30,80961405	-0,195239003
19	29,20856667	30,61481133	-0,194802729
20	28,88859367	30,35833181	-0,256479518
21	29,19078064	30,18542404	-0,172907766
22	29,21427345	30,05153058	-0,133893458
23	28,94607162	29,89154091	-0,159989675
24	28,88131905	29,71547114	-0,176069768
25	28,91093445	29,53691355	-0,178557587
26	28,96455002	29,37984492	-0,157068634

27	28,86385536	29,21318016	-0,166664759
28	28,82138443	29,04722354	-0,165956624
29	28,75806808	29,00572662	-0,041496913
30	28,45031166	28,95524178	-0,050484848
31	27,87142944	28,88829473	-0,066947047
32	27,57613754	28,78128204	-0,107012685
33	28,11775398	28,71093534	-0,070346705
34	28,04491997	28,63335889	-0,077576447
35	28,02605629	28,5758564	-0,057502492
36	28,05648804	28,50023689	-0,075619507
37	28,29974937	28,43926862	-0,060968272
38	27,73292923	28,35839246	-0,08087616
39	28,13597679	28,30870298	-0,049689484
40	28,21469498	28,26228701	-0,046415965
41	28,36915779	28,2225942	-0,039692815
42	28,28386688	28,1839283	-0,038665899
43	28,14191628	28,13863042	-0,045297877
44	28,13980865	28,09741313	-0,041217295
45	28,6192131	28,10867322	0,011260096
46	28,72251129	28,16541201	0,05673879
47	28,8367424	28,24945234	0,084040324
48	28,72481728	28,28992322	0,040470886
49	28,8564415	28,34402466	0,054101435
50	28,63359451	28,38452721	0,040502548
51	28,74762154	28,43060277	0,046075567
52	29,32949257	28,49925232	0,068649546
53	28,56541634	28,55475146	0,05549914
54	29,00400734	28,61262016	0,057868703
55	29,37986374	28,69029808	0,077677917
56	29,43662643	28,76146266	0,071164576
57	29,34830856	28,83242544	0,070962779
58	29,44471931	28,91927897	0,086853536
59	29,75245857	29,02678897	0,107509995

60	30,06074524	29,12289111	0,096102142
61	30,48420334	29,24033724	0,117446136
62	30,33310318	29,34009463	0,099757385
63	30,70967674	29,47241859	0,132323964
64	31,08549881	29,62102242	0,148603821
65	31,26664543	29,79655914	0,175536728
66	31,40177727	29,97350286	0,176943715
67	31,92967987	30,14684868	0,17334582
68	32,46641922	30,40691554	0,260066859
69	33,3766861	30,69842745	0,291511917
70	34,02122879	31,00785179	0,309424337
71	34,94555664	31,37511381	0,367262014
72	35,76556396	31,80293083	0,427817027
73	36,93074799	32,30199941	0,499068578
74	37,99539948	32,8515288	0,549529394
75	39,02847672	33,44937757	0,597848765
76	40,61824036	34,12498004	0,675602468
77	42,05282974	34,90629514	0,781315104
78	44,36101151	35,81638412	0,910088984
79	46,84893417	36,86727982	1,050895691
80	49,18425751	38,06178729	1,194507472
81	52,43542099	39,4640302	1,402242915
82	55,29774094	41,02190094	1,557870738
83	58,86216736	42,78161748	1,759716543
84	62,29275131	44,70935516	1,927737681
85	66,49703979	46,87440923	2,165054067
86	71,35152435	49,30147374	2,427064514
87	76,97801971	52,04897079	2,74749705
88	82,30969238	55,07423375	3,02526296
89	88,62605286	58,44961065	3,375376892
90	94,4030838	62,14125112	3,691640472
91	100,7601852	66,15071411	4,009462992
92	107,5564804	70,51762416	4,366910044

93	114,9136581	75,22113393	4,703509776
94	121,693161	80,21074905	4,989615122
95	128,88974	85,52444789	5,313698832
96	136,8750763	91,15375824	5,629310354
97	144,0751801	97,07225418	5,918495941
98	154,3190918	103,4360491	6,363794963
99	162,2653809	110,1008911	6,66484197
100	170,134964	117,0100861	6,909194946
101	178,1132507	124,1275345	7,117448425
102	185,7932281	131,3818817	7,254347229
103	193,3327789	138,7834208	7,401539103
104	200,3066101	146,2287913	7,445370483
105	207,0843506	153,7408758	7,512084452
106	213,5521545	161,2603404	7,51946462
107	219,3073273	168,7103968	7,450056458
108	224,6260071	176,0245534	7,314156596
109	177,9414368	179,7744385	3,74988505
110	185,3508148	183,5385101	3,764071655
111	193,040451	187,2828684	3,744358317
112	200,4048004	191,0381765	3,755308024
113	207,9968262	194,6166921	3,578515625
114	212,6035309	197,9725688	3,355876668
115	219,1943512	201,2431946	3,270625814
116	224,0215759	204,3037496	3,060555013
117	230,5331116	207,2864085	2,982658895
118	237,0946655	210,2038676	2,917459106
119	243,080307	213,0554474	2,851579793
120	238,2089539	215,1304209	2,074973551
121		215,2431543	0,112733314
122		214,9305256	-0,312628694
123		214,1225688	-0,807956793
124		217,4117626	3,289193818
125		220,6178574	3,206094777

126		223,6820136	3,064156257
127		226,5916653	2,90965165
128		229,2480709	2,656405585
129		232,0221608	2,774089995
130		234,5877228	2,56556193
131		237,2292595	2,641536713
132		239,4613088	2,232049306
133		240,6446304	1,183321635
134		238,2089539	-2,435676575

Samsung A16 1 Mei			
Frame ke-	Intensitas_Asli	Average 15	Gradien
1	37,94781876		
2	34,04446793		
3	33,71289825		
4	34,09608841		
5	35,30073547		
6	33,7367897		
7	33,13062668		
8	33,06080246		
9	33,51805115		
10	33,81038284		
11	33,16194916		
12	32,86922836		
13	30,60987091		
14	30,31951141		
15	29,96873474	33,28586375	
16	29,38739777	32,71516902	-0,570694733
17	28,31979179	32,33352394	-0,381645075
18	30,01726341	32,08714828	-0,246375656
19	28,8395462	31,73671214	-0,350436147

20	29,44994926	31,34665972	-0,390052414
21	29,56419754	31,06848691	-0,278172811
22	29,62017632	30,83445689	-0,234030024
23	30,1441288	30,64001198	-0,194444911
24	30,32931328	30,42742945	-0,212582525
25	29,0192318	30,10801938	-0,31941007
26	29,21574783	29,8449393	-0,263080088
27	29,64493942	29,6299867	-0,214952596
28	29,8945713	29,58230006	-0,04768664
29	29,11275673	29,50184975	-0,080450312
30	28,70991135	29,41792819	-0,08392156
31	27,03625107	29,26118507	-0,156743113
32	27,27654457	29,19163526	-0,069549815
33	27,97663879	29,05559362	-0,136041641
34	28,56181526	29,03707822	-0,018515396
35	29,39476204	29,03339907	-0,003679148
36	27,67852211	28,90768738	-0,125711695
37	26,95080948	28,72972959	-0,177957789
38	27,87228775	28,57827352	-0,15145607
39	28,17054558	28,43435567	-0,143917847
40	28,13223839	28,37522278	-0,059132894
41	27,93145943	28,28960355	-0,085619227
42	27,33210754	28,13541476	-0,154188792
43	27,570158	27,98045387	-0,154960887
44	28,40068054	27,93298213	-0,047471746
45	28,42131996	27,9137427	-0,019239426
46	28,61424446	28,01894226	0,10519956
47	28,69097137	28,11323738	0,09429512
48	29,13476753	28,19044596	0,077208583
49	28,69521141	28,19933904	0,008893077
50	28,85838318	28,16358045	-0,035758591
51	28,70799065	28,23221169	0,068631236
52	29,30291176	28,3890185	0,156806819

53	28,96852875	28,46210124	0,073082733
54	29,47992516	28,54939321	0,087291972
55	29,51421547	28,64152501	0,092131805
56	29,29409599	28,73236745	0,090842438
57	29,85848999	28,90079295	0,168425496
58	30,4667263	29,0938975	0,193104553
59	31,21814728	29,28172862	0,187831116
60	30,83066559	29,44235166	0,160623042
61	31,46502304	29,63240356	0,190051905
62	30,53259468	29,75517845	0,122774887
63	31,41784477	29,9073836	0,152205149
64	31,48693657	30,09349861	0,186115011
65	32,39612961	30,32934837	0,235849762
66	32,50326157	30,58236643	0,253018061
67	33,62892914	30,87076759	0,288401159
68	34,24141312	31,22229322	0,351525625
69	34,49271393	31,55647914	0,334185918
70	35,69854355	31,96876767	0,412288539
71	39,35496902	32,63949254	0,670724869
72	37,94658661	33,17869898	0,539206441
73	38,53787994	33,71677589	0,538076909
74	38,9821167	34,23437386	0,517597961
75	39,90395737	34,83925997	0,604886119
76	40,69576263	35,45464261	0,61538264
77	41,60138702	36,1925621	0,73791949
78	42,27218628	36,91618487	0,723622767
79	45,13058853	37,82576167	0,909576797
80	46,98579407	38,79840597	0,972644297
81	48,86564636	39,88923162	1,090825653
82	60,37495041	41,6722997	1,783068085
83	63,82474899	43,64452209	1,972222392
84	65,68789673	45,72420095	2,079678853
85	66,40990448	47,77162501	2,047424062

86	70,35335541	49,8381841	2,066559092
87	73,99620819	52,24149221	2,403308105
88	77,97575378	54,8706838	2,629191589
89	84,37861633	57,89711711	3,026433309
90	89,26673889	61,18796921	3,290852102
91	94,63820648	64,78413213	3,596162923
92	99,47368622	68,64228541	3,85815328
93	75,87052155	70,88217443	2,239889018
94	111,4603958	75,30416158	4,421987152
95	117,945549	80,03481191	4,73065033
96	126,1838837	85,18936106	5,154549154
97	119,5076294	89,13153966	3,942178599
98	124,146637	93,15299886	4,021459198
99	149,9752655	98,77215678	5,619157918
100	158,0596771	104,8821416	6,109984843
101	166,1529083	111,2687785	6,386636861
102	174,5449829	117,9720301	6,703251648
103	176,267746	124,5248296	6,552799479
104	190,0271912	131,5680679	7,043238322
105	196,2888184	138,7028732	7,134805298
106	204,0623169	145,9978139	7,294940694
107	211,5864868	153,4720006	7,474186707
108	218,5445557	162,9836029	9,511602275
109	177,9414368	167,4156723	4,432069397
110	185,3508148	171,9093567	4,493684387
111	193,040451	176,3664612	4,457104492
112	200,4048004	181,7596059	5,393144735
113	207,9968262	187,3496185	5,590012614
114	212,6035309	191,5248362	4,175217692
115	219,1943512	195,6004812	4,075644938
116	224,0215759	199,4583923	3,857911174
117	230,5331116	203,1909342	3,732541911
118	237,0946655	207,2460622	4,05512797

119	243,080307	210,7829366	3,53687439
120	238,2089539	213,5776123	2,7946757
121		214,2572763	0,679663958
122		214,4627216	0,205445342
123		214,1225688	-0,340152838
124		217,4117626	3,289193818
125		220,6178574	3,206094777
126		223,6820136	3,064156257
127		226,5916653	2,90965165
128		229,2480709	2,656405585
129		232,0221608	2,774089995
130		234,5877228	2,56556193
131		237,2292595	2,641536713
132		239,4613088	2,232049306
133		240,6446304	1,183321635
134		238,2089539	-2,435676575

Lampiran 3:*Moving Average 2 Mei*

X-T30 2 Mei			
Frame ke-	Intensitas_Asli	Average 15	Gradien
1	33,28890228		
2	27,96261215		
3	27,74968338		
4	27,95649338		
5	27,71209145		
6	29,92073059		
7	27,99690247		
8	27,89594078		
9	28,05871391		
10	27,99097443		
11	28,10934639		
12	30,53708267		
13	30,44862175		
14	28,00213623		
15	27,6499691	28,7520134	
16	28,12504768	28,40775642	-0,344256973
17	27,56210518	28,38105596	-0,026700465
18	27,56436157	28,36870117	-0,012354787
19	27,51621437	28,33934924	-0,029351934
20	27,37388802	28,31680234	-0,022546895
21	27,23928261	28,13803914	-0,178763199
22	27,43445396	28,10054258	-0,037496567
23	27,43697548	28,06994489	-0,030597687
24	27,5491848	28,03597628	-0,033968608
25	27,34328079	27,99279671	-0,043179576
26	27,62964439	27,96081657	-0,031980133

27	27,40297127	27,75187581	-0,20894076
28	29,91811752	27,71650887	-0,035366948
29	28,40089989	27,74309311	0,026584244
30	27,96799088	27,76429456	0,021201452
31	27,45386505	27,71954905	-0,044745509
32	27,61253357	27,72291094	0,003361893
33	27,47018814	27,71663272	-0,006278229
34	27,4541378	27,71249428	-0,004138438
35	29,62995529	27,86289876	0,150404485
36	28,11167336	27,92105815	0,058159383
37	28,01828384	27,95998014	0,038921992
38	27,95965195	27,99482524	0,034845098
39	27,72857666	28,00678469	0,011959457
40	27,91581345	28,04495354	0,038168844
41	30,72540092	28,25133731	0,206383769
42	27,51167679	28,25858434	0,007247035
43	27,22395897	28,07897377	-0,17961057
44	27,29879189	28,0054999	-0,073473867
45	27,48926735	27,973585	-0,031914902
46	27,74052429	27,99269562	0,019110616
47	31,00243568	28,21868909	0,225993474
48	27,65729523	28,2311629	0,012473806
49	26,82481194	28,18920784	-0,041955058
50	26,68426704	27,99282862	-0,196379217
51	26,88916969	27,91132838	-0,081500244
52	26,11013222	27,78411827	-0,127210108
53	25,49885368	27,62006505	-0,164053218
54	25,73044395	27,48685621	-0,133208847
55	25,69475937	27,33878593	-0,148070272
56	25,73379898	27,00601247	-0,332773463
57	25,723526	26,88680242	-0,119210052
58	25,9899292	26,80453377	-0,082268651
59	25,87902069	26,70988235	-0,094651413

60	26,12534523	26,61895421	-0,090928141
61	26,37650299	26,52801946	-0,090934753
62	25,75761795	26,17836494	-0,349654516
63	26,38268852	26,09339116	-0,08497378
64	26,52803802	26,07360624	-0,019784927
65	29,08818245	26,23386726	0,160261027
66	27,00664711	26,24169909	0,007831828
67	26,25023842	26,25103951	0,009340413
68	26,58337021	26,32334061	0,072301102
69	26,62822723	26,38319283	0,059852219
70	26,29614258	26,42328504	0,040092214
71	25,77304268	26,42590129	0,002616247
72	25,52134705	26,41242269	-0,013478597
73	25,87189102	26,40455348	-0,007869212
74	25,84873581	26,40253448	-0,002018992
75	26,44024086	26,42352753	0,020993042
76	26,1747551	26,41007767	-0,01344986
77	26,70385361	26,47316004	0,063082377
78	26,61419296	26,48859367	0,015433629
79	26,7922287	26,50620639	0,017612712
80	31,33846474	26,6562252	0,150018819
81	27,23707771	26,67158724	0,01536204
82	27,69909668	26,7681778	0,096590551
83	28,80029869	26,91597303	0,147795232
84	28,91382408	27,06834615	0,152373123
85	29,71150589	27,29603704	0,227690887
86	29,69643974	27,55759684	0,261559804
87	23,018507	27,39074084	-0,166856003
88	31,16481209	27,74360224	0,352861404
89	31,93264008	28,14919586	0,405593618
90	33,22563934	28,60155576	0,452359899
91	33,86231232	29,11405958	0,512503815
92	34,72971725	29,64911715	0,535057576

93	25,75196838	29,59163551	-0,057481639
94	37,28909302	30,29142647	0,699790955
95	39,30287552	30,82238719	0,530960719
96	41,318573	31,76115354	0,938766352
97	43,95811844	32,84508832	1,083934784
98	47,11300278	34,06593526	1,220846939
99	50,62632751	35,51343549	1,447500229
100	54,72273636	37,18085086	1,667415365
101	59,57226563	39,17257258	1,991721725
102	116,3192978	45,3926253	6,220052719
103	135,4031982	52,34185104	6,949225744
104	141,1766815	59,62478714	7,282936096
105	148,0576477	67,28025436	7,655467224
106	155,4798279	75,38808873	8,107834371
107	162,9461365	83,93585002	8,547761281
108	170,348587	93,57562459	9,639774577
109	177,9414368	102,9524475	9,376822917
110	185,3508148	112,6889768	9,736529287
111	193,040451	122,8037687	10,11479187
112	200,4048004	133,2335475	10,4297788
113	207,9968262	143,9591357	10,72558823
114	212,6035309	154,7576159	10,79848022
115	219,1943512	165,7223902	10,96477432
116	224,0215759	176,6856776	10,96328735
117	230,5331116	184,2999318	7,614254252
118	237,0946655	191,079363	6,779431152
119	243,080307	197,872938	6,793575033
120	238,2089539	203,8830251	6,010087077
121		207,3403963	3,45737123
122		210,7553394	3,414943066
123		214,1225688	3,367229364
124		217,4117626	3,289193818
125		220,6178574	3,206094777

126		223,6820136	3,064156257
127		226,5916653	2,90965165
128		229,2480709	2,656405585
129		232,0221608	2,774089995
130		234,5877228	2,56556193
131		237,2292595	2,641536713
132		239,4613088	2,232049306
133		240,6446304	1,183321635
134		238,2089539	-2,435676575

Samsung A16 2 Mei			
Frame ke-	Intensitas_Asli	Average 15	Gradien
1	27,85801125		
2	27,79090881		
3	27,32269669		
4	27,51785088		
5	27,95428658		
6	29,424757		
7	27,45214653		
8	27,33063507		
9	27,90971375		
10	27,7749176		
11	29,55645561		
12	27,96815681		
13	27,99157715		
14	28,47390366		
15	28,87516022	28,08007851	
16	27,58972168	28,06219254	-0,017885971
17	31,9751358	28,341141	0,278948466
18	27,25270653	28,33647499	-0,004666011
19	27,01979256	28,3032711	-0,033203888

20	27,10649872	28,24675191	-0,05651919
21	27,78927422	28,13771973	-0,109032186
22	8,7607584	26,89162718	-1,246092542
23	27,29553795	26,88928738	-0,002339808
24	28,1160202	26,90304114	0,013753764
25	27,01132584	26,85213502	-0,050906118
26	27,41974831	26,70968787	-0,142447154
27	27,56863976	26,6830534	-0,026634471
28	27,26168633	26,63439401	-0,048659388
29	27,2422905	26,55228647	-0,082107544
30	33,97941589	26,89257018	0,340283712
31	26,83613777	26,84233125	-0,050238927
32	27,92348671	26,57222131	-0,27010994
33	27,83416176	26,61098499	0,038763682
34	27,635355	26,65202249	0,041037496
35	30,29052162	26,86429068	0,212268194
36	28,6185379	26,91957493	0,055284246
37	28,04694176	28,20532049	1,285745557
38	28,85359192	28,30919075	0,103870265
39	27,95577812	28,29850794	-0,010682805
40	27,90510178	28,35809301	0,059585063
41	27,92786598	28,39196752	0,033874512
42	28,1986599	28,43396886	0,042001343
43	27,22227859	28,43134168	-0,002627182
44	27,02284622	28,41671206	-0,014629618
45	27,9013958	28,01151072	-0,40520134
46	27,3292408	28,04438426	0,032873535
47	26,85073471	27,97286746	-0,0715168
48	27,90531158	27,97761078	0,004743322
49	26,37087631	27,8933122	-0,084298579
50	26,52941322	27,64257164	-0,25074056
51	26,9397068	27,53064957	-0,111922073
52	25,61334229	27,3684096	-0,162239965

53	24,44157982	27,07427546	-0,29413414
54	25,40312004	26,90409826	-0,170177205
55	24,52765274	26,67893499	-0,225163269
56	25,23189926	26,49920387	-0,179731115
57	26,85799026	26,4098259	-0,089377975
58	25,6439991	26,30460726	-0,105218633
59	26,65885544	26,28034121	-0,024266052
60	25,43662453	26,11602313	-0,164318085
61	25,81398582	26,01500613	-0,101016998
62	25,25673866	25,90873973	-0,106266403
63	25,60224533	25,75520198	-0,15353775
64	30,07352257	26,00204506	0,246843084
65	26,3598156	25,99073855	-0,011306508
66	26,86818695	25,98597056	-0,00476799
67	25,72541809	25,99344228	0,00747172
68	26,38492775	26,12299881	0,129556529
69	26,53083801	26,19818001	0,075181198
70	26,61483192	26,33732529	0,139145279
71	25,96512222	26,38620682	0,048881531
72	25,86660767	26,32011464	-0,066092173
73	26,17053795	26,35521723	0,03510259
74	11,27915382	25,32990379	-1,025313441
75	26,33056831	25,38950005	0,059596252
76	26,24839401	25,41846059	0,028960546
77	26,33392715	25,49027316	0,071812566
78	27,17216301	25,59493434	0,104661179
79	27,81242561	25,44419454	-0,150739797
80	27,9489727	25,55013835	0,105943807
81	29,05860138	25,69616597	0,146027629
82	29,74622726	25,96421992	0,268053945
83	30,93764114	26,26773415	0,303514226
84	31,98489952	26,63133825	0,363604101
85	32,90554047	27,05071882	0,419380569

86	32,18427277	27,46532885	0,414610036
87	32,79970932	27,92753563	0,462206777
88	33,02140808	28,3842603	0,456724675
89	33,46820068	29,8635301	1,479269791
90	34,29548264	30,39452438	0,530994288
91	34,42112732	30,93937327	0,544848887
92	36,18761826	31,59628601	0,65691274
93	40,90294266	32,51167132	0,91538531
94	42,77056885	33,50888087	0,997209549
95	45,67266846	34,69046059	1,181579717
96	48,49182892	35,98600909	1,295548503
97	4,147200584	34,27940731	-1,706601779
98	57,6297493	36,05888119	1,779473877
99	57,05260849	37,73006179	1,671180598
100	59,408535	39,49692809	1,766866302
101	61,57718277	41,45645542	1,959527334
102	116,3192978	47,02442799	5,567972565
103	135,4031982	53,84988066	6,825452677
104	141,1766815	61,03044605	7,180565389
105	148,0576477	68,61459039	7,584144338
106	155,4798279	76,68517043	8,070580037
107	162,9461365	85,13573831	8,450567881
108	170,348587	93,76544793	8,629709625
109	177,9414368	102,7768391	9,011391195
110	185,3508148	112,0887156	9,311876424
111	193,040451	121,7252904	9,636574809
112	200,4048004	134,8091304	13,08383999
113	207,9968262	144,8336021	10,02447179
114	212,6035309	155,2036636	10,37006149
115	219,1943512	165,8560514	10,65238775
116	224,0215759	176,6856776	10,82962621
117	230,5331116	184,2999318	7,614254252
118	237,0946655	191,079363	6,779431152

119	243,080307	197,872938	6,793575033
120	238,2089539	203,8830251	6,010087077
121		207,3403963	3,45737123
122		210,7553394	3,414943066
123		214,1225688	3,367229364
124		217,4117626	3,289193818
125		220,6178574	3,206094777
126		223,6820136	3,064156257
127		226,5916653	2,90965165
128		229,2480709	2,656405585
129		232,0221608	2,774089995
130		234,5877228	2,56556193
131		237,2292595	2,641536713
132		239,4613088	2,232049306
133		240,6446304	1,183321635
134		238,2089539	-2,435676575

Lampiran 4:*Moving Average 3 Mei*

X-T30 3 Mei			
Frame ke-	Intensitas_Asli	Average 15	Gradien
1	29,1103344		
2	28,99843025		
3	28,9358139		
4	29,15834808		
5	29,23942184		
6	29,2885685		
7	29,61372566		
8	29,40382004		
9	29,41194344		
10	29,39587212		
11	29,29598427		
12	29,69223404		
13	29,76792717		
14	29,42692184		
15	29,88231659	29,37477748	
16	29,7519455	29,41755155	0,042774073
17	29,64178276	29,46044172	0,042890167
18	29,79728508	29,51787313	0,057431412
19	29,7339859	29,55624898	0,038375854
20	29,46103859	29,57102343	0,01477445
21	29,45381546	29,5820399	0,011016464
22	29,79582787	29,59418004	0,012140147
23	30,84473419	29,69024099	0,096060944
24	29,20226097	29,67626216	-0,013978831
25	29,15224648	29,66002045	-0,016241709
26	29,13767242	29,64946632	-0,010554123

27	29,23198509	29,61878306	-0,030683263
28	29,15061378	29,57762884	-0,041154226
29	29,5923481	29,58865725	0,011028417
30	29,93932915	29,59245809	0,003800837
31	29,63607788	29,58473358	-0,007724508
32	29,95332718	29,60550321	0,020769628
33	29,42014313	29,58036041	-0,025142797
34	29,40521622	29,55844243	-0,021917979
35	29,39324379	29,55392278	-0,004519653
36	29,43851662	29,55290286	-0,001019923
37	29,11625099	29,50759773	-0,045305125
38	28,9818821	29,38340759	-0,12419014
39	28,91892815	29,36451874	-0,018888855
40	28,94139099	29,35046171	-0,014057032
41	28,63570404	29,31699715	-0,033464559
42	27,8979454	29,22806117	-0,088935979
43	27,36075211	29,10873706	-0,119324112
44	26,89126396	28,92866478	-0,180072276
45	26,87143135	28,72413826	-0,20452652
46	26,73676491	28,53085073	-0,193287532
47	27,11678123	28,34174767	-0,189103063
48	27,13657188	28,18950958	-0,152238083
49	27,2531929	28,04604136	-0,143468221
50	26,11680031	27,8276118	-0,218429565
51	26,32605171	27,62011414	-0,20749766
52	26,28392982	27,43129272	-0,188821411
53	26,50777435	27,26635221	-0,164940516
54	26,86281395	27,12927793	-0,13707428
55	27,35721397	27,02366613	-0,105611801
56	27,58151436	26,95338682	-0,070279312
57	27,78495407	26,94585406	-0,007532756
58	27,91227341	26,98262215	0,036768087
59	28,24180222	27,07265803	0,090035884

60	28,12842178	27,15645739	0,083799362
61	28,34105492	27,26341006	0,106952667
62	28,4359684	27,35135587	0,087945811
63	28,60701942	27,44938571	0,098029836
64	28,8562355	27,55625521	0,106869507
65	28,67116356	27,7265461	0,170290883
66	28,14449692	27,84777578	0,12122968
67	28,74253082	28,01168251	0,163906733
68	29,61133766	28,21858673	0,206904221
69	30,18299294	28,439932	0,221345266
70	30,84926414	28,67273534	0,232803345
71	31,15149117	28,9107338	0,237998454
72	32,04624176	29,19481964	0,284085846
73	32,5926857	29,50684713	0,312027486
74	33,49258804	29,85689952	0,350052389
75	34,32013702	30,26968053	0,412781016
76	35,06061554	30,71765124	0,447970708
77	36,20840073	31,2358134	0,518162155
78	37,44602966	31,82508074	0,589267349
79	38,73437119	32,48362312	0,658542379
80	39,55963516	33,20952123	0,725898107
81	40,76968765	34,05120061	0,841679382
82	41,92373276	34,92994741	0,878746796
83	43,36923981	35,84714088	0,917193476
84	45,47961426	36,86691564	1,019774755
85	47,82039261	37,9983242	1,131408564
86	51,02007675	39,32289658	1,324572372
87	54,02505493	40,78815079	1,465254211
88	57,85426331	42,47225596	1,684105174
89	61,83347702	44,36164856	1,889392598
90	67,16073608	46,55102183	2,189373271
91	71,14538574	48,95667318	2,405651347
92	75,99217987	51,60892512	2,652251943

93	80,50313568	54,47939885	2,870473735
94	84,7287674	57,54569194	3,066293081
95	89,0710907	60,84645564	3,300763702
96	93,26322937	64,34602509	3,499569448
97	95,9102478	67,94512609	3,599101003
98	99,31535339	71,67486699	3,729740906
99	102,9275894	75,504732	3,829865011
100	107,1787186	79,46195374	3,957221731
101	111,4335785	83,48952052	4,027566783
102	116,3192978	87,64247004	4,152949524
103	135,4031982	92,81239904	5,169928996
104	141,1766815	98,101946	5,289546967
105	148,0576477	103,4950734	5,393127441
106	155,4798279	109,1173696	5,622296143
107	162,9461365	114,9143	5,79693044
108	170,348587	120,9039968	5,989696757
109	177,9414368	127,1181747	6,214177958
110	185,3508148	133,536823	6,418648275
111	193,040451	140,1886378	6,651814779
112	200,4048004	147,1549413	6,966303507
113	207,9968262	154,4003728	7,245431519
114	212,6035309	161,7121023	7,311729431
115	219,1943512	169,1798111	7,467708842
116	224,0215759	176,6856776	7,505866496
117	230,5331116	184,2999318	7,614254252
118	237,0946655	191,079363	6,779431152
119	243,080307	197,872938	6,793575033
120	238,2089539	203,8830251	6,010087077
121		207,3403963	3,45737123
122		210,7553394	3,414943066
123		214,1225688	3,367229364
124		217,4117626	3,289193818
125		220,6178574	3,206094777

126		223,6820136	3,064156257
127		226,5916653	2,90965165
128		229,2480709	2,656405585
129		232,0221608	2,774089995
130		234,5877228	2,56556193
131		237,2292595	2,641536713
132		239,4613088	2,232049306
133		240,6446304	1,183321635
134		238,2089539	-2,435676575

Samsung A16 3 Mei			
Frame ke-	Intensitas_Asli	Average 15	Gradien
1	32,78541946		
2	33,17874908		
3	32,62928772		
4	32,68806458		
5	33,08174896		
6	33,78225708		
7	33,29340744		
8	33,68162155		
9	33,49642563		
10	33,0705452		
11	32,99762344		
12	33,69951248		
13	34,04527664		
14	33,56018829		
15	34,30083847	33,35273107	
16	34,33610916	33,45611038	0,103379313
17	33,31650543	33,46529414	0,009183757
18	33,72425461	33,53829193	0,072997793
19	33,78560257	33,61146113	0,0731692

20	32,89881897	33,5992658	-0,012195333
21	32,82897186	33,53571345	-0,063552348
22	33,33308029	33,53835831	0,002644857
23	33,57357407	33,53115514	-0,007203166
24	32,48497391	33,46372503	-0,067430115
25	32,47941589	33,42431641	-0,03940862
26	32,96969223	33,42245433	-0,001862081
27	31,69600105	33,2888869	-0,133567429
28	32,55073547	33,18925082	-0,099636078
29	32,09907913	33,09184354	-0,097407277
30	32,32568741	32,9601668	-0,131676737
31	32,36936188	32,82905032	-0,131116486
32	32,75818634	32,79182905	-0,037221273
33	32,45584869	32,70726865	-0,084560394
34	31,38804054	32,54743118	-0,159837468
35	31,52948189	32,45614204	-0,091289139
36	31,59434128	32,37383334	-0,082308706
37	31,1825428	32,23046417	-0,143369166
38	31,9530735	32,1224308	-0,108033371
39	32,09626389	32,0965168	-0,025914001
40	32,31932068	32,08584379	-0,010673014
41	31,51281548	31,98871867	-0,097125117
42	31,02558899	31,94402453	-0,044694138
43	29,4068718	31,73443362	-0,209590912
44	23,95373154	31,19141045	-0,543023173
45	24,08387566	30,64195633	-0,549454117
46	29,63070488	30,4593792	-0,182577133
47	31,40700722	30,36930059	-0,090078608
48	30,66096687	30,2496418	-0,119658788
49	32,28211975	30,30924708	0,059605281
50	29,76421547	30,19156265	-0,117684428
51	24,05356789	29,68884443	-0,502718226
52	24,35622025	29,23375626	-0,45508817

53	24,24690819	28,7200119	-0,513744354
54	24,44880676	28,21018143	-0,509830475
55	24,63239479	27,6977197	-0,512461726
56	30,84151268	27,65296618	-0,04475352
57	30,94267654	27,64743869	-0,005527496
58	30,89816666	27,74685834	0,099419657
59	30,64282227	28,19279772	0,445939382
60	31,24080467	28,66992633	0,477128601
61	30,81070137	28,74859276	0,078666433
62	31,65447617	28,76509069	0,01649793
63	31,99953842	28,85432879	0,089238103
64	32,35455704	28,85915794	0,004829152
65	32,1887207	29,02079163	0,161633682
66	31,31302261	29,50475527	0,483963648
67	32,28050232	30,03304075	0,528285472
68	35,10412598	30,75685527	0,723814519
69	34,70963669	31,44091059	0,684055328
70	37,98596191	32,3311484	0,890237808
71	38,7263031	32,8568011	0,525652695
72	38,68785477	33,37314631	0,516345215
73	38,75118637	33,89668096	0,523534648
74	39,6044426	34,49412231	0,597441355
75	39,72602844	35,0598039	0,565681585
76	40,43930054	35,70171051	0,641906611
77	41,97293091	36,38960749	0,687896983
78	43,06995773	37,12763545	0,738027954
79	44,71747208	37,95182978	0,824194336
80	46,32796478	38,89444606	0,942616272
81	48,03360367	40,00915146	1,114705404
82	50,37585068	41,21550802	1,206356557
83	51,24776459	42,29175059	1,076242574
84	54,38611603	43,60351588	1,311765289
85	57,43855286	44,90035528	1,296839396

86	60,7424469	46,3680982	1,46774292
87	60,0275383	47,79074376	1,422645569
88	62,69891357	49,38725891	1,596515147
89	64,51911163	51,04823685	1,660977936
90	69,59909821	53,03977483	1,991537984
91	71,78527069	55,12950617	2,089731344
92	74,69044495	57,31067378	2,181167603
93	78,79282379	59,69219818	2,381524404
94	83,49873352	62,27761561	2,58541743
95	89,15995789	65,13308182	2,855466207
96	93,64686584	68,17396596	3,040884145
97	97,58600616	71,32130966	3,147343699
98	100,8575821	74,62863083	3,307321167
99	104,4473953	77,96604945	3,33741862
100	108,2765884	81,35525182	3,389202372
101	111,1674423	84,71691818	3,361666361
102	113,5851135	88,2874232	3,570505015
103	135,4031982	93,13437551	4,846952311
104	141,1766815	98,24488017	5,110504659
105	148,0576477	103,4754501	5,230569967
106	155,4798279	109,0550873	5,579637146
107	162,9461365	114,9388	5,883712769
108	170,348587	121,0425176	6,10371755
109	177,9414368	127,3386978	6,296180216
110	185,3508148	133,7514216	6,412723796
111	193,040451	140,3776606	6,626239014
112	200,4048004	147,2322469	6,854586283
113	207,9968262	154,3748632	7,142616272
114	212,6035309	161,5852722	7,210409037
115	219,1943512	168,9797897	7,394517517
116	224,0215759	176,5033986	7,523608907
117	230,5331116	184,2999318	7,796533203
118	237,0946655	191,079363	6,779431152

119	243,080307	197,872938	6,793575033
120	238,2089539	203,8830251	6,010087077
121		207,3403963	3,45737123
122		210,7553394	3,414943066
123		214,1225688	3,367229364
124		217,4117626	3,289193818
125		220,6178574	3,206094777
126		223,6820136	3,064156257
127		226,5916653	2,90965165
128		229,2480709	2,656405585
129		232,0221608	2,774089995
130		234,5877228	2,56556193
131		237,2292595	2,641536713
132		239,4613088	2,232049306
133		240,6446304	1,183321635
134		238,2089539	-2,435676575

Lampiran 5:*Moving Average 4 Mei*

X-T30 4 Mei			
Frame ke-	Intensitas_Asli	Average 15	Gradien
1	41,92284393		
2	42,2641983		
3	42,1422348		
4	42,01982117		
5	40,07685852		
6	42,05199051		
7	42,12986755		
8	42,12422562		
9	41,6685524		
10	41,5194931		
11	22,72652817		
12	41,35447693		
13	41,79350281		
14	41,60725021		
15	41,61717224	40,46793442	
16	41,56626892	40,44416275	-0,023771667
17	41,55340195	40,39677633	-0,047386424
18	41,48122406	40,35270894	-0,044067383
19	41,33794022	40,30725021	-0,04545873
20	41,61302185	40,4096611	0,102410889
21	41,44073105	40,36891047	-0,040750631
22	41,44622803	40,3233345	-0,045575968
23	41,34584427	40,27144241	-0,05189209
24	41,44133377	40,2562945	-0,015147909
25	41,02519226	40,22334112	-0,032953389
26	41,06995773	41,44623642	1,222895304

27	41,21179199	41,43672409	-0,009512329
28	41,30288315	41,40401611	-0,032707977
29	41,39631653	41,38995387	-0,014062246
30	41,51726151	41,38329315	-0,006660716
31	41,52069473	41,38025487	-0,003038279
32	41,77496338	41,39502563	0,014770762
33	41,50279999	41,39646403	0,001438395
34	41,6944809	41,42023341	0,023769379
35	41,429039	41,40796789	-0,012265523
36	41,92219162	41,44006526	0,032097371
37	41,94642639	41,47341181	0,033346558
38	41,75196457	41,5004865	0,027074687
39	41,29014206	41,49040705	-0,010079447
40	39,02341461	41,35695521	-0,133451843
41	41,61876678	41,39354248	0,03658727
42	41,98208618	41,44489543	0,051352946
43	41,5226593	41,45954717	0,014651744
44	41,27019501	41,45113907	-0,008408101
45	24,85022545	40,34000333	-1,111135737
46	41,15008545	40,31529605	-0,024707286
47	41,51528549	40,29798419	-0,017311859
48	41,34625626	40,28754794	-0,010436249
49	41,39723587	40,2677316	-0,019816335
50	41,91439056	40,30008837	0,032356771
51	34,61936951	39,81323357	-0,486854808
52	41,79626846	39,80322304	-0,010010529
53	41,77718353	39,8049043	0,001681264
54	42,11815643	39,86010526	0,055200958
55	41,96291733	40,05607211	0,195966848
56	42,01358032	40,08239301	0,026320903
57	42,26784134	40,10144335	0,019050344
58	42,3995285	40,1599013	0,058457947
59	41,9316597	40,20399895	0,044097646

60	42,16435242	41,35827408	1,154275131
61	41,90309906	41,40847499	0,050200907
62	41,79725266	41,4272728	0,018797811
63	41,94673538	41,46730474	0,040031942
64	41,61182022	41,48161036	0,014305623
65	37,13055801	41,16268819	-0,31892217
66	41,7015419	41,63483302	0,472144826
67	42,05885696	41,65233892	0,0175059
68	38,26150894	41,41796061	-0,234378306
69	42,73149109	41,45884959	0,040888977
70	43,29217148	41,54746653	0,088616943
71	37,72339249	41,26145401	-0,286012522
72	44,12770462	41,3854449	0,123990885
73	45,00080109	41,55886307	0,173418172
74	43,36450577	41,65438614	0,095523071
75	43,69416046	41,75637334	0,101987203
76	46,74329376	42,07905299	0,322679647
77	47,57003784	42,46390533	0,384852346
78	46,65189362	42,77758255	0,313677216
79	49,50255585	43,30363159	0,526049042
80	50,30164337	44,18170395	0,878072357
81	51,63409042	44,84387385	0,662169902
82	52,71717072	45,5544281	0,71055425
83	54,15299225	46,61386032	1,05943222
84	55,87057114	47,48979899	0,87593867
85	57,64540863	48,44668147	0,956882477
86	60,19143295	49,94455083	1,497869364
87	62,40718079	51,16318258	1,218631744
88	64,55599213	52,46686198	1,303679403
89	67,11681366	54,05034917	1,583487193
90	70,55899811	55,84133835	1,790989176
91	73,39685059	57,61824214	1,776903788
92	77,24976349	59,59689051	1,978648376

93	81,22503662	61,90176671	2,3048762
94	85,82556915	64,32330093	2,42153422
95	90,82444763	67,02482122	2,701520284
96	95,81358337	69,97012075	2,94529953
97	101,3487473	73,21222585	3,242105103
98	106,9589767	76,73262482	3,520398966
99	112,4569702	80,50505142	3,772426605
100	118,7222214	84,57683894	4,071787516
101	124,6071396	88,87121938	4,294380442
102	131,6404877	93,48677317	4,615553792
103	138,6581421	98,4269165	4,940143331
104	145,5897369	103,6584447	5,231528219
105	152,8594208	109,1451396	5,486694845
106	160,1664276	114,929778	5,784638468
107	167,507431	120,9469559	6,017177836
108	174,7848816	127,1842789	6,237322998
109	182,4670563	133,6270447	6,442765808
110	188,8755341	140,1637838	6,536739095
111	195,254425	146,7931732	6,629389445
112	201,2498932	153,4532496	6,660076396
113	206,5246124	160,0909587	6,637709045
114	211,3590698	166,684432	6,593473307
115	215,7950439	173,1559535	6,471521505
116	219,6681976	179,4933573	6,33740387
117	223,1442566	185,5936086	6,100251261
118	226,4478455	191,4462555	5,852646891
119	229,6137848	197,0478587	5,60160319
120	238,2089539	202,7378276	5,689968872
121		205,7786418	3,040814282
122		208,7225811	2,943939293
123		211,5507228	2,828141628
124		214,1946924	2,64396968
125		216,7266083	2,531915838

126		219,1124064	2,385798136
127		221,3452206	2,232814153
128		223,4624503	2,117229734
129		225,4796804	2,017230079
130		227,4166077	1,936927287
131		229,3537102	1,937102509
132		231,423528	2,069817861
133		233,9113693	2,487841288
134		238,2089539	4,297584534

Samsung A16 4 Mei			
Frame ke-	Intensitas_Asli	Average 15	Gradien
1	48,46232605		
2	49,02603149		
3	48,76587677		
4	49,40220642		
5	49,01938248		
6	48,85977173		
7	48,49078369		
8	48,41307831		
9	48,21968079		
10	48,58832932		
11	42,6436348		
12	48,53260422		
13	48,87000275		
14	48,45618057		
15	48,49682617	48,28311437	
16	48,4692688	48,28357722	0,00046285
17	48,09110641	48,22124888	-0,062328339
18	44,15984726	47,91418025	-0,307068634
19	48,29143143	47,84012858	-0,074051666

20	47,61196518	47,74630076	-0,09382782
21	48,07410431	47,69392293	-0,052377828
22	47,88983536	47,65385971	-0,040063222
23	48,15925217	47,63693797	-0,016921743
24	48,63523483	47,66464157	0,027703603
25	48,82255173	47,6802564	0,015614827
26	49,28653336	48,1231163	0,442859904
27	45,20793915	47,90147196	-0,221644338
28	43,9595108	47,57410583	-0,32736613
29	48,91721344	47,60484136	0,030735524
30	48,9731636	47,63659719	0,031755829
31	49,46305847	47,70284983	0,066252645
32	49,46957397	47,79474767	0,091897837
33	49,39867401	48,14400279	0,349255117
34	49,4009819	48,21797282	0,073970032
35	49,62754059	48,35234451	0,134371694
36	49,69584656	48,46046066	0,10811615
37	50,47888184	48,63306376	0,172603099
38	50,39086533	48,78183797	0,148774211
39	50,36538696	48,89718145	0,115343475
40	44,46827698	48,60689646	-0,290284983
41	50,10188675	48,66125336	0,054356893
42	50,32051468	49,00209173	0,340838369
43	46,07398605	49,14305674	0,140965017
44	41,41664886	48,6430191	-0,500037638
45	48,67787933	48,62333349	-0,019685618
46	48,93796158	48,58832703	-0,03500646
47	50,67225266	48,66850561	0,080178579
48	50,35970688	48,73257446	0,064068858
49	50,9253273	48,83419749	0,101623027
50	50,1271553	48,86750514	0,033307648
51	51,02862167	48,95635681	0,088851674
52	48,8895874	48,85040385	-0,105952962

53	44,05666351	48,42812373	-0,422280121
54	50,87723541	48,46224696	0,03412323
55	49,39062881	48,79040375	0,328156789
56	49,55094147	48,75367406	-0,036729685
57	49,65950394	48,70960668	-0,044067383
58	50,29201126	48,99080836	0,281201681
59	52,62757492	49,73820343	0,74739507
60	50,04893494	49,82960714	0,091403707
61	50,18561554	49,91278407	0,083176931
62	50,29638672	49,88772634	-0,025057729
63	50,72563553	49,91212158	0,024395243
64	49,79656982	49,83687108	-0,075250498
65	50,40254974	49,85523071	0,018359629
66	50,6521492	49,83013255	-0,025098165
67	50,14992523	49,91415507	0,084022522
68	50,88285065	50,36923421	0,455079142
69	54,6014328	50,61751404	0,248279826
70	53,69433594	50,90442785	0,286913808
71	52,40800476	51,09489873	0,190470886
72	53,72901154	51,36619924	0,271300507
73	46,21858978	51,09463781	-0,271561432
74	54,55780792	51,22332001	0,1286822
75	56,93559647	51,68243078	0,459110769
76	40,41449356	51,03102264	-0,651408132
77	56,27278137	51,42944895	0,39842631
78	57,31432343	51,86869481	0,43924586
79	60,74435806	52,59854736	0,729852549
80	58,02588272	53,10676956	0,508222198
81	63,80732346	53,98378118	0,877011617
82	60,16815948	54,65166346	0,667882284
83	57,3858757	55,08519847	0,433535004
84	58,12168121	55,31988169	0,234683228
85	59,59500885	55,71325989	0,393378194

86	53,68759155	55,79856567	0,085305786
87	73,11627197	57,0910497	1,292484029
88	74,40241241	58,96997121	1,878921509
89	76,64169312	60,44223022	1,472259013
90	80,78645325	62,03228734	1,590057119
91	83,61082458	64,91204274	2,879755402
92	87,43408966	66,9894633	2,077420553
93	86,63400269	68,94410858	1,954645284
94	92,52021027	71,06249873	2,118390147
95	95,60956573	73,5680776	2,505578868
96	99,51372528	75,94850438	2,380426788
97	103,0676346	78,80846939	2,859965007
98	106,7869492	82,10187429	3,293404897
99	112,0085831	85,69433441	3,592460124
100	119,0740128	89,65960134	3,965266927
101	124,6197052	94,38840892	4,728807576
102	127,599678	98,02063599	3,632227071
103	135,4031982	102,087355	4,066719055
104	141,1766815	106,3896876	4,30233256
105	148,0576477	110,8744339	4,484746297
106	155,4798279	115,6657008	4,791266886
107	162,9461365	120,6998372	5,034136454
108	170,348587	126,2808095	5,58097229
109	177,9414368	131,975558	5,694748433
110	185,3508148	137,9583079	5,982749939
111	193,040451	144,193423	6,235115051
112	200,4048004	150,6825673	6,489144389
113	207,9968262	157,4298925	6,747325134
114	212,6035309	164,1362223	6,706329854
115	219,1943512	170,8109116	6,674689229
116	224,0215759	177,4377029	6,626791382
117	230,5331116	184,2999318	6,862228902
118	237,0946655	191,079363	6,779431152

119	243,080307	197,872938	6,793575033
120	238,2089539	203,8830251	6,010087077
121		207,3403963	3,45737123
122		210,7553394	3,414943066
123		214,1225688	3,367229364
124		217,4117626	3,289193818
125		220,6178574	3,206094777
126		223,6820136	3,064156257
127		226,5916653	2,90965165
128		229,2480709	2,656405585
129		232,0221608	2,774089995
130		234,5877228	2,56556193
131		237,2292595	2,641536713
132		239,4613088	2,232049306
133		240,6446304	1,183321635
134		238,2089539	-2,435676575

Lampiran 6:*Moving Average 5 Mei*

X-T30 5 Mei			
Frame ke-	Intensitas_Asli	Average 15	Gradien
1	50,93266296		
2	46,38187027		
3	42,54914474		
4	42,57432556		
5	41,87050247		
6	41,92261887		
7	42,04339218		
8	42,27576828		
9	41,45141983		
10	41,69508743		
11	41,58766556		
12	41,2549057		
13	40,8272934		
14	40,59220886		
15	40,2763176	42,54901225	
16	39,80415726	41,80711187	-0,74190038
17	39,11474991	41,32263718	-0,484474691
18	37,62585449	40,99441783	-0,32821935
19	37,04276276	40,62564697	-0,368770854
20	36,60250092	40,27444687	-0,351200104
21	36,38503647	39,90527471	-0,36917216
22	35,91003036	39,49638392	-0,408890788
23	35,50274277	39,04484889	-0,451535034
24	35,0753212	38,61977564	-0,425073242
25	34,92374802	38,16835302	-0,451422628
26	34,52078247	37,69722748	-0,471125539

27	34,5881958	37,25278015	-0,444447327
28	34,15294266	36,80782344	-0,444956716
29	33,96376801	36,36592738	-0,441896057
30	33,21330261	35,89505971	-0,470867666
31	32,88438797	35,43374176	-0,461317952
32	33,40031433	35,05277939	-0,380962372
33	34,16083145	34,82177785	-0,231001536
34	34,37733841	34,6440829	-0,177694956
35	35,02030945	34,53860346	-0,105479431
36	35,5884819	34,48549983	-0,053103638
37	36,10785294	34,498688	0,013188171
38	36,44674683	34,5616216	0,062933604
39	37,49445343	34,72289708	0,161275482
40	38,33635712	34,95040436	0,227507273
41	39,00727463	35,24950384	0,299099477
42	39,78448486	35,59592311	0,346419271
43	40,38827896	36,01161219	0,415689087
44	40,88999939	36,47336095	0,461748759
45	40,97988129	36,99113286	0,517771912
46	40,69540405	37,51186727	0,520734406
47	40,20900726	37,96578013	0,453912862
48	39,09344101	38,29462077	0,328840637
49	38,31067657	38,55684331	0,262222544
50	38,33961487	38,77813034	0,221287028
51	38,49485016	38,97188822	0,193757884
52	38,61731339	39,13918559	0,167297363
53	38,42251587	39,27090352	0,131717936
54	39,67542648	39,41630173	0,145398204
55	40,08488464	39,53287023	0,116568502
56	40,55376816	39,6359698	0,103099569
57	42,0851326	39,78934631	0,153376516
58	42,77331161	39,94834849	0,159002177
59	43,74327087	40,13856659	0,190218099

60	44,28681183	40,35902863	0,220462036
61	45,17340088	40,65756175	0,298533122
62	45,52485275	41,01195145	0,354389699
63	46,30361176	41,4926295	0,48067805
64	46,49319839	42,03813095	0,545501455
65	46,85655594	42,60592702	0,567796071
66	46,83461761	43,16191152	0,555984497
67	46,8748703	43,71241531	0,550503794
68	46,79786682	44,27077204	0,55835673
69	47,36876678	44,7836614	0,512889353
70	47,84802628	45,30120417	0,517542775
71	48,02772903	45,79946823	0,498264058
72	48,44218063	46,22327143	0,423803202
73	48,32443237	46,59334615	0,370074717
74	49,02325821	46,94534531	0,351999156
75	49,75978088	47,31020991	0,364864604
76	51,18125916	47,7107338	0,400523885
77	52,26360321	48,15998383	0,449250031
78	55,0836525	48,74531988	0,585336049
79	57,94399643	49,50870641	0,763386536
80	61,44566345	50,48131358	0,972607168
81	64,58607483	51,66474406	1,183430481
82	67,25708008	53,02355804	1,358813985
83	70,06088257	54,57442576	1,550867716
84	71,98694611	56,21563772	1,641211955
85	73,59776306	57,93228683	1,716649119
86	74,82737732	59,71893005	1,786643219
87	76,54417419	61,59239629	1,873466237
88	77,14759064	63,51394018	1,921543884
89	78,31373596	65,46663869	1,952698517
90	79,10094452	67,42271627	1,956077576
91	80,60060883	69,38400625	1,961289978
92	82,27915192	71,38504283	2,00103658

93	84,85732269	73,36995417	1,984911346
94	87,73548889	75,35605367	1,986099497
95	89,94868469	77,25625509	1,900201416
96	92,89111328	79,14325765	1,887002563
97	95,36786652	81,01731008	1,874052429
98	97,21192932	82,82737986	1,810069784
99	99,09292603	84,63444519	1,807065328
100	101,6438293	86,50418294	1,869737752
101	103,6497726	88,42567596	1,921493022
102	107,2724609	90,47422841	2,04855245
103	111,6135101	92,77195638	2,297727966
104	117,3685455	95,37561035	2,603653971
105	126,0854645	98,50791168	3,132301331
106	135,4391785	102,1638163	3,655904643
107	144,5534668	106,3154373	4,151620992
108	152,8239441	110,8465454	4,531108093
109	157,6711578	115,5089233	4,66237793
110	160,2964172	120,1987722	4,689848836
111	161,6433411	124,782254	4,583481852
112	162,638504	129,2669632	4,484709167
113	165,748291	133,836054	4,56909078
114	171,2546082	138,6468328	4,810778809
115	217,1048889	146,3442368	7,697403971
116	220,700592	154,1476247	7,80338796
117	224,5081482	161,9633372	7,815712484
118	229,770874	169,8404948	7,877157593
119	234,5944977	177,6555583	7,815063477
120	238,2089539	185,1304576	7,474899292
121		188,6798346	3,549377078
122		192,0741706	3,394335988
123		195,3450228	3,270852211
124		198,7699197	3,424896818
125		202,6172699	3,847350242

126		207,1699287	4,552658759
127		212,7363567	5,566428079
128		219,4489376	6,712580817
129		227,4813258	8,032388233
130		229,5566132	2,075287374
131		231,7706184	2,21400528
132		234,1914419	2,420823415
133		236,4017258	2,210283915
134		238,2089539	1,807228088

Samsung A16 5 Mei			
Frame ke-	Intensitas_Asli	Average 15	Gradien
1	49,40776825		
2	48,69750595		
3	46,36883926		
4	47,61680603		
5	46,27836609		
6	47,35609436		
7	46,35741043		
8	42,52883148		
9	45,95409775		
10	45,16242599		
11	45,14509583		
12	43,65675354		
13	39,816082		
14	41,52016068		
15	41,66956711	45,16905365	
16	41,53954315	44,64450531	-0,52454834
17	40,08745575	44,07050196	-0,574003347
18	39,83132553	43,63466771	-0,435834249
19	40,03622437	43,1292956	-0,505372111

20	40,09352493	42,71697286	-0,412322744
21	36,28075409	41,97861684	-0,738356018
22	36,67297363	41,33298772	-0,64562912
23	38,25988007	41,04839096	-0,284596761
24	37,27931595	40,47007217	-0,578318787
25	35,67709732	39,83771693	-0,632355245
26	34,5499115	39,13137131	-0,706345622
27	35,89223862	38,61373698	-0,517634328
28	38,46805191	38,52386831	-0,089868673
29	39,89582443	38,41557922	-0,108289083
30	37,23165894	38,11971868	-0,295860545
31	37,52710342	37,8522227	-0,267495982
32	38,30524063	37,73340836	-0,118814341
33	39,88130951	37,73674062	0,003332265
34	39,95856476	37,73156331	-0,005177307
35	40,90085983	37,78538564	0,053822327
36	44,63683701	38,34245783	0,557072194
37	44,25485229	38,84791641	0,505458577
38	42,51179886	39,13137767	0,283461253
39	42,7757988	39,49780986	0,36643219
40	42,63791656	39,96186447	0,464054616
41	42,9575119	40,52237116	0,560506694
42	43,43647003	41,02531993	0,502948761
43	42,42839813	41,28934301	0,264023081
44	43,5704422	41,53431753	0,244974518
45	39,73014069	41,70088298	0,16656545
46	40,01217651	41,86655451	0,165671539
47	39,50996399	41,94686941	0,080314891
48	39,83919907	41,94406204	-0,002807363
49	41,72434616	42,0617808	0,11771876
50	42,06255341	42,13922704	0,077446238
51	42,77531052	42,01512527	-0,124101766
52	43,17604828	41,94320501	-0,071920268

53	45,06603241	42,11348724	0,170282237
54	45,53491592	42,29742839	0,183941142
55	45,98793411	42,52076289	0,223334503
56	46,79661179	42,77670288	0,255939992
57	47,18263626	43,0264473	0,249744415
58	46,90319443	43,32476705	0,298319753
59	47,72673416	43,60185318	0,277086131
60	48,61111145	44,1939181	0,592064921
61	48,74143219	44,77586848	0,581950378
62	48,90758514	45,40237656	0,626508077
63	49,1213913	46,02118937	0,618812815
64	49,82003021	46,56090164	0,53971227
65	49,24250793	47,03956528	0,478663635
66	54,61577988	47,8289299	0,789364624
67	48,96603394	48,21492894	0,385999044
68	55,84376526	48,93344447	0,718515523
69	55,85837173	49,62167486	0,688230387
70	51,21758652	49,97031835	0,348643494
71	52,84708786	50,37368342	0,403365072
72	54,78131485	50,88026199	0,506578573
73	65,21089172	52,10077515	1,220513153
74	68,17014313	53,46366908	1,362893931
75	70,16236115	54,90041885	1,436749776
76	72,81076813	56,50504125	1,604622396
77	73,67280579	58,15605596	1,651014709
78	74,665802	59,85901667	1,702960714
79	76,82328796	61,65923386	1,800217183
80	78,32093811	63,59779587	1,938562012
81	79,02697754	65,22520905	1,627413177
82	80,58939362	67,33343302	2,108223979
83	81,1672287	69,02166392	1,688230896
84	81,04949188	70,70107193	1,67940801
85	81,49295807	72,71943003	2,018358103

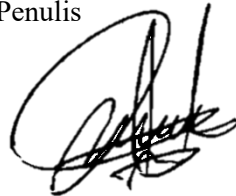
86	82,0460434	74,66602707	1,946597036
87	82,22712708	76,49574788	1,829720815
88	84,05749512	77,75218811	1,256440226
89	85,35984802	78,89816844	1,145980326
90	86,26881409	79,97193197	1,073763529
91	88,00585175	80,98493754	1,013005575
92	90,89097595	82,13281555	1,147878011
93	93,53871918	83,39101003	1,258194478
94	96,49264526	84,70230052	1,311290487
95	98,51446533	86,04853566	1,346235148
96	100,9478226	87,50992533	1,461389669
97	106,0162125	89,20504659	1,695121257
98	111,368782	91,21848348	2,01343689
99	117,6730118	93,66005147	2,441567993
100	125,2344666	96,57615204	2,916100566
101	133,3735809	99,99798787	3,421835836
102	141,7487793	103,966098	3,968110148
103	148,2714691	108,2470296	4,2809316
104	154,4862518	112,8554565	4,608426921
105	159,7832947	117,7564219	4,900965373
106	163,8034973	122,8095983	5,053176371
107	167,6811829	127,9289454	5,119347127
108	173,3761902	133,2514435	5,322498067
109	180,2493439	138,8352234	5,583779907
110	189,2884216	144,8868205	6,051597087
111	197,2108307	151,3043543	6,417533875
112	204,3655396	157,8609762	6,556621806
113	210,1838684	164,4486486	6,587672424
114	214,5160522	170,9048513	6,456202698
115	217,1048889	177,0295461	6,124694824
116	220,700592	182,8513468	5,821800741
117	224,5081482	188,3686381	5,51729126
118	229,770874	193,8019318	5,43329366

119	234,5944977	199,1424815	5,340549723
120	238,2089539	204,3708588	5,228377279
121		207,2685274	2,897668675
122		210,3137078	3,045180352
123		213,3918343	3,078126467
124		216,4047879	3,012953672
125		219,1164246	2,71163663
126		221,5503794	2,433954875
127		223,6984844	2,148104986
128		225,6291439	1,93065943
129		227,4813258	1,852181934
130		229,5566132	2,075287374
131		231,7706184	2,21400528
132		234,1914419	2,420823415
133		236,4017258	2,210283915
134		238,2089539	1,807228088

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama : Muammar Al-Khairi
Tempat Lahir : Langsa, Aceh
Tanggal Lahir : 18 Oktober 2000
Alamat Asli : Desa Alue Beurawe, Kec. Langsa Kota, Kota
Langsa
Alamat Domisili : Pondok Pesantren Life Skill Daarun Najaah,
Beringin, Ngaliyan.
Email : Khairial28@gmail.com
Instagram : @mmaral_khairi
Pendidikan Formal:
2006-2012 : MIN Paya Bujok, Langsa
2012-2015 : SMP Ummul Ayman, Samalanga
2015-2018 : MA Ummul Ayman, Samalanga
2018-2022 : S1 UIN Walisongo Semarang
Pendidikan Non Formal:
2012-2018 : YPI Ummul Ayman, Samalanga
2023-Sekarang : Pondok Pesantren Life Skill Daarun Najaah

Semarang, 15 Juni 2025
Penulis



Muammar Al-Khairi
NIM. 23020680030