

**ADOPSI DAN IMPLEMENTASI FILTER
CIRCULAR POLARIZER PADA TELESKOP
PENGAMAT HILAL**

TESIS

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



Oleh:

MUHAMMAD SAID FADHEL

NIM: 2202048003

**PROGRAM MAGISTER ILMU FALAK
PASCASARJANA
UIN WALISONGO SEMARANG
2023**

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama lengkap : **Muhammad Said Fadhel**

NIM : 2202048003

Judul Penelitian : **Adopsi dan Implementasi Filter *Circular Polarizer* pada Teleskop Pengamat Hilal.**

Program Studi : Ilmu Falak

menyatakan bahwa tesis yang berjudul:

ADOPSI DAN IMPLEMENTASI FILTER *CIRCULAR POLARIZER* PADA TELESKOP PENGAMAT HILAL

secara keseluruhan adalah hasil penelitian/karya saya sendiri, kecuali bagian tertentu yang dirujuk sumbernya.

Semarang, 14 Desember 2023
Pembuat Pernyataan,



Muhammad Said Fadhel
NIM: 2202048003



**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 : **Muhammad Said Fadhel**

NIM : 2202048003

Judul : **ADOPSI DAN IMPLEMENTASI FILTER CIRCULAR POLARIZER PADA
TELESKOP PENGAMAT HILAL**

telah dilakukan revisi sesuai saran dalam Sidang Ujian Tesis pada tanggal 27 Desember 2023 dan layak
dijadikan syarat memperoleh Gelar Magister dalam bidang Ilmu Falak.

NAMA

Dr. Mahsun, M.Ag.
Ketua Majelis

TANGGAL

3 Januari 2024

TANDA TANGAN

Dr. Ali Imron, S.H., M.Ag.
Sekretaris

3 Jan - 2024

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

3/01/2024

Dr. Amir Tairid, M.Ag.
Penguji 2

3/01 2024

NOTA PEMBIMBING

NOTA DINAS

Semarang, 18 Desember 2023

Kepada

Yth. Direktur Pascasarjana

UIN Walisongo

Di Semarang

Assalamu 'alaikumu wr. wb.

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

Nama : **Muhammad Said Fadhel**
NIM : 2202048003
Program Studi : Ilmu Falak
Judul : Adopsi dan Implementasi Filter *Circular Polarizer* pada Teleskop Pengamat Hilal.

Kami memandang bahwa Tesis tersebut sudah dapat diajukan kepada Pascasarjana Universitas Islam Negeri Walisongo untuk diujikan dalam Sidang Ujian Tesis.

Wassalamu 'alaikum wr. wb.

Pembimbing I



Dr. Ali Imron, M. Ag.

NIP. 197307302003121003

NOTA PEMBIMBING

NOTA DINAS

Semarang, 13 Desember 2023

Kepada
Yth. Direktur Pascasarjana
UIN Walisongo
Di Semarang

Assalamu'alaikumu wr. wb.

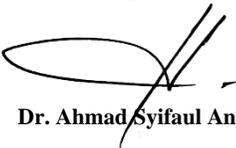
Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan, dan koreksi terhadap Tesis yang ditulis oleh:

Nama : **Muhammad Said Fadhel**
NIM : 2202048003
Program Studi : Ilmu Falak
Judul : Adopsi dan Implementasi Filter *Circular Polarizer* pada Teleskop Pengamat Hilal.

Kami memandang bahwa Tesis tersebut sudah dapat diajukan kepada Pascasarjana Universitas Islam Negeri Walisongo untuk diujikan dalam Sidang Ujian Tesis.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Pembimbing II



Dr. Ahmad Syifaul Anam, M.H.

NIP. 198001202003121001

MOTTO

﴿ اللَّهُ نُورُ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ مِثْلُ نُورِهِ كَمِشْكُوتٍ فِيهَا مِصْبَاحٌ الْمِصْبَاحُ فِي زُجَاجَةٍ الزُّجَاجَةُ كَأَنَّهَا كَوْكَبٌ
دُرِّيٌّ يُوقَدُ مِنْ شَجَرَةٍ مُبْرَكَةٍ زَيْتُونَةٍ لَا شَرْقِيَّةٍ وَلَا غَرْبِيَّةٍ يَكَادُ زَيْتُهَا يُضِيءُ وَلَوْ أَمْ تَمَسَّهُ نَارٌ نُورٌ عَلَى نُورٍ
يَهْدِي اللَّهُ لِنُورِهِ مَنْ يَشَاءُ وَيَضْرِبُ اللَّهُ الْأَمْثَالَ لِلنَّاسِ وَاللَّهُ بِكُلِّ شَيْءٍ عَلِيمٌ ¹

“Allah (pemberi) cahaya (pada) langit dan bumi. Perumpamaan cahaya-Nya seperti sebuah lubang (pada dinding) yang tidak tembus yang di dalamnya ada pelita besar. Pelita itu di dalam tabung kaca (dan) tabung kaca itu bagaikan bintang (yang berkilauan seperti) mutiara, yang dinyalakan dengan minyak dari pohon yang diberkahi, (yaitu) pohon zaitun yang tumbuh tidak di timur dan tidak pula di barat) yang minyaknya (saja) hampir-hampir menerangi walaupun tidak disentuh api. Cahaya di atas cahaya (berlapis-lapis). Allah memberi petunjuk menuju cahaya-Nya kepada orang yang Dia kehendaki. Allah membuat perumpamaan-perumpamaan bagi manusia. Allah Maha Mengetahui segala sesuatu.” (Q.S. An-Nūr [24]:35)

¹ Kementerian Agama Republik Indonesia, *Qur'an Kemenag*, (Jakarta: Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur'an, 2019), 354.

PERSEMBAHAN

Tesis ini merupakan wujud pengabdianku kepada Allah SWT., karena hanya kepada-Nya kami menyembah dan memohon pertolongan. Serta rasa terima kasih yang tak terhingga kepada:

Orang tua tercinta, Bapak Asnal dan Ibu Nuraini, yang telah mengasuh dan mendidik penulis menjadi individu yang berbakti terhadap agama dan bangsa. Doa serta semangat yang terus menerus diberikan sepanjang hidup sangat memotivasi penulis.

Kedua adikku, M. Irsyad dan Mekkatuz Zahra, yang senantiasa memberikan hiburan saat penulis merasa lelah.

Om Nal dan bibi Nur, yang selalu memberikan dukungan moral dan materi di tempat penulis merantau.

Teman tersayangku, Balkis, terima kasih atas setiap tawa, dukungan, dan cinta yang telah kau bagikan. Setiap momen terasa lebih berharga dan penuh makna. Semoga kita dapat terus bersama melalui setiap momen indah ke depannya.

Seluruh anggota keluarga besar, atas dukungan dan doa yang diberikan, semoga Allah SWT. membalas kebaikan yang telah kalian berikan.

ABSTRAK

Judul : **Adopsi dan Implementasi Filter *Circular Polarizer* pada Teleskop Pengamat Hilal**

Penulis : Muhammad Said Fadhel

NIM : 2202048003

Pengamatan hilal, melibatkan pengamatan objek langit dengan cahaya yang lemah dan gangguan syafaq. Tradisionalnya, mata telanjang atau teleskop sederhana digunakan untuk pengamatan ini. Namun, inovasi terbaru melibatkan penggunaan filter *circular polarizer* (CPL) dalam proses pengamatan hilal. Filter ini, yang umumnya digunakan dalam fotografi dan astronomi untuk mengurangi hamburan cahaya dan efek silau serta meningkatkan kontras dan detail citra, memiliki potensi signifikan dalam pengamatan hilal.

Penelitian ini dimaksudkan untuk menjawab pertanyaan: (1) Bagaimana implementasi dan efektivitas teleskop pengamat hilal dengan filter *circular polarizer* dalam pengendalian polarisasi cahaya saat pengamatan hilal?; dan (2) Bagaimana pandangan hukum Islam terhadap penguatan citra hilal menggunakan filter *circular polarizer*? Metode penelitian yang digunakan adalah kuantitatif dengan pendekatan eksplanatif di lapangan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa citra *Angle of Polarization* (AoP) tanpa filter CPL memiliki intensitas yang tinggi, sementara penggunaan filter CPL pada sudut 45° menunjukkan konsistensi signifikan setiap bulan. Analisis distribusi intensitas kecerahan citra AoP pada sudut 45° menunjukkan stabilitas pada rentang 90 - 120 *grayscale* setiap bulan, sedangkan AoP pada sudut 0° dan 90° mengalami fluktuasi yang lebih besar. Penggunaan filter ini tidak terindikasi manipulasi citra yang akan berdampak pada keabsahan kesaksian rukyat hilal.

Dari hasil penelitian, disimpulkan bahwa penggunaan filter CPL pada sudut 45° merupakan pilihan teknis yang layak dan konsisten untuk mengoptimalkan citra polarisasi pada pengamatan hilal. Implikasi ini

membuka peluang untuk pengembangan metode rukyat hilal yang lebih mutakhir dan akurat, serta memberikan wawasan lebih dalam dalam analisis cahaya *syafaq* selama senja (*gurūb*). Rekomendasi melibatkan penelitian lebih lanjut terkait variasi sudut polarisasi untuk memahami potensi keunggulan atau karakteristik khusus pada sudut tertentu, serta pengembangan metode identifikasi hilal berdasarkan sudut AoP 45° yang konsisten untuk meningkatkan keakuratan dan efisiensi proses analisis citra hilal.

ABSTRACT

Title : **Adoption and Implementation of Circular Polarizer Filter on Hilal Observer Telescope**

Author : Muhammad Said Fadhel

NIM : 2202048003

Observing the *hilāl* involves studying celestial objects under faint light conditions and the interference of twilight. Traditionally, naked eyes or simple telescopes have been employed for such observations. However, recent innovations include the utilization of circular polarizer filters (CPL) in the lunar observation process. These filters, commonly used in photography and astronomy to reduce light scattering, glare effects, and enhance image contrast and details, have significant potential in *hilāl* observation.

This research aims to address the following questions: (1) How is the implementation and effectiveness of telescopes equipped with circular polarizer filters in controlling light polarization during *hilal* observation?; and (2) What is the *fiqh* perspective on enhancing *hilāl* images using circular polarizer filters? The research method employed is quantitative with an explanatory field approach.

Research findings indicate that images of the Angle of Polarization (AoP) without CPL filters exhibit high intensity, whereas consistent use of CPL filters at a 45° angle demonstrates significant stability each month. Analysis of the brightness intensity distribution of AoP images at a 45° angle indicates stability within the range of 90 - 120 grayscale each month, while AoP at 0° and 90° experiences greater fluctuations. The use of these filters shows no indication of image manipulation that might compromise the validity of *hilāl* sighting testimonies.

From the research results, it is concluded that utilizing CPL filters at a 45° angle is a technically feasible and consistent option to optimize polarization images during *hilāl* observation. This implication opens

opportunities for the development of more advanced and accurate *hilāl* observation methods, providing deeper insights into the analysis of twilight (*gurūb*) light. Recommendations involve further research on variations in polarization angles to understand potential advantages or specific characteristics at particular angles, as well as the development of *hilāl* identification methods based on a consistent 45° AoP to enhance the accuracy and efficiency of image analysis processes.

الملخص

الموضوع : تبني وتنفيذ فيلتر *circular polarizer* على تلسكوب رصد الهلال

الباحث : محمد سيد فاضيل

رقم الطالب : ٢٢٠٢٠٤٨٠٠٣

مراقبة الهلال تنطوي على مراقبة الأجسام السماوية بالضوء الخافت وتداخل الشفق. في العادة، يُستخدم العين العارية أو التلسكوب البسيط لهذه المراقبة. ومع ذلك، تشمل الابتكارات الحديثة استخدام فيلتر *circular polarizer* (CPL) في عملية مراقبة الهلال. يُستخدم هذا الفلتر عادة في التصوير الفوتوغرافي وعلم الفلك لتقليل تشتت الضوء وتأثير الوهج، وزيادة التباين وتفاصيل الصورة، ولديه إمكانيات كبيرة في مراقبة الهلال.

تهدف هذه الدراسة إلى الإجابة على الأسئلة التالية: (1) كيفية تنفيذ وفعالية تلسكوب مراقب الهلال مع فيلتر *circular polarizer* في التحكم في استقطاب الضوء أثناء مراقبة الهلال؟ و (2) ما هو الرأي القانوني الإسلامي في تعزيز صورة الهلال باستخدام فيلتر *circular polarizer*؟ الأسلوب البحثي المستخدم هو الكمي مع نهج توضيحي في الميدان.

أظهرت نتائج البحث أن صور *angle of polarization* (AoP) بدون فيلتر CPL لديها شدة عالية، بينما استخدام فيلتر CPL عند زاوية 45 درجة يظهر استقرارًا ملحوظًا في كل شهر. أظهر تحليل توزيع شدة السطوع لصور AoP عند زاوية 45 درجة استقرارًا في نطاق 90 - 120 درجة رمادي كل شهر، بينما تعاني AoP عند زاوية 0 و 90 درجة من تقلبات أكبر. لم يظهر استخدام هذه الفلاتر أي إشارة إلى تلاعب الصور التي قد تؤثر على صحة شهادات رؤية الهلال.

من خلال نتائج البحث، يتم استنتاج أن استخدام فيلتر CPL عند زاوية 45 درجة هو خيار فني جدير وثابت لتحسين صور استقطاب الهلال أثناء المراقبة. تفتح هذه النتيجة أفقًا لتطوير أساليب أكثر تطورًا ودقة لمراقبة الهلال، وتقديم رؤى أعمق في تحليل ضوء الشفق (الغروب). تشمل التوصيات إجراء المزيد من البحوث حول تغيرات زوايا الاستقطاب لفهم الفوائد المحتملة أو الخصائص المحددة في زوايا معينة، وأيضًا تطوير أساليب تحديد الهلال استنادًا إلى زاوية AoP 45 درجة بشكل ثابت لتحسين دقة وكفاءة عمليات تحليل صور الهلال.

PEDOMAN TRANSLITERASI ARAB-LATIN

Pedoman transliterasi yang digunakan adalah Sistem Transliterasi Arab Latin Berdasarkan SKB Menteri Agama RI No.158/1987 dan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan No. 0543b/U/1987 tertanggal 22 Januari 1988.

A. Konsonan

Huruf Arab	Nama	Huruf Latin	Nama
أ	Alif	Tidak dilambangkan	Tidak dilambangkan
ب	Ba	B	Be
ت	Ta	T	Te
ث	Şa	ş	es (dengan titik di atas)
ج	Jim	J	Je
ح	Ĥa	ĥ	ha (dengan titik di bawah)
خ	Kha	Kh	ka dan ha
د	Dal	d	De
ذ	Żal	ż	Zet (dengan titik di atas)
ر	Ra	R	Er
ز	Zai	Z	Zet
س	Sin	S	Es
ش	Syin	Sy	es dan ye
ص	Şad	ş	es (dengan titik di bawah)
ض	Đad	đ	de (dengan titik di bawah)
ط	Ṭa	ṭ	te (dengan titik di bawah)

ظ	Za	z	zet (dengan titik di bawah)
ع	'ain	'	koma terbalik (di atas)
غ	Gain	G	Ge
ف	Fa	F	Ef
ق	Qaf	Q	Ki
ك	Kaf	K	Ka
ل	Lam	L	El
م	Mim	M	Em
ن	Nun	N	En
و	Wau	W	We
هـ	Ha	H	Ha
ء	Hamzah	'	apostroff
ي	Ya	Y	Ye

B. Vokal

1. Vokal Tunggal

Huruf Arab	Nama	Huruf Latin	Nama
ـَ	Fathah	a	a
ـِ	Kasrah	i	i
ـُ	Dammah	u	u

2. Vokal Rangkap

Huruf Arab	Nama	Huruf Latin	Nama
ـَـِـِ	Fathah dan ya	Ai	a dan u
ـَـِـِـِ	Fathah dan wau	Au	a dan u

Contoh:

- وَسَطَ *Wasat*
- تَعْدِيلُ *Ta'dil*
- مَيْلٌ *Mail*
- قَوْسٍ *Qous*

C. Maddah

Huruf Arab	Nama	Huruf Latin	Nama
أ...إ...ى...	Fathah dan alif atau ya	ā	a dan garis di atas
ى...ِ	Kasrah dan ya	ī	i dan garis di atas
و...ُ	Dammah dan wau	ū	u dan garis di atas

Contoh:

- اِجْتِمَاعٌ *Ijtimā'*
- اِخْتِلَافٌ *Ikhtilāf*
- غُرُوبٌ *Gurūb*

D. Ta' Marbutah

Jika kata terakhir dengan ta' marbutah diikuti oleh kata yang menggunakan kata sandang *al* serta bacaan kedua kata itu terpisah, maka ta' marbutah itu ditransliterasikan dengan “h”.

Contoh:

- رَوْضَةُ الْأَطْفَالِ *raudah al-atfāl/raudahtul atfāl*
- حِصَّةُ الْأَرْضِ *Hiṣṣah al-Arḍ/Hiṣṣatul al-Arḍ*
- طَلْحَةُ *talhah*

E. *Syaddah* (Tasydid)

Syaddah atau tasydid yang dalam tulisan Arab dilambangkan dengan sebuah tanda, tanda *syaddah* atau tanda tasydid, ditransliterasikan dengan huruf, yaitu huruf yang sama dengan huruf yang diberi tanda *syaddah* itu.

Contoh:

- خَاصَّةٌ *Khāṣṣah*
- الْبِرُّ *al-birr*

F. Kata Sandang

Baik diikuti oleh huruf *syamsiyah* maupun *qamariyah*, kata sandang ditulis terpisah dari kata yang mengikuti dan dihubungkan dengan tanpa sempang.

Contoh:

- الزَّمَانُ *az-zamanu*
- الْقَمَرُ *al-qamaru*
- الشَّمْسُ *asy-syamsu*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah wa al-syukru lillah. Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT., yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga penelitian ini dapat terselesaikan. *Uşalli wa usallim ‘ala Sayyidinā Muḥammad sayyid al-mursalīn*, selalu penulis tujukan untuk *Sayyidina* Muhammad, penghulu di antara para nabi, keluarga, dan sahabat yang mendampingi-Nya. Perannya yang utama memungkinkan umat manusia merasakan keberkahan ilmu pengetahuan dalam bidang agama dan sains secara menyeluruh. Oleh karena itu, sebagai ungkapan rasa syukur atas dedikasi dan usaha-Nya, penulis dengan semangat berkomitmen untuk memberikan kontribusi yang bermanfaat bagi kemajuan agama dan ilmu pengetahuan. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan motivasi dalam proses penelitian ini.

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi dan menganalisis adopsi serta implementasi filter *circular polarizer* pada teleskop pengamat hilal. Seiring dengan kemajuan teknologi, pengamatan hilal menjadi semakin signifikan dalam konteks keagamaan dan astronomi. Keberhasilan adopsi dan implementasi filter *circular polarizer* diharapkan dapat meningkatkan efisiensi serta kualitas rukyat hilal pada teleskop pengamat.

Penulis mengakui sepenuhnya bahwa dirinya adalah individu yang bersifat manusiawi, memiliki keterbatasan, tidak terlepas dari kesalahan,

dan butuh kritik konstruktif terhadap penelitian ini. Oleh karena itu, penelitian ini tidak dapat mencapai hasil optimal tanpa dukungan dari pihak lain. Sebagai hasilnya, penulis ingin menyampaikan ungkapan terima kasih yang mendalam kepada:

1. Kedua orang tua penulis, bapak Asnal dan ibu Nuraini, saudara penulis Irsyad dan Zahra, dan seluruh keluarga besar penulis atas segala doa, dukungan, dan motivasi.
2. Dr. Mohammad Arja Imroni, M.Ag. selaku Dekan Fakultas Syari'ah dan Hukum UIN Walisongo Semarang yang telah merestui topik penelitian ini dan memberikan fasilitas belajar dari awal hingga akhir.
3. Pembimbing I dan II. Dr. Ali Imron, M. Ag. dan Dr. Ahmad Syifaul Anam, M.H., yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penyusunan tesis ini.
4. Ketua dan Sekretaris Program Magister Ilmu Falak, Pengelola serta para Dosen Pengajar di lingkungan Fakultas Syari'ah dan Hukum Universitas Islam Walisongo Semarang, yang telah membekali berbagai pengetahuan sehingga penulis mampu menyelesaikan penulisan tesis.
5. Pengasuh Pondok Pesantren Tarbiyah Islamiyah Pasir. Alm. Buya Awiskarni Husein beserta anaknya Buya Dulyamani, Lc., yang memberikan arahan kepada penulis untuk menempuh pendidikan di Program Studi Ilmu Falak demi kemashlahatan umat.

6. Teman-teman Asisten Laboran Planetarium dan Observatorium UIN Walisongo Semarang yang telah berbagi pengalaman dan diskusi berbagai topik penelitian.
7. Seluruh teman-teman Pasca Ilmu Falak Angkatan 2022. Terima kasih telah membantu studi penulis. Setiap semester yang kalian berikan, selalu membuat kesan tersendiri dalam ingatan penulis.
8. Teman-teman daring di komunitas Dunia Teyvat yang selalu menanti penulis di *isekai* untuk diskusi berbagai topik. Meskipun trivia namun hal itu tetap bermanfaat bagi penulis. *Nothing is more important than waifu and husbu, even though it's META!!*

Semarang, 14 Desember 2023

Penulis



Muhammad Said Fadhel

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
PENGESAHAN	v
NOTA PEMBIMBING	vii
MOTTO	ix
PERSEMBAHAN	x
ABSTRAK	xi
PEDOMAN TRANSLITERASI ARAB-LATIN	xvii
KATA PENGANTAR	xxi
DAFTAR ISI	xxv
DAFTAR TABEL	xxvii
DAFTAR GAMBAR	xxviii
DAFTAR GRAFIK	xxix

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Rumusan Masalah	7
C. Tujuan dan Manfaat Penelitian	7
D. Kajian Pustaka	9
E. Rumusan Hipotesis	15
F. Metode Penelitian	16
G. Sistematika Pembahasan	19

BAB II TINJAUAN UMUM VISIBILITAS HILAL DAN POLARISASI CAHAYA

A. Visibilitas Hilal	23
B. Polarisasi Cahaya	53
C. Pemetaan Polarisasi Cahaya Atmosfer Senja oleh Cronin	75
BAB III PERBANDINGAN KARAKTERISTIK FISIS POLARISASI CITRA HILAL	
A. Filter Circular <i>Polarizer</i> (CPL)	86
B. Persiapan dan Proses Pengambilan Data	89
C. Variabilitas Citra Hilal yang Diperoleh	92
BAB IV EFEKTIVITAS FILTER <i>CIRCULAR POLARIZER</i> DALAM MEMPERKUAT CITRA HILAL	
A. Analisis Peningkatan Kontras	104
B. Analisis Inferensial Sudut Polarisasi Filter <i>Circular Polarizer</i> dan Kontras Hilal	132
C. Analisis Aspek Fikih Terhadap Implementasi Filter <i>Circular Polarizer</i> Pada Teleskop Pengamat Hilal	135
BAB V PENUTUP	
A. Kesimpulan	139
B. Saran	140
DAFTAR PUSTAKA	143
RIWAYAT HIDUP PENULIS	149

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	90
Tabel 3.2	93
Tabel 3.3	96
Tabel 3.4	99
Tabel 4.1	107
Tabel 4.2	110
Tabel 4.3	112
Tabel 4.4	114
Tabel 4.5	116
Tabel 4.6	119
Tabel 4.7	122
Tabel 4.8	124
Tabel 4.9	127
Tabel 4.10	129

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	56
Gambar 2.2	56
Gambar 2.3	57
Gambar 2.4	58
Gambar 2.5	59
Gambar 2.6	59
Gambar 2.7	60
Gambar 2.8	61
Gambar 2.9	63
Gambar 2.10	64
Gambar 2.11	64
Gambar 2.12	66
Gambar 2.13	67
Gambar 2.14	68
Gambar 2.15	69
Gambar 2.16	71
Gambar 2.17	72
Gambar 2.18	74
Gambar 2.19	77
Gambar 2.20	80
Gambar 2.21	82
Gambar 3.1	86
Gambar 3.2	88

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1	111
Grafik 4.2	115
Grafik 4.3	120
Grafik 4.4	126
Grafik 4.5	131

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Perjalanan riset *imkānur rukyah* oleh negara-negara MABIMS saat ini telah menghasilkan kriteria baru MABIMS. Melalui kriteria baru ini visibilitas hilal dipatok dengan minimal ketinggian Bulan adalah 3° dan elongasi Bulan $6,4^\circ$. Kriteria ini merevisi kriteria lama 2-3-8. Kriteria MABIMS mengalami perubahan karena dianggap bahwa kriteria 2-3-8 terlalu rendah. hilal sabit dengan ketinggian yang rendah tersebut sangat tipis dan sulit terlihat karena tidak mampu mengatasi cahaya senja. Secara global, tidak ada hilal yang dapat diamati dengan ketinggian 2° dan elongasi 3° , bahkan dengan menggunakan teleskop sekalipun. Batas optimal untuk keberhasilan rukyat bukan saat matahari terbenam, tetapi saat cahaya senja mulai meredup (*best time*).

Imkānur rukyah secara umum ditentukan oleh ketebalan hilal dan gangguan *syafaq* (cahaya senja). hilal yang lebih tebal akan terlihat dan mampu mengatasi cahaya senja. Demikian pula, jika elongasi lebih besar, hilal juga akan terlihat. Menurut Mohammad Odeh, batas minimal elongasi agar hilal terlihat adalah $6,4^\circ$. Data ini diperkuat oleh analisis *hisāb* selama ratusan tahun saat matahari terbenam di Banda Aceh dan Pelabuhan Ratu, yang menunjukkan bahwa elongasi $6,4^\circ$ menjadi syarat agar hilal sudah berada di atas ufuk pada saat matahari terbenam. Berdasarkan data rukyat,

kesaksian yang tidak diragukan lagi adalah ketika hilal sudah mencapai ketinggian minimal 3° .¹

Lebih lanjut, revisi ini berawal dari Rekomendasi Jakarta 2017 didasarkan pada simulasi empirik jangka panjang selama 180 tahun (1924-2103 M atau 1343-1526 H) dengan Markaz Banda Aceh dan Pelabuhan Ratu. Kemudian menyimpulkan bahwa terdapat pola jika nilai elongasi $6,4^{\circ}$ maka hilal selalu bernilai positif atau berada di atas ufuk. Selain itu, wilayah Indonesia barat memiliki beda waktu 6 jam dengan Samoa sebagai batas garis tanggal, yang berarti jika ketinggian hilal sudah mencapai 3° di wilayah Indonesia Barat, maka posisi hilal di seluruh dunia secara umum sudah berada di atas ufuk. Dengan kata lain simulasi menunjukkan hasil yang lebih realistis dan optimal untuk acuan pengambilan dasar hukum penentuan awal bulan hijriah di Indonesia.²

Jika ditelaah dalam aspek fikih, terdapat nilai yang tidak terakomodir positif oleh kriteria ini. Terkhususnya, ulama-ulama pengamal *imkānūr rukyah* berpandangan bahwa kriteria minimal *imkānūr rukyah* secara fikih adalah *irfa'* $>2^{\circ}$ dan elongasi $>3,6^{\circ}$.³ Nilai tersebut adalah antara 2° hingga 3° atau nilai yang berstatus “abu-abu”. Memang benar, ulama-ulama tersebut menjelaskan

¹ Nuril Farida Maratus, “Implementasi Neo Visibilitas Hilal MABIMS di Indonesia.” *Ahkam* 10, (2022): 242.

² Novi Arijatul Mufidoh, “Problematika Implementasi Rekomendasi Jakarta 2017 tentang Penyatuan Kalender Global Hijriah Tunggal di Indonesia”, (Tesis, UIN Walisongo, 2021), 75.

³ Muhammad Hasan, “Aplikasi Imkan al-Ru’yah Perspektif Fikih dan Astronomi di Indonesia”, *Al-Tahrir* 13, (2013): 379.

demikian karena pada masanya kondisi langit belum tercemar oleh berbagai polusi dan sedangkan kriteria baru ini mempertimbangkan berbagai faktor langit masa sekarang sehingga menaikkan nilai visibilitas hilal.

Di sisi lain, astrofotografi telah mengalami kemajuan metode dalam mengambil citra benda langit. Berbagai macam instrumen dan teknik digunakan untuk mengakomodir citra yang dihasilkan. Berbagai penggunaan instrumen yang berkembang saat ini adalah penambahan *baffle* dan filter yang ditambahkan pada teleskop. Penggunaan *software image processing*⁴ setelah citra didapatkan. Semua itu digunakan untuk memperkuat citra.⁵

Usaha penggunaan instrumen tambahan telah dilakukan oleh Mahasena. Guna meningkatkan kontras, teleskop dipasang CCD dan beberapa citra yang telah dia dapatkan ditumpuk (*stacking*) sehingga meningkatkan kontras. Namun begitu peningkatan belum mencapai hal yang diharapkan. Penambahan *baffle* dia lakukan untuk peningkatan lanjut. Keefektifan *baffle* mencegah hamburan cahaya yang datang dari Matahari dan atmosfer masuk pada lensa objektif.⁶

Penulis menilai bahwa usaha peningkatan kontras yang dilakukan pada penelitian Mahasena memerlukan aspek teknis yang

⁴ *Image processing* adalah pemrosesan citra secara digital.

⁵ Muhammad Dimas Firdaus, "Study of Hilal's Contrast Using Infrared Filter in Daylight Hilal Observation", *Proceeding International Seminar on Islamic Studies Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara* 4 (2023): 615.

⁶ P. Mahasena et al., "CCD Observation of Daylight Crescent Moon at Bosscha Observatory", *Journal of Physics: IOP Publishing* 1127 (2019): 2-3, diakses 08 Agustus 2023, doi: 10.1088/1742-6596/1127/1/012049.

rumit dan memerlukan keahlian khusus. Demi mendapatkan metode yang lebih sederhana, namun memiliki dampak penguatan kontras yang setara, dan juga terkait “nilai abu-abu” yang telah disebutkan, penulis tertarik untuk menelusuri teknik penguatan citra lain yang belum pernah dimanfaatkan dalam kegiatan rukyat hilal. Secara singkat penulis sampaikan di sini, terdapat teknik penguatan citra lain dengan memanfaatkan polarisasi cahaya. Dalam dunia fotografi, teknik ini diterapkan pada filter *circular polarizer*⁷ guna meredam hamburan cahaya (cahaya tidak terpolarisasi) baik dari permukaan Bumi maupun atmosfer. Penelitian tentang kontras hilal dengan penggunaan filter teleskop adalah topik menarik yang dapat memberikan wawasan tentang bagaimana filter optik mempengaruhi kemampuan perukyat dalam mendeteksi dan mengamati hilal dengan lebih baik.

Polarisasi cahaya adalah sifat khusus dari gelombang elektromagnetik, termasuk cahaya, yang menggambarkan arah getarannya saat bergerak. Cahaya merupakan gelombang elektromagnetik yang terdiri dari medan listrik dan medan magnet yang bergetar secara simultan dan bergerak tegak lurus satu sama lain

⁷ Filter *circular polarizer* atau biasa disebut filter CPL adalah Filter polarisasi sirkular yang memiliki bezel luar yang independen dari bingkai filter berulir yang memungkinkan efek polarisasi filter disesuaikan secara sirkular ke titik polarisasi minimum atau maksimum. Pada sudut polarisasi maksimum, filter polarisasi sirkular mengurangi sebagian besar pantulan langsung dari air dan permukaan reflektif lainnya seperti daun basah, salju, batu, atau pasir gurun. Hasilnya adalah gambar yang lebih jernih dengan saturasi warna dan definisi yang ditingkatkan.

serta searah dengan arah propagasinya. Dalam konteks polarisasi cahaya, arah getaran medan listrik menjadi sangat penting. Cahaya dianggap terpolarisasi linier jika medan listrik bergetar dalam satu arah tertentu, membentuk garis lurus saat bergerak. Sebaliknya, jika medan listrik bergetar dalam semua arah yang saling tegak lurus, cahaya dianggap tidak terpolarisasi atau terpolarisasi acak.

Polarisasi cahaya sering diilustrasikan dengan analogi gerakan gelombang tali. Jika dibayangkan sebuah gelombang tali yang berayun di atas bidang horizontal, getaran tali yang sejajar dengan bidang tersebut akan mewakili polarisasi linier. Namun, jika gelombang tali diayunkan dalam semua arah yang mungkin di atas bidang, hal itu akan mewakili polarisasi acak atau tidak terpolarisasi.

Polarisasi cahaya memiliki berbagai aplikasi dalam ilmu fisika, teknologi, fotografi, dan astronomi. Salah satu contoh penerapan polarisasi cahaya adalah penggunaan filter CPL dalam optika untuk mengendalikan arah polarisasi cahaya. Filter CPL memungkinkan cahaya yang bergetar dalam satu arah tertentu untuk melewati sementara memblokir cahaya dengan polarisasi lain. Ini sering digunakan dalam kamera, kacamata hitam, dan banyak aplikasi lainnya.

Tradisionalnya, pengamatan hilal dilakukan dengan mata telanjang atau menggunakan teleskop sederhana. Namun, penggunaan filter CPL telah menjadi sebuah inovasi yang potensial dalam proses ini. Filter ini telah banyak digunakan dalam fotografi dan astronomi untuk mengurangi refleksi dan efek silau serta

meningkatkan kontras dan detail gambar. Dalam konteks pengamatan hilal, penggunaan filter ini memiliki beberapa keunggulan potensial yang perlu dieksplorasi.

Filter CPL dan pemrosesan citra digital (*image processing*) memiliki peran yang berbeda dalam pengamatan rukyat hilal. Masing-masing memiliki keunggulan dan keterbatasannya sendiri. Perbandingan keunggulan filter CPL dibandingkan dengan pemrosesan citra digital dalam konteks rukyat hilal adalah; 1) Filter CPL relatif mudah digunakan. Pemasangan hanya perlu dilakukan pada teleskop atau kamera dan memutar filter untuk mengatur efek polarisasi sesuai kebutuhan. Tidak memerlukan perangkat lunak atau pemahaman teknis yang mendalam; 2) *Real-time observation* yakni penggunaan filter CPL memungkinkan pengamat untuk melihat perubahan efek polarisasi secara *real-time*. Ini memungkinkan pengamat untuk mengatur filter dengan cepat sesuai dengan kondisi pencahayaan saat itu; 3) Kinerja stabil karena filter CPL biasanya tidak terpengaruh oleh gangguan sinyal atau perubahan perangkat keras. Ini menjadikannya pilihan yang stabil dan dapat diandalkan untuk pengamatan hilal; 4) Filter CPL secara langsung meningkatkan kontras gambar dengan mengurangi silau dan refleksi cahaya, sehingga membuat hilal lebih terlihat tanpa perlu pemrosesan tambahan.

Filter CPL memungkinkan cahaya dengan polarisasi linier untuk lewat, sedangkan cahaya dengan polarisasi acak atau tidak terpolarisasi akan diblokir. Dengan menggunakan polarizer,

instrumen dapat mengurangi pantulan cahaya dan meningkatkan kontras hilal yang diamati melalui teleskop. Dalam konteks kegiatan rukyat hilal, pengamat melibatkan pengamatan objek langit yang cahayanya lemah, terutama ketika hilal baru muncul setelah bulan baru. Oleh karena itu, penggunaan polarizer dapat membantu dalam meningkatkan detail dan ketajaman gambar hilal, serta mengurangi gangguan dari hamburan cahaya pada atmosfer Bumi.

Di samping keunggulan yang ada, penggunaan filter CPL dalam pengamatan hilal juga dapat memiliki tantangan, seperti pengaturan yang tepat dan penyesuaian sudut polarisasi sesuai dengan situasi pencahayaan yang berubah. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan serta mengidentifikasi metode terbaik untuk adopsi dan implementasi serta efektivitas penggunaan filter ini pada teleskop pengamat hilal.

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana implementasi dan efektivitas teleskop pengamat hilal dengan filter *circular polarizer* dalam pengendalian polarisasi cahaya saat pengamatan hilal?
2. Bagaimana pandangan hukum Islam terhadap penguatan citra hilal menggunakan filter *circular polarizer*?

C. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji implementasi dan efektivitas teleskop pengamat hilal yang dilengkapi dengan filter

circular polarizer dalam mengendalikan polarisasi cahaya selama pengamatan hilal. Fokus utama adalah untuk mengevaluasi sejauh mana filter tersebut dapat meningkatkan ketepatan dan kejelasan citra hilal selama proses pengamatan. Melalui eksperimen dan analisis teknis, penelitian ini berusaha memberikan wawasan mendalam terkait efektivitas penggunaan teknologi tersebut dalam meningkatkan kualitas pengamatan hilal.

Selain itu, tujuan penelitian ini juga mencakup aspek pandangan hukum Islam terhadap penguatan citra hilal menggunakan filter *circular polarizer*. Dengan merinci pandangan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang apakah penguatan citra hilal melalui teknologi ini dapat dianggap sah dan sesuai dengan kaidah-kaidah fikih dalam Islam. Melalui pendekatan ini, penelitian berupaya menjembatani aspek teknis dan normatif, serta memberikan kontribusi pada diskusi lebih lanjut tentang penggunaan teknologi dalam konteks kesaksian rukyat hilal.

Adapun manfaat penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi yang komprehensif mengenai performa teknik polarisasi cahaya terhadap peningkatan kontras hilal. Pada tataran akademis penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi akademis kepada pegiat falak maupun lembaga terkait yang hendak melaksanakan rukyat hilal. Penelitian ini juga diharapkan memberikan sumbangan teoritik terhadap pengembangan ilmu falak yang berkaitan dengan teknik rukyat hilal.

D. Kajian Pustaka

Dalam upaya mendalami topik penelitian ini, penulis menyusun kajian pustaka. Melalui telaah dari berbagai sumber penelitian ilmiah terkait yang diharapkan dapat menggambarkan pandangan yang komprehensif mengenai landasan teoritis dan perkembangan terbaru dalam ranah penelitian ini. Dengan demikian, kajian pustaka ini memberikan landasan kokoh bagi peneliti lebih lanjut dan berkontribusi terhadap bidang ilmu Falak.

Penelitian pertama adalah jurnal ilmiah dengan judul “*Celestial Polarization Patterns During Twilight*” yang ditulis oleh Thomas W. Cronin. Hasil penelitian ini menjelaskan bahwa objek buatan dan alami di langit selama senja—seperti awan, gumpalan kabut, satelit, balon terbang tinggi, atau pesawat udara—dapat sulit dideteksi, ditemukan, dan diidentifikasi. Polaritas dari objek-objek tersebut atau kondisi atmosfer hampir selalu berbeda dari cahaya langit di sekitarnya (bahkan untuk objek-objek di atas atmosfer). Seringkali membuatnya agar lebih terlihat saat menggunakan citra polarisasi. Objek yang berada pada ketinggian rendah hingga sedang yang memiliki kecerahan yang mirip dengan cahaya latar langit sangat cocok untuk dideteksi menggunakan citra polarisasi, sementara objek pada ketinggian yang lebih tinggi cenderung lebih sulit dibedakan menggunakan teknik ini karena polarisasi cahaya langit dihasilkan di bawah mereka. Lebih lanjut, penelitian ini memberikan gambaran antara citra tidak terpolarisasi dan citra polarisasi. Analisis menunjukkan bahwa kedua citra memiliki

perbedaan yang signifikan. Kedua citra mengilustrasikan sebagian langit sebelum fajar yang berpusat pada zenit. Sebuah bintang dan sebuah gumpalan awan kabut terlihat di kedua panel, tetapi citra polarisasi menunjukkan keduanya dengan lebih jelas, dan bercak-bercak kabut lainnya terlihat sebagai bercak yang mengurangi derajat polarisasi cahaya langit yang terlihat di seluruh citra polarisasi. Keunggulan lain dari citra polarisasi adalah bahwa gradasi kecerahan yang terlihat di seluruh citra tidak terpolarisasi (disebabkan oleh pengaruh Matahari di bawah horizon) dihilangkan ketika citra dianalisis hanya berdasarkan polarisasi.⁸

Penulisan laporan hasil penelitian dalam bentuk jurnal ilmiah oleh Cronin berkontribusi mendorong penelitian lanjutan. Tesis ini menghadirkan karakteristik polarisasi cahaya pada sekitar atmosfer ufuk untuk memperkuat kontras citra hilal. Pengambilan data akan berlandaskan pada konsep polarisasi cahaya atmosfer pada penelitian ini.

Penelitian kedua adalah jurnal ilmiah dengan judul “Pengamatan Hilal Siang Menggunakan Metode Olan Filter Warna pada *Software* Iris” yang ditulis oleh Hariyadi Putraga. Penelitian ini menjelaskan bahwa olahan berbagai filter Warna pada *software* Iris menghasilkan citra hilal siang hari dengan kontras yang berbeda dengan latar belakangnya. Ini ditunjukkan dengan adanya

⁸ Thomas W. Cronin et al., “Celestial polarization patterns during twilight”, *Applied Optics: Optica Publishing Group* 45 (2006): 5587, diakses 04 Agustus 2023, doi: <https://doi.org/10.1364/AO.45.005582>.

perubahan warna sehingga dapat dipastikan objek yang ditangkap memantulkan cahaya Matahari dan bukan awan. Kelebihan dari metode ini adalah dapat memberikan perbedaan secara mutlak antara langit, awan dan hilal pada gambar sehingga dapat digunakan sebagai media verifikasi keterlihatan hilal dalam penelitian. Adapun kekurangan dari metode ini adalah dibutuhkan gambar yang diperkirakan memang gambar hilal yang didapatkan dalam pengambilan gambar yang banyak namun saat diolah tidak menunjukkan keberadaan hilal. Pada kasus tertentu kontras hilal (dugaan) akan sangat rendah karena tertutup awan dan akan menyulitkan pemunculan perbedaan warna.⁹

Kekurangan pada penelitian Putraga dapat ditutupi dengan teknik pengendalian polarisasi cahaya. Tesis ini akan menunjukkan bahwa hanya cukup menentukan sudut polarisasi pada filter, maka akan meningkatkan pemunculan perbedaan warna pada citra. Proses itu tidak memerlukan pengambilan dan penumpukan beberapa gambar.

Penelitian ketiga adalah jurnal ilmiah dengan judul “*CCD Observation of Daylight Crescent Moon at Bosscha Observatory*” yang ditulis oleh P. Mahasena. Penelitian ini menjelaskan proses mengambil citra hilal siang hari melalui CCD dan mounting yang

⁹ Hariyadi Putraga dkk., “Pengamatan Hilal Siang Menggunakan Metode Olahan Filter Warna pada *Software Iris*”, *Spektra: Jurnal Kajian Pendidikan Sains* 7 (2021): 55, diakses 04 Agustus 2023, doi: <http://dx.doi.org/10.32699/spektra.v7i1.187>.

telah diatur untuk mengikuti asensio rekta dan deklinasi Bulan. Observasi menghasilkan citra hilal mulai pada pukul 07:30 LT hingga 18:10 LT dengan iluminasi dan elongasi mulai dari 0,2% dan $05^{\circ} 46'$ hingga 0,7% dan $09^{\circ} 44'$. Pada keadaan langit cukup biru, observasi tidak menemukan peningkatan kontras yang signifikan. Hal ini karena hamburan cahaya yang tinggi mengakibatkan banyaknya cahaya yang masuk ke lensa objektif. Guna meningkatkan kontras, teleskop dipasang CCD dan beberapa citra yang diperoleh kemudian ditumpuk (*stacking*) sehingga meningkatkan kontras. Namun begitu peningkatan belum mencapai hal yang diharapkan. Penambahan *baffle* dilakukan untuk peningkatan lanjut. Keefektifan *baffle* mencegah hamburan cahaya yang datang dari Matahari dan atmosfer masuk pada lensa objektif.¹⁰

Penelitian Mahasena telah menggunakan salah satu teknik penguatan citra. Hasil penelitian ini masih perlu dikaji lebih lanjut karena kerumitan metode yang digunakan yakni penambahan *baffle* dengan desain tertentu dan proses tumpukan citra yang memerlukan keahlian khusus. Tawaran pada tesis ini tidaklah demikian adanya, karena penggunaan filter hanya cukup memasang pada optik teleskop dan mengatur sudut polarisasi akan memperoleh kontras pada tingkat tertentu.

¹⁰ P. Mahasena et al., “CCD Observation of Daylight Crescent Moon at Bosscha Observatory”, *Journal of Physics: IOP Publishing* 1127 (2019): 2-3, diakses 08 Agustus 2023, doi: 10.1088/1742-6596/1127/1/012049.

Penelitian keempat adalah jurnal ilmiah dengan judul “*Study of hilal’s Contrast Using Infrared Filter in Daylight Observation*” yang ditulis oleh Muhammad Dimas Firdaus. Hasil yang diperoleh dari percobaan yang dilakukan menghasilkan nilai kontras menggunakan filter inframerah adalah 129% menggunakan analisis kontras Weber, dan 4% menggunakan analisis kontras Michelson. Perbedaan nilai *exposure*¹¹ berdampak pada jumlah informasi yang ditangkap oleh kamera. Semakin lama *exposure*, semakin banyak data yang ditangkap. Hal ini terlihat dari gambaran visual hilal. Terlihat bahwa citra hilal yang menggunakan filter lebih jelas dibandingkan tanpa filter.¹²

Penelitian Firdaus mengkaji visibilitas hilal dengan menggunakan inframerah. Sementara dalam kajian terminologi pada fikih, gelombang inframerah belum bisa mewakili terminologi rukyat hilal. Adapun pada tesis ini filter CPL menggantikan fungsi filter inframerah, namun tidak bertentangan dengan terminologi rukyat hilal yang ada.

¹¹ “*Exposure*” adalah istilah yang digunakan dalam fotografi untuk menggambarkan seberapa banyak cahaya yang mencapai sensor atau film kamera selama proses pengambilan gambar. Terlalu banyak cahaya akan mengakibatkan gambar terlalu terang (*overexposed*), sementara terlalu sedikit cahaya akan menghasilkan gambar terlalu gelap (*underexposed*).

¹² Muhammad Dimas Firdaus dkk., “Study of Hilal’s Contrast Using Infrared Filter in Daylight Hilal Observation”, *INSIS: International Seminar of Islamic Studies* 4 (2023): 614, diakses 04 Agustus 2023, <https://jurnal.umsu.ac.id/index.php/insis/article/view/13991/pdf>.

Penelitian kelima adalah jurnal ilmiah dengan judul “Kajian Fiqih Sains Terhadap Kecerlangan hilal sebagai Prasyarat Terlihat hilal Kriteria Danjon dan Kriteria Djamaluddin” yang ditulis oleh Arino Bemi Sado. Tulisan ini menjelaskan bahwa Danjon dan Djamaluddin mempunyai perbedaan kriteria terkait dengan ketampakan hilal. Danjon mengatakan bahwa hilal tidak akan bisa dilihat apabila jarak sudut (elongasi) Bulan dan Matahari kurang dari 7 derajat. Hal tersebut disebabkan batas sensitivitas mata manusia tidak bisa melihat hilal yang sangat tipis. Di sisi lain Djamaluddin mengatakan bahwa hilal bisa dilihat apabila memenuhi dua aspek, yaitu aspek fisik hilal yang parameternya menggunakan jarak sudut Bulan dan Matahari minimal 6,4 derajat. Aspek kedua yaitu kontras latar depan di ufuk barat yang parameternya menggunakan beda tinggi Bulan dan Matahari minimal 4 derajat. Oleh karena itu kriteria visibilitas hilal Djamaluddin merupakan pembaharuan dari kriteria visibilitas Danjon ke arah yang lebih sempurna untuk mendapatkan kecerlangan hilal di kaki langit pada saat tenggelamnya Matahari pada akhir bulan Hijriah.¹³

Penelitian Sado menyatakan sebuah parameter visibilitas hilal berdasarkan daya tangkap mata manusia. Hal ini perlu dikaji lanjut karena faktor polarisasi cahaya mempengaruhi daya tangkap

¹³ Arino Bemi Sado, “Kajian Fiqih Sains Terhadap Kecerlangan Hilal sebagai Prasyarat Terlihat Hilal Kriteria Danjon dan Kriteria Djamaluddin”, *Istinbâth: Jurnal Hukum Islam* 16 (2017): 336, diakses 04 Agustus 2023, <https://www.istinbath.or.id/index.php/ijhi/article/view/4>.

mata manusia. Dengan adanya teknik pengendalian polarisasi cahaya oleh filter CPL -seperti halnya bantuan kaca mata terhadap mata rabun- maka ini perlu dikaji. Diharapkan tesis ini dapat menemukan solusi atas subjektivitas parameter tersebut untuk menurunkan kriteria pada penelitian ini.

E. Rumusan Hipotesis

Dalam kerangka pemetaan yang disusun oleh Cronin, hipotesisnya menunjukkan bahwa objek buatan dan alami di langit selama senja, seperti awan, gumpalan kabut, satelit, balon terbang tinggi, atau pesawat, memiliki karakteristik sulit dideteksi dan diidentifikasi. Pemahaman ini muncul karena polarisasi dari objek atau kondisi atmosfer semacam itu cenderung berbeda dari polarisasi cahaya langit di sekitarnya, bahkan untuk objek yang berada di atas atmosfer sebenarnya. Dengan demikian, sulitnya objek-objek tersebut terlihat memberikan kontribusi pada kesulitan dalam rukyat hilal setelah matahari terbenam. Analisis gradasi warna pada area atmosfer barat juga menunjukkan polaritas yang rendah dengan kontras yang rendah, yang mengindikasikan kebutuhan akan sudut polarisasi sebesar 45 derajat untuk memperoleh hasil yang optimal dalam mendeteksi dan mengidentifikasi objek-objek langit pada kondisi tersebut.

F. Metode Penelitian

Adapun metode yang digunakan penulis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Jenis dan Pendekatan Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah kuantitatif dengan metode *field research* (penelitian lapangan) dan menggunakan pendekatan eksplanatif. Pendekatan tersebut digunakan karena dalam menyelesaikan permasalahan penelitian ini penulis berusaha menganalisis pengaruh filter *circular polarizer* terhadap kualitas pengamatan melalui aspek penentuan cara filter *circular polarizer* mempengaruhi tingkat kontras, ketajaman, atau detail citra hilal dan aspek pengukuran perbedaan kualitas pengamatan dengan dan tanpa filter *circular polarizer*.

2. Sumber Data

Penulis menggunakan sumber data dalam penelitian ini yaitu sumber data primer dan sumber data sekunder. Sumber data primer dalam penelitian ini adalah citra terpolarisasi dan tidak terpolarisasi. Citra-citra tersebut didapatkan melalui sebuah teleskop berkamera CCD yang telah dan ataupun tidak dipasang filter *circular polarizer*. Karena keterbatasan jumlah instrumen, penulis melakukan pemasangan dan melepaskan filter secara bergantian. Adapun spesifikasi masing-masing instrumen adalah sebagai berikut; 1) Filter CPL dengan merek K&F Concept C-

series berdiameter 82 mm; 2) Teleskop dengan OTA¹⁴ bermerek Lunt Engineering, diameter tabung 80 mm, panjang fokus 560 mm F/7, dan *mounting* alt-azimuth dari merek Ioptron AZ Mount Pro; 3) Kamera CCD dengan merek CMOS QHYCCD 183 resolusi 5544 x 3684. Sedangkan sumber data sekunder dalam penelitian ini adalah jurnal ilmiah yang berjudul “*Celestial polarization patterns during twilight*” karya Thomas W. Cronin. Pola dan pemetaan polarisasi cahaya pada penelitian Cronin penulis gunakan sebagai pemandu pengambilan data primer.

3. Fokus Penelitian

Penelitian ini memfokuskan pada kajian teknik pengendalian polarisasi cahaya pada teleskop pengamat hilal saat terbenam Matahari, sehingga citra yang dihasilkan akan meningkat dari aspek kontras.

4. Pengumpulan Data

Untuk memperoleh data-data yang diperlukan dalam penelitian ini, penulis menggunakan teknik observasi. Pengumpulan data dilakukan pada observatorium Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang yang berkoordinat 06°59'30"LS 110°20'07"BT. Lokasi tersebut memiliki kesesuaian keadaan polarisasi cahaya atmosfer pada pemetaan Cronin. Jadwal

¹⁴ *Optical Tube Assembly*. OTA adalah komponen utama dalam teleskop optik, yang merupakan bagian yang berisi lensa, cermin, atau perangkat optik lainnya yang digunakan untuk mengumpulkan dan memusatkan cahaya dari objek yang diamati ke mata manusia atau kamera. OTA adalah inti dari teleskop optik dan menentukan jenis teleskop dan apa yang dapat diamati dengannya.

pengumpulan data disusun menjadi tiga hari sesaat setelah matahari terbenam. Tiga hari itu adalah tanggal 29 akhir lunasi, 30 akhir lunasi/01 awal lunasi berikut, dan 01 awal lunasi berikut/02 awal lunasi berikut.¹⁵ Pemasangan filter dilakukan pada lensa objektif teleskop. Adapun teknis penggunaan filter diatur menjadi 4 posisi yaitu tanpa pemasangan pada teleskop, posisi 0° sudut polarisasi, posisi 45° sudut polarisasi, dan posisi 90° sudut polarisasi.¹⁶ Masing-masing posisi dilakukan pemotretan dan penyimpanan citra dengan *format file* .FITS.¹⁷

5. Teknik Analisis Data

Teknik analisis data dalam penelitian ini mengungkapkan pentingnya menganalisis data dalam penelitian. Ini melibatkan tahap pengumpulan data dengan penggunaan filter *circular polarizer* untuk mengukur kontras hilal terhadap cahaya *syafaq* dalam pengamatan hilal. Citra-citra dalam bentuk format file .FITS dikonversi menjadi format .PNG berdasarkan histogram pada *software* Siril. Kemudian varian data dikelompokkan menjadi dua kategori yaitu citra tanpa filter CPL dan citra filter CPL. Masing-masing kategori diberlakukan sama melalui

¹⁵ Secara sederhana adalah hilal pertama, hilal kedua, dan hilal ketiga.

¹⁶ Sudut 0° - 90° disebut efek polaroid.

¹⁷ *Flexible Image Transport System*. Format file FITS) adalah format file standar yang digunakan dalam bidang astronomi untuk menyimpan dan mengirimkan data astronomi digital. Format ini dikembangkan pada tahun 1981 dan telah menjadi standar industri untuk pertukaran data astronomi, observasi satelit, dan penelitian astronomi.

pengukuran skala kontras (*gray value*) dan pencapaian efek polaroid¹⁸ pada *software* AstroImageJ.¹⁹ Hasil data kemudian dianalisis menggunakan pendekatan kombinasi antara analisis deskriptif dan analisis statistik inferensial. Analisis deskriptif digunakan untuk memberikan gambaran awal tentang data seperti mean, median, dan grafik. Sementara analisis statistik inferensial digunakan untuk menguji hipotesis dan mengidentifikasi hubungan antara sudut polarisasi dengan kontras hilal. Melalui teknik ini, penelitian dapat memberikan pemahaman mendalam mengenai efektivitas filter CPL terhadap peningkatan kontras hilal.

G. Sistematika Pembahasan

Penulisan tesis ini disusun menjadi lima bab. Hubungan antara bab yang satu dengan bab lain saling terkait dan merupakan pembahasan yang utuh. Sistematika sebagai berikut:

Bab I merupakan pendahuluan yang diuraikan ke dalam beberapa sub bab yang menjelaskan latar belakang permasalahan,

¹⁸ Efek polaroid melibatkan pengurangan refleksi cahaya, penguatan kedalaman warna langit (*syafaq*), dan memperjelas detail latar depan.

¹⁹ Penulis menggunakan *software* AstroImageJ. *Software* ini adalah sebuah *open source-software* yang digunakan untuk mengolah dan menganalisis gambar dan citra. Perangkat lunak ini dikembangkan oleh National Institutes of Health (NIH) dan tersedia secara gratis untuk digunakan oleh peneliti, ilmuwan, dan profesional di berbagai bidang, terutama dalam ilmu biologi, kedokteran, dan ilmu-ilmu lain yang memerlukan analisis citra.

yaitu fenomena dan kajian yang mendorong munculnya pertanyaan penelitian dan bagaimana pertanyaan ini dijawab. Di dalam bab ini dikemukakan pula alasan dan signifikansi penelitian, tujuan penelitian dan metode penelitian.

Bab II berisi tentang perspektif teori yang akan dijadikan sebagai dasar pijakan dalam penelitian untuk mengkaji lebih lanjut tentang pelaksanaan rukyat hilal, baik teori dalam syar'i maupun dalam astronomi. Dalam pembahasan ini dipaparkan karakteristik hilal dan kemudian disinkronkan dengan fenomena polarisasi cahaya sebagai faktor pengaruh kontras hilal.

Bab III memuat dan mendudukkan permasalahan perlunya teknik pengendalian polarisasi cahaya dalam rukyat hilal. Kajian ini diawali dengan mengungkap karakteristik fisis hilal dan atmosfer pada berdasarkan lokasi yang telah ditentukan. Untuk mengetahui pengaruh polarisasi cahaya, dilakukan perbandingan data citra terpolarisasi dan tidak terpolarisasi. Selain itu juga disajikan perbandingan data pada saat beberapa lunasi Bulan sebelum dan setelah ijtimak. Dengan beberapa perbandingan tersebut bisa diketahui lebih detail bagaimana teknik polarisasi yang ideal untuk meningkatkan kontras hilal.

Bab IV menguraikan efektivitas filter *circular polarizer* dalam rukyat hilal. Pembahasan diawali dengan melakukan pemodelan statistik perubahan kontras citra. Setelah itu dilakukan penentuan parameter sudut polarisasi yang ideal terhadap kontras yang didapatkan. Penilaian parameter tersebut dilakukan untuk

mengetahui seberapa jauh efektivitas filter CPL yang ideal digunakan pada teleskop pengamat hilal.

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

BAB II

TINJAUAN UMUM VISIBILITAS HILAL DAN POLARISASI CAHAYA

A. Visibilitas Hilal

1. Definisi Hilal serta Visibilitas Hilal dalam Perspektif Astronomi

Adopsi istilah "visibilitas hilal" berasal dari frasa bahasa Inggris "*hisāb Imkānur rukyah*," yang mengacu pada penilaian kemungkinan terlihatnya Bulan sabit.¹ Dalam melakukan evaluasi potensi rukyat, tidak hanya mempertimbangkan keberadaan hilal di atas ufuk sebagai pertimbangan utama, tetapi juga memasukkan pertimbangan terhadap berbagai faktor lain yang dapat mempengaruhi keterlihatan hilal. Keberhasilan tidak hanya ditentukan oleh posisi hilal di atas ufuk, tetapi juga oleh ketinggian hilal di atas ufuk dan posisinya yang terletak cukup jauh dari arah matahari. Oleh karena itu, dalam perhitungan *hisāb imkānur rukyah*, penerapan praktik rukyat yang sesungguhnya juga menjadi elemen yang diperhitungkan dan dipersiapkan dengan cermat.²

¹ Susiknan Azhari, *Ensiklopedi Hisab Rukyat*, (Yogyakarta: Pustaka Pelajar, 2008), 79.

² Azhari, *Ensiklopedi Hisab Rukyat*, 80.

Harus diingat bahwa persyaratan minimum ketinggian hilal sebenarnya adalah hasil dari perhitungan *hisāb* yang bertujuan untuk mempermudah teknis rukyat agar hilal dapat terlihat. Penetapan tinggi minimum hilal ini sebenarnya terkait dengan kebutuhan untuk mengurangi efek cahaya Matahari yang telah tenggelam, sehingga tidak menghambat pengamat rukyat dalam melihat hilal. Meskipun demikian, perlu diakui bahwa hambatan utama dalam rukyat adalah keberadaan awan, kabut, dan asap yang tidak dapat diprediksi atau disimulasikan.³

Di Indonesia, istilah hilal dikenal secara luas di kalangan umat Islam, terutama menjelang awal bulan Ramadan dan Syawal, dan telah diakui sebagai bagian dari bahasa resmi, seperti yang tercantum dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia yang mendefinisikan hilal sebagai Bulan sabit atau Bulan yang muncul pada tanggal satu bulan kamariah. Namun, penjelasan ini jarang dijumpai dalam kitab-kitab Tafsīr yang ditulis oleh ulama Indonesia. Sebagai contoh, Mahmud Junus dan Oemar Bakry mengartikan hilal sebagai bulan, sementara Bachtiar Surin

³ Tono Saksono, *Mengkompromikan Hisab & Rukyat*, (Bekasi: Amythas Publicita, 2007), 148.

dalam Tafsīrnya yang berjudul *Az-Zikra*, memahami "hilal" sebagai bulan muda. Pandangan ini sejalan dengan pendapat Ḥasby aṣ-Ṣiddiqy yang menyatakan bahwa hilal adalah bulan baru. Dari berbagai definisi tersebut, dapat disimpulkan bahwa hilal mengacu pada Bulan sabit pada hari pertama yang menjadi tanda dimulainya bulan baru dalam kalender hijriah.⁴

Dari sudut pandang astronomi, istilah "hilal" mengacu pada fase bulan sabit yang tampak sebagai sekelompok cahaya di ujung bulan saat dilihat dari Bumi. Fase ini terjadi ketika sinar Matahari menerangi sisi bulan yang tidak terlihat, sehingga hanya sebagian kecil dari bulan yang dapat terlihat dari Bumi. Hilal muda atau baru biasanya muncul setelah Bulan baru dan menjadi tanda pertama dari awal bulan baru dalam kalender lunar, seperti kalender hijriah dalam tradisi Islam. Posisi hilal ditentukan oleh sudut antara Matahari, Bulan, dan Bumi⁵.

Peranan kunci astronomi dalam menentukan penampakan hilal dan mendukung perhitungan awal bulan

⁴ Susiknan Azhari, *Ilmu Falak Perjumpaan Khazanah Islam dan Sains Modern*, (Yogyakarta: Suara Muhammadiyah, 2009), 91.

⁵ Hasna Tuddār Putri, "Redefinisi Hilal Dalam Perspektif Fikih Dan Astronomi" *al-Ahkam: Jurnal Pemikiran Hukum Islam* 22 (2012): 108. Diakses 28 Oktober 2023, doi: [10.21580/ahkam.2012.22.1.6](https://doi.org/10.21580/ahkam.2012.22.1.6).

dalam sistem kalender lunar sangat signifikan. Astronom menggunakan perangkat lunak dan perhitungan matematis untuk dengan tepat memprediksi kapan hilal akan muncul di langit. Informasi ini sering dimanfaatkan untuk menetapkan awal bulan Ramadan atau Syawal dalam kalender Islam.⁶

Perlu dicatat bahwa penggunaan istilah "bulan baru" dalam bidang astronomi berbeda dengan definisi bulan baru dalam kalender Islam. Dalam konteks astronomi, bulan baru terjadi secara serentak di seluruh dunia dan pada saat tersebut belum tentu bulan dapat terlihat oleh mata manusia. Syarat mutlak untuk terjadinya bulan baru tampaknya adalah terjadinya konjungsi atau ijtimak, yaitu ketika posisi bulan dan matahari berada pada bujur yang sama. Dalam terminologi astronomi, peristiwa ini disebut sebagai bulan baru. Kesepakatan umum adalah bahwa peristiwa ijtimak menjadi batas penentuan astronomis antara bulan Kamariah yang sedang berlangsung dan bulan Kamariah berikutnya. Oleh karena itu, para ahli astronomi umumnya menggunakan istilah ijtimak, konjungsi, atau *new moon* sebagai titik awal perhitungan bulan baru, yang

⁶ Putri, "Redefinisi Hilal", 101.

menyiratkan bahwa dalam konteks ini, "hilal" merujuk pada bulan yang telah mengorbit Bumi sepenuhnya.⁷

Dalam aspek astronomi, istilah "hilal" dapat diterjemahkan sebagai visibilitas hilal, karena intinya melibatkan kombinasi antara metode *hisāb* (perhitungan) dan rukyat (pengamatan) untuk menghasilkan interpretasi astronomi atas dasar dalil fikih yang digunakan. Secara astronomis, penggabungan kedua metode tersebut dapat terlaksana dengan mudah jika terdapat kesepakatan dan kerelaan untuk mencapai titik temu. Meskipun demikian, perlu ditegaskan bahwa kriteria astronomi yang digunakan untuk menetapkan awal bulan (*new month*) tidak hanya terkait dengan fenomena bulan baru (*new moon*). Mulai dari era Babilonia, zaman Rasulullah, hingga masa sekarang, kriteria yang lebih dominan adalah keterlihatan (*visibility*) bulan sabit baru atau anak bulan (hilal), daripada hanya konjungsi itu sendiri. Oleh karena itu, perlu dilakukan klarifikasi yang tegas antara *new moon* dan *new month*.⁸

Bulan melakukan revolusi hingga membentuk posisi garis lurus antara matahari, bulan, dan Bumi, yang disebut

⁷ Azhari, *Ensiklopedi Hisab Rukyat*, 94.

⁸ Azhari, *Ensiklopedi Hisab Rukyat*, 95.

konjungsi, dalam suatu periode sekitar 29 hari 12 jam 44 menit 2,8 detik. Proses ini melibatkan satu siklus penuh Bulan. Dalam perspektif astronomi, hilal atau fase bulan baru didefinisikan sebagai saat bulan berada dalam satu garis bujur yang sama dengan Matahari dan Bumi. Pada tahap ini, Bulan terlihat hanya sebagian kecil setelah melewati konjungsi. Area yang disinari Matahari ini disebut hilal dan menandakan dimulainya bulan baru.⁹

Dalam ranah astronomi, meyakini bahwa Bulan selalu hadir dan posisinya dapat dihitung, meskipun tidak selalu teramati atau dihitung, merupakan pandangan umum. Oleh karena itu, membicarakan objek yang berada di bawah ufuk bukanlah praktik yang umum dilakukan dalam astronomi. Dari perspektif astronomi, hilal bukanlah masalah eksistensi (karena yang diukur atau dihitung adalah posisi Bulan, bukan hilal itu sendiri), tetapi lebih merupakan masalah penampakan yang dapat berubah tergantung pada sudut pandang pengamat. Konsep hilal dalam astronomi menekankan fenomena penampakan, di mana Bulan muncul sebagai hilal dari suatu titik pandang, tetapi dari sudut pandang lain, Bulan bisa terlihat sebagai

⁹ Azhari, *Ensiklopedi Hisab Rukyat*, 96.

purnama. Astronomi tidak hanya mempertimbangkan aspek posisi, tetapi juga penampakan. Dalam pandangan astronomi, hisab (komputasi) dan rukyat (observasi) dianggap setara dan dapat saling menggantikan. Dengan demikian, hilal, dalam konteks astronomi, tidak terkait dengan ketersediaan atau keberadaan.¹⁰

Adapun terkait kontras sebuah visibilitas, Andrew Crumey menyatakan bahwa kontras bergantung pada sejauh mana pencahayaan objek target B_t setara dengan kecerahan permukaannya dibandingkan dengan pencahayaan latar sekitar B . Ia menyajikan persamaan terkait hal tersebut.

$$C = \frac{B_t - B}{B} \equiv \frac{\Delta B}{B}$$

Pada pengamatan target melalui layar transparan atau objek astronomi dalam atmosfer, sebagian yang mencakup target memberikan kontribusi pencahayaan B , dengan ΔB yang setara dengan B_t . Ketika peningkatan ΔB mencapai ambang visibilitas sesuai dengan kriteria yang ditetapkan, maka C menjadi kontras ambang batas. Dalam hal target dengan luas area sudut S , seseorang juga dapat

¹⁰ Azhari, *Ensiklopedi Hisab Rukyat*, 96.

mempertimbangkan iluminasi yang setara dengan magnitudo tampak.¹¹

Menurut Thomas Djamaluddin, aspek kontras juga memiliki peranan signifikan dalam pengamatan visibilitas hilal, selain dipengaruhi oleh faktor cuaca. Djamaluddin mencatat bahwa hilal yang berada terlalu rendah atau terlalu dekat dengan posisi Matahari bisa menjadi sulit terlihat karena kurangnya perbedaan cahaya yang mencolok. Kontras yang tipis pada hilal cenderung tercampur dengan cahaya senja. Dalam prakteknya, para pengamat seringkali menggunakan teleskop yang dilengkapi dengan CCD dan filter visual untuk melakukan pengamatan hilal. Meskipun demikian, penggunaan peralatan ini tidak selalu optimal karena kesulitan dalam membedakan cahaya hilal dengan latar belakang yang serupa.¹²

Kriteria visibilitas hilal berfungsi sebagai penghubung antara konsep astronomi dan konsep fikih dalam penyusunan kalender Islam. Integrasi kalender

¹¹ Andrew Curmey, *Human Contrast Threshold and Astronomy Visibility*, (Newcastle: Departemen Humaniora Universitas Northumbria, 2014), 1.

¹² Jafar M Sidik, "Kontras Cahaya Ganjal Pengamatan Hilal di Indonesia", (Jakarta: AntaraneWS, 2015), diakses 15 November 2023, <https://ramadhan.antaraneWS.com/berita/507362/kontras-cahaya-ganjal-pengamatan-hilal-diindonesia>.

Islam dengan perspektif astronomi sangat memungkinkan, karena prinsip dasar yang menjadi dasar kalender Islam telah terbentuk dengan baik. Dari perspektif astronomi, hilal merupakan bagian dari proses berkelanjutan pembentukan dan perubahan bulan sabit yang terjadi selama fenomena fase bulan. Terbentuknya bulan sabit berkaitan erat dengan geometri posisi bumi, bulan, dan matahari. Pendekatan ilmiah terhadap hilal bertujuan untuk mempermudah penerapan syariat dalam menentukan awal bulan kamariah.

2. Dasar Hukum Rukyat Hilal

Dalam pelaksanaan syariat Islam, pengaturan waktu menjadi sangat penting untuk kelancaran pelaksanaan ibadah. Hampir semua ibadah dalam Islam dilaksanakan pada waktu-waktu tertentu. Salah satu contoh ibadah yang terikat pada waktu tertentu adalah puasa Ramadan dan ibadah haji. Kedua ibadah ini hanya dapat dilakukan pada waktu-waktu tertentu yang telah ditetapkan. Oleh karena itu, penentuan waktu yang akurat menjadi suatu kebutuhan esensial dalam menjalankan ibadah tersebut. Salah satu metode yang digunakan untuk menentukan waktu atau bulan pelaksanaan puasa Ramadan dan haji adalah melalui

metode rukyat hilal, yakni pengamatan Bulan sabit. Metode ini memiliki peran sentral karena berfungsi sebagai dasar hukum yang membimbing umat Islam dalam menentukan awal bulan hijriah. Awal bulan ini kemudian menjadi dasar penentuan jadwal pelaksanaan berbagai ibadah dan aktivitas penting dalam kehidupan sehari-hari umat Islam.

Rukyat hilal menunjukkan pentingnya dalam kerangka hukum Islam. Landasan hukum dari praktik ini menjadi dasar utama dalam menetapkan awal bulan kamariah, sehingga memahami prinsip-prinsipnya menjadi hal yang sangat penting. Rukyat hilal, yang berperan dalam menentukan awal bulan baru, memiliki dasar hukum yang kuat dalam ajaran Islam. Dasar hukum rukyat hilal, yang membahas pengamatan bulan sabit untuk menetapkan awal bulan kamariah, tertanam pada prinsip-prinsip ajaran Islam. Pengamatan terhadap hilal, atau Bulan sabit, sesuai dengan petunjuk agama yang mengatur aspek-aspek ibadah dan kehidupan sehari-hari umat Islam.

Al-Qur'an, sebagai sumber utama ajaran Islam, dengan jelas menguraikan beberapa waktu atau bulan yang memiliki makna istimewa dalam praktik ibadah umat

Islam. Firman Allah dalam Al-Qur'an memberikan arahan yang tegas mengenai momen-momen yang perlu diperhatikan dan dihormati oleh umat Islam. Beberapa ayat Al-Qur'an menekankan signifikansi waktu-waktu tertentu, termasuk bulan Ramadan yang diidentifikasi sebagai periode di mana Al-Qur'an diturunkan sebagai petunjuk bagi umat manusia. Selain itu, ayat-ayat lain menyoroti kekhususan bulan Zulhijah, khususnya pada hari Arafah yang menjadi inti ibadah haji. Oleh karena itu, Al-Qur'an bukan hanya sebagai panduan moral, tetapi juga sebagai penunjuk waktu bagi umat Islam, membimbing mereka untuk meraih keberkahan dan mendekatkan diri kepada Allah pada saat-saat yang telah diamanahkan. Sebagai contohnya ada di beberapa ayat berikut:

يَسْأَلُونَكَ عَنِ الْأَهْلِ ۖ قُلْ هِيَ مَوَاقِيتُ لِلنَّاسِ وَالْحَجِّ ۗ وَلَيْسَ الْبِرُّ بِأَنْ تَأْتُوا الْبُيُوتَ مِنْ ظُهُورِهَا وَلَكِنَّ الْبِرَّ مَنِ اتَّقَىٰ وَأْتُوا الْبُيُوتَ مِنْ أَبْوَابِهَا ۚ وَاتَّقُوا اللَّهَ لَعَلَّكُمْ تُفْلِحُونَ.¹³

“Mereka bertanya kepadamu (Nabi Muhammad) tentang bulan sabit. Katakanlah, “Itu adalah (penunjuk) waktu bagi manusia dan (ibadah) haji.” Bukanlah suatu kebajikan memasuki rumah dari belakangnya, tetapi kebajikan itu adalah (kebajikan)

¹³ Kementerian Agama Republik Indonesia, *Qur'an Kemenag*, (Jakarta: Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur'an, 2019), 29.

orang yang bertakwa. Masukilah rumah-rumah dari pintu-pintunya, dan bertakwalah kepada Allah agar kamu beruntung.” (Al-Baqarah [2]:189).

Ayat ini memberikan jawaban atas pertanyaan tentang penentuan waktu dengan melihat bulan sabit. Ayat ini menekankan bahwa bulan sabit adalah petunjuk waktu yang ditentukan oleh Allah untuk kepentingan umat manusia, termasuk untuk menentukan waktu-waktu ibadah haji.

هُوَ الَّذِي جَعَلَ الشَّمْسَ ضِيَاءً وَالْقَمَرَ نُورًا وَقَدَرَهُ ۖ مَنَازِلَ لِتَعْلَمُوا
عَدَدَ السِّنِينَ وَالْحِسَابَ ۗ مَا خَلَقَ اللَّهُ ذَلِكَ إِلَّا بِالْحَقِّ يُفَصِّلُ الْآيَاتِ
لِقَوْمٍ يَعْلَمُونَ.¹⁴

“Dialah yang menjadikan Matahari bersinar dan bulan bercahaya. Dialah pula yang menetapkan tempat-tempat orbitnya agar kamu mengetahui bilangan tahun dan perhitungan (waktu). Allah tidak menciptakan demikian itu, kecuali dengan benar. Dia menjelaskan tanda-tanda (kebesaran-Nya) kepada kaum yang mengetahui.” (Q.S Yunus [10]:5)

Hilal, atau yang biasa dikenal sebagai Bulan sabit atau *crescent*, mengacu pada sebagian bulan yang terang karena cahaya matahari yang dipantulkannya. Kemunculan hilal terjadi ketika terjadi konjungsi dan bisa terlihat setelah matahari terbenam. Signifikansinya

¹⁴ Kementerian Agama Republik Indonesia, *Qur'an Kemenag*, 208.

sebagai penanda awal pergantian bulan dalam sistem kalender Hijriah sangatlah penting, seperti yang diungkapkan dalam surah Al-Qur'an sebagaimana telah disebutkan sebelumnya.

حَدَّثَنَا آدَمُ حَدَّثَنَا شُعْبَةُ حَدَّثَنَا مُحَمَّدُ بْنُ زِيَادٍ قَالَ سَمِعْتُ أَبَا
هُرَيْرَةَ رَضِيَ اللَّهُ عَنْهُ يَقُولُ قَالَ النَّبِيُّ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ صُومُوا
لِرُؤُوسِهِ وَأَفْطِرُوا لِرُؤُوسِهِ فَإِنْ غَشِيَ عَلَيْكُمْ فَأَكْمِلُوا عِدَّةَ شَعْبَانَ
ثَلَاثِينَ. (رَوَاهُ الْبُخَارِيُّ)¹⁵

“Adam telah menceritakan kepadaku, Syu’bah telah menceritakan kepadaku, Muḥammad bin Ziyād telah menceritakan kepadaku berkata bahwasanya saya mendengar Abu Hurairah (semoga Allah meridainya) berkata Rasulullah pernah bersabda: “Berpuasalah kalian karena melihat hilal dan berbukalah kalian karena melihat hilal. Maka jika tertutup oleh awan maka sempurnakanlah bilangan Syakban 30 hari.” (H.R. Bukhari)

حَدَّثَنَا أَبُو بَكْرِ بْنُ أَبِي شَيْبَةَ حَدَّثَنَا أَبُو أُسَامَةَ حَدَّثَنَا عُبَيْدُ اللَّهِ
عَنْ نَافِعِ بْنِ عَبْدِ اللَّهِ عَنْ عُمَرَ بْنِ عَبْدِ اللَّهِ رَضِيَ اللَّهُ عَنْهُمَا أَنَّ رَسُولَ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ
عَلَيْهِ وَسَلَّمَ ذَكَرَ رَمَضَانَ فَضَرَبَ بِيَدِهِ فَقَالَ الشَّهْرُ هَكَذَا وَ

¹⁵ Muḥammad Ibn Ismā’īl Al Bukhāri, *Ṣaḥīḥ Bukhāri*, Juz I, (Beirut: Dār Al Kutūb Al ‘Ilmiyyah, 1992), 588.

هَكَذَا ثُمَّ عَمَدَ إِهَامَهُ فِي الثَّلَاثَةِ فَصُومُوا لِرُؤْيَيْهِ وَأَفْطَرُوا لِرُؤْيَيْهِ فَإِنْ
 أُغْمِيَ عَلَيْكُمْ فَأَقْدِرُوا لَهُ ثَلَاثِينَ. (رَوَاهُ مُسْلِمٌ)¹⁶

“Dari Ibn ‘Umar ra, bahwasanya Rasulullah saw menuturkan tentang bulan Ramadan, maka beliau menunjukkan dengan kedua tangannya dan bersabda:” satu bulan itu demikian, demikian dan demikian. Kemudian beliau melipat ibu jarinya pada hitungan yang ketiga. Maka berpuasalah kamu sekalian karena melihat hilal dan berbukalah karena melihatnya. Jika terhalang mendung olehmu, maka takdirkanlah ia tigapuluh hari.” (H.R Muslim)

Pelaksanaan puasa Ramadan diwajibkan melalui pengamatan hilal sebagai indikator awal bulan. Meskipun tidak semua umat Islam diwajibkan untuk secara langsung melihat hilal, tetapi cukup jika "kesaksian tentang kemunculan hilal dapat diandalkan, bahkan jika hanya berdasarkan laporan individu yang dianggap adil." Jika pandangan terhalangi oleh awan, baik pada awal maupun akhir bulan Ramadan, maka durasi bulan tersebut ditetapkan selama tiga puluh hari. Prinsip-prinsip ini mencerminkan fleksibilitas dalam penentuan waktu berpuasa dengan mempertimbangkan ketersediaan informasi yang dapat dipercaya, sekaligus menunjukkan

¹⁶ Al-Hajjaj ibn Muslim al-Qusyairi an-Naisaburi Muslim, *al-Jāmi' al-Sahih* Juz III (Beirut: Dār al-Fikr, t.t), 122.

pentingnya kepatuhan waktu dalam praktek ibadah umat Islam.¹⁷

Dari banyaknya bukti serta dalil Al-Qur'an dan Hadis, terdapat sedikit penjelasan rinci mengenai pelaksanaan rukyat. Hal ini tentu menantang umat Islam untuk melakukan penelitian ilmiah guna mengklarifikasi, merinci, dan menetapkan pedoman umum yang terkandung dalam redaksi Al-Qur'an dan Hadis. Sesuai dengan metode penelitian ilmiah, tidak ada yang dianggap sebagai kebenaran mutlak yang berlaku sepanjang masa dan di setiap tempat. Semua aspek memiliki sifat dinamis, terus berkembang seiring waktu dan konteksnya.

3. Instrumen dan Teknik Astrofotografi dalam Sorotan Fikih

Dalam bidang yurisprudensi Islam atau fikih, terdapat dua pendapat berbeda di kalangan ulama Mazhab Syafi'i terkait penggunaan alat bantu dalam praktik rukyat hilal. Pendapat pertama disampaikan oleh Ibnu Hajar al-Haytamī, seorang ulama fikih Syafi'i asal Mesir. Pendapat beliau dapat ditemukan dalam kitab *Ṭuhfah al-Muhtāj*, yang merupakan *syarḥ* atau penjelasan terhadap kitab *Minhāj aṭ-Ṭālibīn wa 'Umdah al-*

¹⁷ An-Nawāwī, *Ṣaḥīḥ Muslim bi Syarḥ an-Nawāwī* Juz VII (Kairo: Maṭba'ah al-Miṣriyyah al-Azhār, 1929), 189-190.

Muftīn karya *Muhyī al-Dīn an-Nawāwī*. Ibnu Hajar al-Haytamī berpendapat bahwa rukyat hilal sebaiknya tidak menggunakan perantara atau alat. Meskipun beliau tidak menyatakan secara tegas "tidak boleh," namun beliau mengatakan "tidak menggunakan perantara atau alat." Alat yang dimaksud oleh beliau contohnya adalah cermin.¹⁸ Meskipun tidak ada penjelasan lebih lanjut mengenai hal ini, ulama lain dari mazhab yang sama memberikan klarifikasi lebih lanjut terkait pandangan Ibnu Hajar al-Haytamī.

Ibnu al-Ḥāmid al-Syarwānī dan Aḥmad bin Qāsim al-Ubbadi, keduanya berasal dari Makkah, dalam kitab *Hawāsyi Ṭuhfah al-Muhtāj bi Syarḥ al-Minhāj*, menjelaskan bahwa istilah "tidak menggunakan perantara atau alat" lebih baik diartikan sebagai lebih disukai untuk tidak menggunakan alat, namun penggunaannya tetap diperbolehkan. Dalam kitab tersebut, dijelaskan lebih lanjut bahwa perantara atau alat dalam konteks rukyat hilal mencakup benda-benda seperti air atau kristal yang dapat mendekatkan dan memperbesar objek. Penjelasan mengenai arti perantara atau alat ini serupa dengan pengertian teleskop.¹⁹

Pendapat 'Abd al-Ḥāmid al-Syarwānī dan Aḥmad bin Qāsim al-'Ubbādī ditegaskan lebih lanjut oleh pandangan

¹⁸ Syihāb al-Dīn Aḥmad ibn Hajar al-Haytamī, *Ṭuhfah Al-Muhtāj Bi Syarḥ al-Minhāj*, vol. 3 (Kairo: Maṭba'ah Mustafā Muḥammad, n.d.), 372.

¹⁹ 'Abd al-Ḥāmid al-Syarwānī, *Hawāsyi Ṭuhfah Al-Muhtāj bi Syarḥ al-Minhāj*, vol. 3 (Kairo: Maṭba'ah Muṣṭafā Muḥammad, n.d.), 372.

Muhammad Buhait al-Muṭi'i, seorang ulama Mesir yang mengikuti mazhab Syafi'i. Menurutnya, penggunaan teleskop dalam rukyat hilal dinyatakan diperbolehkan. Kesaksian rukyat hilal berdasarkan teleskop juga diakui dan dianggap sah, sebagaimana kesaksian yang diperoleh secara langsung. Hal ini dikarenakan hakikat yang dilihat baik melalui mata langsung maupun melalui perantara (teleskop) adalah sama, yaitu hilal itu sendiri.²⁰ Diskusi mengenai masalah ini tidak umum dijumpai di kalangan ulama dari mazhab lain.

Astrofotografi dalam praktik rukyat hilal merupakan perkembangan teknologi yang lebih lanjut. Pendekatan astrofotografi dalam rukyat hilal didasarkan pada prinsip-prinsip ilmiah yang ditemukan dan dikembangkan sesuai dengan hukum alam yang tunduk pada sunnah Allah. Dalam istilah yang digunakan oleh Thomas Djamaluddin, astrofotografi berfungsi sebagai "juru bahasa" atau penerjemah yang menghubungkan komunikasi antara subjek dengan gelombang elektromagnetik yang disampaikan oleh hilal kepada perukyat.²¹ Proses ini mungkin tidak selalu mudah diterima, dipahami, atau dimengerti oleh perukyat, sehingga diperlukan penerjemah yang dapat menjelaskan bahasa tersebut agar subjek dapat lebih mantap dalam pemahaman terhadap apa

²⁰ Muhammad Buhait al-Muṭi'i, *Irsyad Ahl al-Millah ilā Isbāt al-Ahillah* (Mesir: Kurdistan al-Ilmiyah, 1329), 293-94.

²¹ T. Djamaluddin, *Menjelajah Kekuasaan Langit Menembus Kedalaman al-Qur'an* (Khazanah Intelektual, 2006), 9-10.

yang diterimanya. Informasi yang diterima ini kemudian dijadikan dasar untuk melaksanakan syariat. Oleh karena itu, astrofotografi dapat dianggap sebagai salah satu alat atau wasilah untuk pelaksanaan syariat. Sebagai alat atau wasilah, tentu status hukumnya akan mengikuti hukum tujuan, sesuai dengan prinsip hukum fiqhiyah:²²

الْوَسَائِلُ لَهَا أَحْكَامُ الْمَقَاصِدِ.²³

“Perantara/alat itu memiliki hukum yang sama dengan tujuan.”

Astrofotografi dalam praktik rukyat hilal melibatkan dua aspek yang saling terkait, yaitu peralatan dan teknik. Kedua aspek ini saling mendukung untuk mencapai tujuan subjek dalam rangka memenuhi amanat syariat untuk menemukan penampakan hilal yang menjadi panduan dalam pelaksanaan ibadah. Peralatan dan teknik dalam astrofotografi digunakan untuk menjalankan kegiatan ini dengan cara yang obyektif. Penting untuk dicatat bahwa astrofotografi tidak membuat sesuatu yang tidak ada.²⁴

Prinsip dasar dalam fikih adalah keterbukaan terhadap perkembangan dan penemuan baru, selama tidak mengabaikan prinsip dan tujuan syariah yang bertujuan untuk menciptakan kemaslahatan. Keterbukaan fikih terhadap perkembangan dan

²² Junaidi, *Astrofotografi Adopsi*, 279.

²³ al-Zāmil, *Syarḥ al-Qawā'id al-Sa'dīyah*, 39.

²⁴ Junaidi, *Astrofotografi Adopsi*, 280.

penemuan baru tercermin dalam adanya kaidah fiqhiyah berikut:²⁵

الأَصْلُ فِي الْأَشْيَاءِ الْإِبَاحَةُ حَتَّى يَدُلَّ الدَّلِيلُ عَلَى التَّحْرِيمِ.²⁶
 “*Hukum dasar dari segala sesuatu adalah boleh, sampai ada dalil yang menunjukkan keharamannya.*”

4. Citra Astrofotografi dan Kesaksian Rukyat dalam Perspektif Fikih

Walaupun Fikih mengakomodasi perkembangan dan penemuan terbaru, prinsip utama syariah adalah untuk tidak memberatkan umat. Faktor-faktor yang dapat menimbulkan beban pada umat dalam konteks ini melibatkan aspek biaya dan teknis. Saat ini, peralatan astrofotografi untuk rukyat hilal hadir dalam berbagai pilihan dan rentang harga, mulai dari yang terjangkau hingga yang mahal. Harganya tidak melampaui kebutuhan sekunder manusia, bahkan tidak sebanding dengan kebutuhan primer, sehingga tidak menyebabkan beban finansial yang signifikan. Dari sisi teknis, astrofotografi menawarkan kemudahan dibandingkan dengan metode rukyat hilal konvensional. Kegiatan ini berbasis teknologi, dengan tujuan utama untuk memberikan dukungan guna mempermudah dan

²⁵ Junaidi, *Astrofotografi Adopsi*, 280.

²⁶ Jalāl al-Din ‘Abd al-Rahmān as-Suyūṭī, *Al-Asybah wa al-Nazāir fi Qawāid wa Furū’ Fiqh al-Syafi’i*, vol. 1 (Mekah: Maktabah Nizār Muṣṭafā al-Bāz, 1997), 118.

melancarkan aktivitas manusia. Oleh karena itu, dengan kemudahan ini, tercipta manfaat yang positif.²⁷

Rasulullah memberikan contoh prosedur teknis untuk menentukan awal bulan puasa dengan merespons laporan atau kesaksian terlihatnya hilal dari para sahabat. Beliau kemudian mengambil keputusan mengenai awal puasa berdasarkan laporan atau kesaksian tersebut. Beberapa hadis sahih mencatat informasi mengenai langkah-langkah ini, antara lain:

عَنْ ابْنِ عُمَرَ قَالَ تَرَأَى النَّاسُ الْهِلَالَ فَأَخْبَرَتْ رَسُولَ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ أَبِي رَأَيْتُهُ فَصَامَهُ وَأَمَرَ النَّاسَ بِصِيَامِهِ.²⁸

“Dari Ibnu 'Umar RA. beliau berkata: Orang-orang telah melihat hilal, maka aku memberitahukan kepada Nabi SAW. Bahwa aku juga melihatnya, maka Nabi berpuasa dan memerintahkan orang-orang berpuasa juga.”

عَنْ رَبِيعِ بْنِ جِرَاشٍ عَنْ رَجُلٍ مِنْ أَصْحَابِ النَّبِيِّ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ قَالَ اِخْتَلَفَ النَّاسُ فِي آخِرِ يَوْمٍ مِنْ رَمَضَانَ فَقَدِمَ أَعْرَبِيَّانِ فَشَهِدَا عِنْدَ رَسُولِ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ بِاللَّهِ لِأَهْلَا الْهِلَالَ أَمْسَ عَشِيَّةً فَأَمَرَ رَسُولُ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ النَّاسَ أَنْ يُفْطِرُوا.²⁹

“Dari Rib'ī bin Hirāsy, dari salah satu sahabat Nabi SAW. dia berkata: Orang-orang berbeda pendapat tentang hari terakhir Ramadan, maka datanglah dua

²⁷ Junaidi, *Astrofotografi Adopsi*, 280-281.

²⁸ Abu Dāwud, *Sunan Abī Dāwud*, 1424, 411.

²⁹ Abu Dāwud, 411.

orang a'rabiyy dan bersaksi atas nama Allah di hadapan Nabi SAW. bahwasannya keduanya telah melihat hilal kemarin petang. Maka Rasul SAW. memerintahkan orang-orang untuk berbuka puasa.”

عَنْ عَبْدِ الرَّحْمَنِ بْنِ زَيْدِ بْنِ الْخَطَّابِ أَنَّهُ خَطَبَ النَّاسَ فِي الْيَوْمِ الَّذِي يُشَكُّ فِيهِ فَقَالَ أَلَا إِنِّي جَالَسْتُ أَصْحَابَ رَسُولِ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ وَسَأَلْتُهُمْ وَإِنَّهُمْ حَدَّثُونِي أَنَّ رَسُولَ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ قَالَ صُومُوا لِرُؤُوسِهِ وَأَفْطِرُوا لِرُؤُوسِهِ وَأَنْسِكُوا لَهَا فَإِنْ غَمَّ عَلَيْكُمْ فَأَكْمِلُوا ثَلَاثِينَ فَإِنْ شَهِدَ شَاهِدَانِ فَصُومُوا وَأَفْطِرُوا.³⁰

Dari 'Abdurrahman bin Zaid bin Al Khattāb bahwa ia berkhotbah di hadapan manusia di hari yang diragukan untuk berpuasa di dalamnya. Lalu ia berkata; Ketahuilah aku pernah duduk bersama sahabat Rasulullah SAW., dan aku bertanya kepada mereka. Mereka menceritakan kepadaku bahwa Rasulullah SAW. bersabda: Berpuasalah kalian karena melihatnya, berbukalah kalian karena melihatnya dan sembelihlah kurban karena melihatnya pula. Jika (hilal) itu tertutup dari pandangan kalian, sempurnakanlah menjadi tiga puluh hari, jika ada dua orang saksi, berpuasa dan berbukalah kalian.

Dalam menetapkan awal bulan, Nabi menggunakan cara yang tampak sederhana, yaitu langsung menerima laporan dan meminta kesaksian dengan sumpah. Meskipun pada pandangan awal ajaran Nabi tersebut terlihat sederhana, namun jika dipahami lebih dalam, pengambilan sumpah oleh Nabi kepada mereka yang mengklaim menyaksikan hilal menunjukkan

³⁰ An-Nasāi, *Kitab Al-Sunān al-Kubrā*, 2:99. Aḥmad ibn Muḥammad ibn Ḥanbal, *Musnād Al-Imām Aḥmad ibn Ḥanbal*, vol. 31 (Beirut: Muassasah ar-Risālah, 1417), 190.

bahwa Nabi menginginkan kesaksian rukyat yang benar-benar obyektif. Pada saat itu, untuk mengukur obyektivitas kesaksian, satu-satunya cara adalah melalui penggunaan sumpah. Oleh karena itu, dalam generasi berikutnya, ulama menetapkan syarat-syarat bagi seseorang yang akan memberikan kesaksian dengan beberapa kriteria tertentu.³¹

Dalam Mazhab Ḥanafī, syarat-syarat untuk persaksian terkait berhasilnya rukyat adalah sebagai berikut:

- 1) Saat kondisi cuaca cerah, persaksian terkait rukyat hilal dalam Mazhab Ḥanafī harus diberikan oleh sejumlah saksi yang banyak. Pada situasi semacam ini, mazhab ini tidak menerima kesaksian dari individu tunggal. Alasannya adalah bahwa kesaksian dari satu orang yang berlawanan dengan pandangan umum dalam kondisi normal bisa menunjukkan kelemahan atau kesalahan pada kesaksian tersebut. Konsep "orang dalam jumlah yang banyak" mengacu pada sejumlah orang yang, dalam jumlah tertentu, dapat memberikan keyakinan atas apa yang mereka sampaikan. Dalam hal ini, Mazhab Ḥanafī tidak mensyaratkan agar saksi-saksi tersebut mencapai derajat mutawatir, sehingga tidak perlu agar seluruh kelompok memiliki keyakinan dalam agama Islam.

³¹ Junaidi, *Astrofotografi Adopsi*, 282.

- 2) Jika cuaca tidak cerah atau berawan, Mazhab Ḥanafī mengizinkan satu orang memberikan kesaksian dengan memenuhi beberapa syarat: individu tersebut harus beragama Islam, *'ādil*, *'āqil*, *bālig*, baik laki-laki maupun perempuan. Dalam konteks ini, *'ādil* merujuk pada seorang muslim yang memiliki sifat baik yang lebih dominan daripada sifat buruknya, tanpa memperhatikan status kemerdekaannya. Menurut Mazhab Ḥanafī, kesaksian individu harus disampaikan di hadapan hakim atau imam, meskipun tidak diwajibkan menggunakan kalimat "*asyhadu*". Mazhab ini juga mengizinkan individu memberikan kesaksian mengenai kesaksian orang lain.³²

Dalam Mazhab Malīkī, kesaksian terkait rukyat hilal dapat dikategorikan menjadi tiga tipe:

- 1) Menurut Mazhab Malīkī, kesaksian mengenai rukyat hilal dapat disampaikan oleh jamaah yang berjumlah banyak. Jamaah ini adalah kelompok orang yang diyakini tidak mungkin bersatu untuk berbohong. Dalam situasi ini, tidak ada persyaratan bahwa setiap individu di dalam jamaah harus memiliki sifat *'ādil* atau merdeka secara menyeluruh, dan tidak ada batasan berdasarkan jenis kelamin dari setiap saksi.

³² Muḥammad Amīn ibn 'Ābidin, *Radd Al-Mukhtār 'alā al-Dūrr al-Mukhtār Syarḥ Tanwīr al-Abṣār*, vol. 3 (Riyād: Dār 'Ālam al-Kutūb, 2003), 356.

- 2) Menurut Mazhab Malīkī, kesaksian terkait rukyat hilal bisa disampaikan oleh dua orang yang dianggap ‘*ādil* atau lebih, baik dalam kondisi langit cerah maupun mendung. Dalam mazhab ini, konsep ‘*ādil* merujuk pada laki-laki yang merdeka, *bālig*, berakal, tidak melakukan dosa besar, tidak terbiasa berbuat dosa kecil, dan selalu menjaga *maruah*. Mazhab ini tidak memperbolehkan kesaksian dari satu laki-laki atau dua perempuan ‘*ādil*. Meski begitu, kesaksian tetap memiliki kewajiban bagi saksi secara personal, meskipun tidak diterima secara umum. Dalam situasi ini, saksi masih bertanggung jawab untuk memulai atau mengakhiri puasa lebih awal daripada umumnya. Mazhab Malīkī juga mengizinkan kesaksian atas kesaksian orang lain, asalkan dilakukan oleh individu dengan jumlah dan karakteristik yang sama dengan saksi awal. Tidak diwajibkan menggunakan kata "*asyhadu*" dalam kesaksian ini.
- 3) Dalam Mazhab Malīkī, kesaksian dari satu laki-laki yang dianggap ‘*ādil* hanya memiliki keberlakuan untuk saksi secara pribadi dan individu yang menerima serta meyakini kesaksian tersebut. Hakim dilarang memutuskan berdasarkan kesaksian semacam itu, sehingga kesaksian

tersebut tidak dapat dijadikan dasar untuk keputusan yang bersifat umum.³³

Dalam Mazhab Syafi'i, menurut *qaul qadīm*, kesaksian mengenai rukyat hilal yang menjadi dasar umum untuk memulai puasa bisa diberikan oleh satu orang saksi, dengan syarat-syarat tertentu seperti laki-laki Muslim, 'ādil, bālig, 'āqil, dan merdeka. Meskipun begitu, dalam *qaul jadīd*, Syafi'i menjelaskan bahwa baik untuk awal puasa maupun akhir puasa, kesaksian mengenai pengamatan hilal harus berasal dari dua orang 'ādil. Dalam memberikan kesaksian, saksi wajib menggunakan kata "*asyhadu*". Seorang saksi yang tidak memenuhi persyaratan yang disebutkan terikat pada apa yang telah disaksikan, dan kesaksiannya berlaku hanya untuk dirinya sendiri, meskipun hakim tidak akan menerima kesaksian tersebut jika tidak memenuhi syarat.³⁴

Mazhab Hanbali menerapkan pendekatan yang berbeda antara kesaksian mengenai rukyat hilal untuk awal puasa dan bulan-bulan lainnya. Untuk awal puasa, kesaksian dapat diberikan oleh seorang muslim yang dianggap 'ādil secara lahir dan batin, *mukallaf*, baik laki-laki maupun perempuan, merdeka

³³ 'Abd al-Karīm ibn Muḥammad ibn 'Abd al-Karīm al-Rāfi'i, *Al-Syarḥ al-Kabīr*, vol. 3 (Beirut: Dār al-Kutūb al-Ilmiyyah, 1997), 173-78; al-Ḥabīb ibn Ṭahir, *Al-Fiqh al-Malikī wa Adillatuh*, vol. 2 (Beirut: Dār Ibn Hazm, 1998), 100-105.

³⁴ Muhammad ibn Idrīs al-Syāfi'i, *al-Umm*, vol. 3 (al-Manṣūrah: Dār al-Wafā', 2001), 232; Bandingkan dengan Abū Ishāq al-Syīrāzī, *al-Muhaẓẓab*, vol. 2 (Damaskus: Dār al-Qalam, 1992), 594-96.

atau tidak. Kesaksian yang telah diumumkan oleh hakim harus diikuti dan dilaksanakan. Bahkan, kesaksian dari seseorang yang memenuhi syarat harus didukung oleh saksi yang mengetahui meskipun tidak diumumkan oleh hakim. Kesaksian dari sejumlah orang juga tidak akan diterima jika para saksi tidak memenuhi syarat yang telah ditetapkan. Untuk bulan-bulan lain, seperti Syawal, Mazhab Hanbali mensyaratkan bahwa kesaksian harus berasal dari dua orang yang dianggap ‘*ādil* dan wajib menggunakan kata "*asyhadu*" dalam pernyataannya.³⁵

Kesimpulan yang dapat ditarik dari persyaratan yang dijelaskan oleh ahli fikih dari mazhab ini adalah semangat untuk berhati-hati dalam menerima kesaksian terkait rukyat hilal. Kewaspadaan ini bertujuan untuk menjamin kebenaran dan objektivitas rukyat hilal yang menjadi dasar untuk menetapkan awal Ramadan dan Syawal.

Rukyat hilal memiliki tujuan utama untuk mengidentifikasi keberadaan objek atau penampakan hilal. Baik melalui rukyat hilal konvensional maupun teknik astrofotografi, tujuannya tetap konsisten, yakni untuk mendeteksi penampakan hilal. Meskipun tujuannya serupa, terdapat perbedaan mendasar,

³⁵ 'Abdullāh ibn Aḥmad ibn Muḥammad ibn Qudāmah, *Al-Kāfi*, vol. 2 (Jīzah: Ḥajar, 1998), 228; Maṣṣūr ibn Yūnus ibn Idrīs al-Buhūti, *Syarḥ Muntaha Al-Irādāt*, vol. 2 (al-Risālah, 2000), 343-46; al-Zuhayli, *al-Fiqh al-Islami wa Adillatuh*, 1989, 2:598-604; Mutī, *Irsyād Ahl al-Millah ilā Isbāt al Ahillah*, 1329, 12-22.

terutama dalam hal hasil yang dihasilkan oleh keduanya. Rukyat hilal konvensional menghasilkan pengamatan hilal oleh mata subjek, yang kemudian disimpan dalam memori otak subjek, sehingga memiliki tingkat subjektivitas yang tinggi. Di sisi lain, hasil astrofotografi dalam rukyat hilal berupa citra hilal yang dapat dilihat oleh subjek dan pihak ketiga. Citra ini disimpan dalam memori komputer dan memori otak subjek, bersifat objektif karena dapat diverifikasi dengan berbagai metode.³⁶

Hasil rukyat hilal akan digunakan sebagai patokan untuk menentukan awal bulan. Pada rukyat hilal konvensional, hasilnya disampaikan melalui *syahādah* atau persaksian, sedangkan pada rukyat hilal dengan teknik astrofotografi, hasilnya disampaikan dalam bentuk *syahādah* yang dilengkapi dengan lampiran citra hilal. *Fuqahā'* telah merumuskan persyaratan-persyaratan minimal berdasarkan dua riwayat, yaitu dari Ibnu 'Umar dan Ibnu 'Abbas. Riwayat Ibnu 'Umar menyatakan bahwa ia bersama sekelompok orang melihat hilal, dan ketika berita tersebut disampaikan kepada Nabi, beliau menerima tanpa mengambil sumpah. Sementara itu, riwayat Ibnu 'Abbas menceritakan seorang *a'rabī* yang melihat hilal sendirian, dan ketika berita tersebut disampaikan kepada Nabi, beliau mengambil sumpah dari orang *a'rabī* tersebut. Contoh-contoh ini, yang kemudian dijadikan acuan oleh *fuqahā'*,

³⁶ Junaidi, *Astrofotografi Adopsi*, 287.

mencerminkan semangat berhati-hati dalam menerima kesaksian rukyat hilal. Kewaspadaan tersebut bertujuan untuk menjamin kebenaran dan objektivitas rukyat hilal, yang menjadi dasar untuk menetapkan awal bulan yang melibatkan berbagai kegiatan ibadah. Tindakan ini diambil untuk memastikan bahwa pelaksanaan ibadah yang terkait dengan waktu dilakukan sesuai dengan waktunya, bukan berdasarkan spekulasi yang dapat menimbulkan ketidakjelasan.³⁷

Nabi melarang para sahabat untuk berspekulasi melakukan puasa Ramadan sehari atau dua hari sebelum terdapat kejelasan tentang masuknya bulan Ramadan, dan larangan tersebut disampaikan dengan tegas menggunakan redaksi *nūn tawkid*.³⁸

لَا يَتَقَدَّمَنَّ أَحَدُكُمْ رَمَضَانَ بِصَوْمِ يَوْمٍ أَوْ يَوْمَيْنِ إِلَّا أَنْ يَكُونَ رَجُلٌ
كَانَ يَصُومُ فَلْيُصُمْ ذَلِكَ الْيَوْمِ.³⁹

“Jangan sekali-kali seseorang di antara kalian memajukan kedatangan bulan Ramadan dengan berpuasa satu atau dua hari sebelumnya, kecuali bagi mereka yang secara rutin berpuasa setiap hari, maka mereka boleh berpuasa pada hari tersebut.”

Hari yang masih menjadi pertanyaan apakah awal Ramadan atau akhir Syakban disebut sebagai hari yang

³⁷ Junaidi, *Astrofotografi Adopsi*, 289.

³⁸ Junaidi, *Astrofotografi Adopsi*, 289.

³⁹ Bukhari, *Al-Jāmi' al-Ṣaḥīḥ Li al-Bukhārī*, 2:34; Nawāwī, *Ṣaḥīḥ Muslim bi Syarḥ Al-Nawāwī*, 7:194.

diragukan. Oleh karena itu, sebagian besar ulama mengharamkan puasa pada *yawm al-syakk* atau hari yang diragukan, khususnya pada akhir bulan Syakban.⁴⁰ Memberikan prioritas pada objektivitas dalam menentukan dasar ibadah dianggap lebih diutamakan daripada bersifat subjektif. Prinsip ini tercermin dalam kaidah fiqhiyah yang diungkapkan oleh Muḥammad Rasyīd Riḍā dalam *Tafsīr al-Manār* dan dikutip oleh Wahbah al-Zuhayli dalam *Tafsīr al-Munīr*:

العِلْمُ مُقَدَّمٌ عَلَى الظَّنِّ.⁴¹

“Pengetahuan itu lebih diutamakan dari pada prasangka.”

Apabila ada kemungkinan untuk menggunakan pendekatan yang lebih objektif, maka seharusnya mengesampingkan pendekatan yang bersifat subjektif. Sebagai contoh, seseorang yang memiliki kemampuan untuk melihat Kakbah dengan mudah tidak perlu melakukan ijtihad untuk menentukan arah kiblat. Apabila subjektivitas bertentangan dengan objektivitas, maka yang harus diutamakan adalah objektivitas, sesuai dengan prinsip yang terdapat dalam kaidah fiqhiyah:⁴²

⁴⁰ Muḥammad al-Syarbīnī al-Khatīb, *Al-Iqnā' fī Hilli Alfāz Abī Syujā'*, vol. 1 (Beirut: Dār al-Fikr, 1415), 239.

⁴¹ Zuhayli, *Al-Tafsīr al-Munīr fī al-'Aqidah wa al-Syarī'ah wa al-Manhaj*, 2:148; al-Sayyid Muḥammad Rasyīd Riḍā, *Tafsīr Al-Manār*, vol. 2 (Kairo: Dār al-Manār, 1937), 187.

⁴² Junaidi, *Astrofotografi Adopsi*, 290.

لَا عِبْرَةَ بِالظَّنِّ الْبَيْنِ حَظُّهُ.⁴³

“*Sesuatu yang bernilai subjektif dan jelas salahnya, maka akan dikesampingkan.*”

Menambahkan citra hilal sebagai lampiran pada kesaksian saksi dapat memberikan dukungan ekstra terhadap objektivitas saksi. Dalam rukyat hilal konvensional, penilaian objektivitas saksi terbatas pada sifat '*adalah*' yang dimiliki oleh saksi dan sumpah. Pendekatan ini merupakan konsekuensi logis dari metode yang mungkin diterapkan pada masa lalu. Meskipun pada waktu itu pendekatan ini dapat memberikan tingkat objektivitas yang memadai, namun dalam era sekarang, para peneliti menyatakan bahwa diperlukan instrumen tambahan untuk menilai objektivitas saksi.⁴⁴

Prinsip-prinsip fikih telah mengambil langkah-langkah untuk menangani permasalahan ini. Fikih menetapkan status bukti dalam konteks persaksian dengan merumuskan dua kaidah *fiqhiyah* sebagai dasar berlakunya bukti.:

الْخِطَابُ كَالْخِطَابِ.⁴⁵

“*Status tulisan itu sebagaimana status pembicaraan/pesan.*”

Dengan menggunakan analogi dari kaidah di atas, status citra hilal dianggap setara dengan status saksi. Oleh karena itu,

⁴³ Ahmad ibn Muhammad al-Zarqā, *Syarḥ al-Qawāid al-Fiqhiyah*, Cet. ke 4 (Damaskus: Dār al-Qalam, 1996), 357.

⁴⁴ Junaidi, *Astrofotografi Adopsi*, 290.

⁴⁵ al-Zarqā, *Syarḥ al-Qawāid*, 349.

bukti visual tentang ketampakan hilal dalam bentuk citra hilal memiliki kekuatan dan validitas yang signifikan dalam mendukung persaksian rukyat hilal. Bahkan, hal ini diungkapkan dengan lebih tegas.⁴⁶

الثَّابِتُ بِالْبُرْهَانِ كَالثَّابِتِ بِالْعِيَانِ.⁴⁷

“*Sesuatu yang ditetapkan dengan bukti adalah seperti sesuatu yang ditetapkan dengan kesaksian.*”

B. Polarisasi Cahaya

Studi mengenai polarisasi cahaya telah lama dilakukan dengan berbagai tujuan, salah satu contoh menarik adalah penelitian fenomena alam seperti warna langit dan pelangi. Polarisasi cahaya terjadi secara alami dari sinar Matahari, yang awalnya tidak terpolarisasi. Namun, melalui fenomena seperti pemantulan, penyerapan, pembiasan, dan penghamburan, cahaya Matahari dapat menjadi terpolarisasi pada sudut tertentu relatif terhadap pengamat.⁴⁸ Polarisasi cahaya di langit, yang disebabkan oleh penghamburan cahaya, menyebabkan cahaya tersebut mengalami polarisasi linear parsial. Polarisasi ini membentuk pola tertentu di langit dan dapat digunakan sebagai referensi arah. Informasi-informasi yang terdapat

⁴⁶ Junaidi, *Astrofotografi Adopsi*, 290.

⁴⁷ al-Zarqā, *Syarḥ al-Qawāid*, 367.

⁴⁸ K. L. Coulson, *Polarization and Intensity of Light in the Atmosphere* (U.S.A: A. Deepak, 1990), 521, diakses 28 Oktober 2023, doi: <https://doi.org/10.1002/qj.49711649214>

dalam polarisasi adalah sudut polarisasi atau *Angle of Polarization* (AoP) dan derajat polarisasi atau *Degree of Polarization* (DoP).⁴⁹

Secara alami, manusia melakukan penginderaan cahaya dengan menangkap intensitas dan warna cahaya yang terlihat. Namun, ketika berhadapan dengan polarisasi di langit, terdapat informasi tambahan yang dapat diambil dan dimanfaatkan untuk menentukan orientasi arah. Dengan menggunakan kamera dan polarizer, informasi tersebut dapat diekstrak dan diproses menjadi citra polarisasi yang dapat berguna. Informasi yang dimaksud melibatkan sudut polarisasi (AoP) dan derajat polarisasi (DoP) yang timbul akibat hamburan cahaya.⁵⁰

Cahaya, sebagai gelombang elektromagnetik, serta metode polarisasi optik, merupakan bagian dari ilmu fisika yang mempelajari karakteristik cahaya dan interaksinya dengan materi. Dalam ilmu fisika, terdapat dua kategori utama dalam optik:⁵¹

1. Optik gelombang:

- Dalam optik gelombang, sifat-sifat cahaya diasumsikan sebagai gelombang sferis.

⁴⁹ Edi Susanto, “Estimasi Citra Polarisasi Langit,” *Seminar Nasional Aplikasi Teknik Informatika (SNATI): Universitas Islam Indonesia* (2011): 60, diakses 28 Oktober 2023, <https://journal.uui.ac.id/Snati/article/view/2595/2396>.

⁵⁰ Susanto, “Estimasi Citra Polarisasi”, 60.

⁵¹ I Made Yuliara, *Polarisasi* (Modul Mata Kuliah: Universitas Udayana, 2016), 1.

- Penelitian ini menjelaskan interaksi cahaya dengan objek yang memiliki ukuran sebanding dengan panjang gelombang.

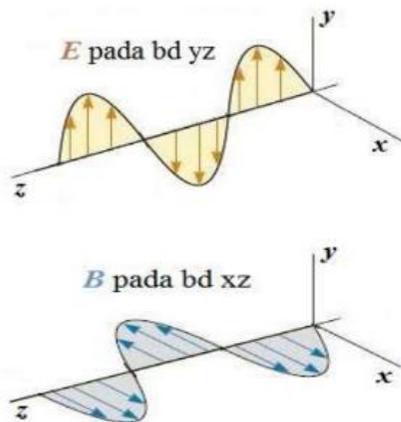
2. Optik geometri:

- Dalam optik geometri, pergerakan cahaya dianggap sebagai garis lurus.
- Teori ini menjelaskan interaksi cahaya dengan objek yang memiliki ukuran lebih besar dari panjang gelombang. Sifat-sifat gelombang cahaya lebih lanjut dipelajari dalam bidang Optik Fisis atau Optik Gelombang.

Sifat-sifat yang umumnya dimanfaatkan dalam bidang Optik Gelombang mencakup Difraksi, Interferensi, dan Polarisasi. Pemanfaatan sifat-sifat ini sering terlihat dalam peralatan optik seperti *Compact Discs* (CD), Grating difraksi, atau Polariser. Dalam konteks optik gelombang, cahaya dianggap sebagai gelombang elektromagnetik yang terbentuk oleh getaran vektor medan listrik (E) dan medan magnet (B). Kedua medan ini saling tegak lurus dan memiliki fase yang sama. Gelombang elektromagnetik ini bersifat transversal dan membentuk gelombang bidang dengan kecepatan rambat c dalam ruang bebas, yang dikenal sebagai kecepatan cahaya dan memiliki nilai 3×10^8 m/s.⁵²

⁵² Yuliara, *Polarisasi*, 1.

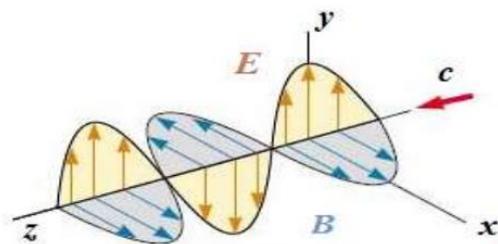
Skema atau diagram medan listrik E dan medan magnet B dalam tiga dimensi dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Sumber: Yuliara, 2016.

Gambar 2.1. Skema E dan B

Medan E dan B , yang saling tegak lurus, merambat dengan kecepatan c dalam arah z , seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.2.



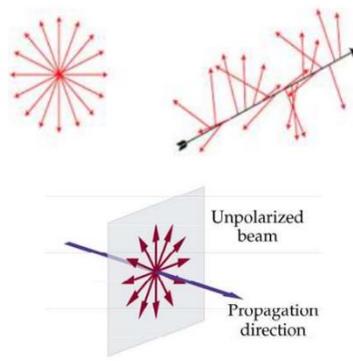
Sumber: Yuliara, 2016.

Gambar 2.2. E dan B saling tegak lurus

Cahaya putih secara alami memiliki arah getar gelombang yang fluktuatif dan dapat bergerak dalam arah sembarang. Meskipun demikian, cahaya ini tidak terpolarisasi secara alami, seperti yang umumnya terjadi pada cahaya dari sumber-sumber seperti Matahari, lampu, atau lilin. Namun, melalui penggunaan instrumen optik yang dikenal sebagai polariser atau polarisator, cahaya tidak terpolarisasi ini dapat diubah menjadi cahaya terpolarisasi. Proses ini dikenal sebagai Polarisasi (Polarization).⁵³

Ilustrasi perbedaan antara cahaya terpolarisasi dan tidak terpolarisasi dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4 berikut:⁵⁴

- Cahaya tidak terpolarisasi (unpolarized):



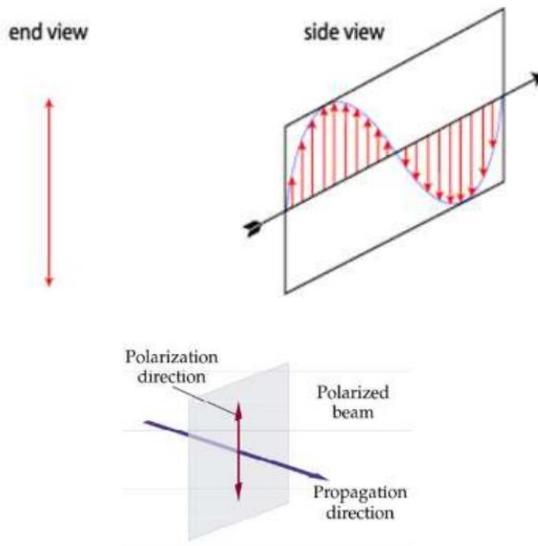
Sumber: Yuliara, 2016.

Gambar 2.3. Cahaya tak terpolarisasi

⁵³ Yuliara, *Polarisasi*, 2.

⁵⁴ Yuliara, *Polarisasi*, 3.

- Cahaya terpolarisasi (*polarized*):



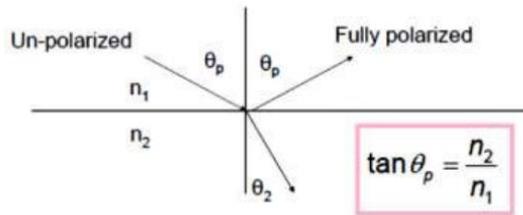
Sumber: Yuliara, 2016.

Gambar 2.4. Cahaya terpolarisasi

1. Metode Polarisasi Cahaya

Secara umum, metode polarisasi cahaya dapat terjadi melalui beberapa fenomena termasuk pemantulan (*reflection*), penyerapan (*absorption*), pembiasan (*refraction*), dan hamburan (*scattering*).

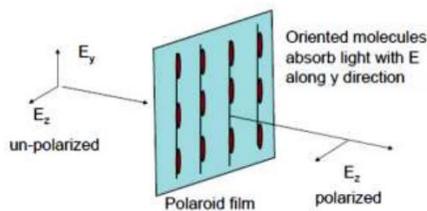
- 1) Polarisasi melalui pemantulan: Cahaya yang awalnya tidak terpolarisasi dapat menjadi terpolarisasi melalui pemantulan pada sudut polarisasi, yang disebut sudut Brewster's. Ilustrasinya dapat dilihat pada Gambar 6.



Sumber: Yuliara, 2016.

Gambar 2.5. Ilustrasi pemantulan

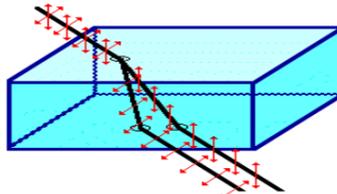
- 2) Polarisasi melalui penyerapan: Jika cahaya tidak terpolarisasi melewati film polaroid, molekul-molekul di dalam film tersebut akan menyerap sebagian cahaya, memungkinkan hanya cahaya tertentu yang dapat melewatinya. Ilustrasinya diberikan pada Gambar 7.



Sumber: Yuliara, 2016.

Gambar 2.6. Ilustrasi penyerapan

- 3) Polarisasi melalui pembiasan: Pembiasan terjadi ketika cahaya melewati dua bahan yang berbeda, mengalami perubahan arah pada kedua permukaan bahan tersebut. Berkas cahaya yang dibiaskan mengalami polarisasi pada bidang tegak lurus terhadap permukaan.



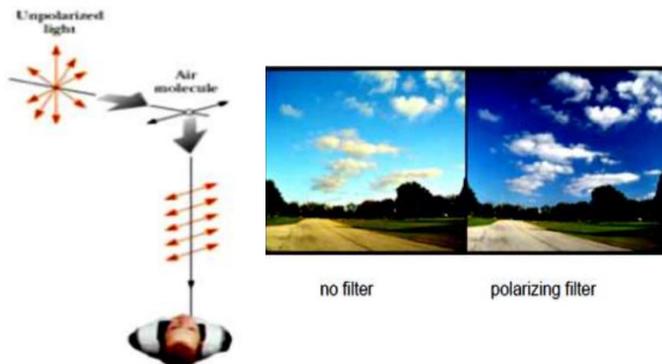
The two refracted rays passing through the Iceland Spar crystal are polarized with perpendicular orientations.

Sumber: Yuliara, 2016.

Gambar 2.7. Ilustrasi pembiasan

- 4) Polarisasi melalui hamburan: Polarisasi cahaya terjadi sebagian dari langit karena hamburan molekul udara di atmosfer. Warna biru di langit disebabkan oleh hamburan Rayleigh, yang lebih efektif pada panjang gelombang pendek. Fenomena ini dapat dimanfaatkan dalam aplikasi seperti pemahaman citra komputer yang melibatkan

penginderaan cahaya setelah bertabrakan dan terhambur oleh molekul atmosfer bumi.⁵⁵



Sumber: Yuliara, 2016.

Gambar 2.8. Ilustrasi hamburan oleh molekul udara di atmosfer

Polarisasi cahaya yang berasal dari hamburan cahaya merupakan salah satu fenomena optik yang umum di alam. Akibat dari kejadian ini, cahaya matahari dapat menjadi terpolarisasi sebagian secara linier setelah berinteraksi dengan molekul atmosfer bumi yang menyebabkan hamburan. Penggunaan fenomena ini dapat diaplikasikan dalam pemrosesan citra oleh komputer, mewakili suatu pengembangan dari kemampuan sistem untuk mendeteksi dan memahami sinyal cahaya.⁵⁶

⁵⁵ Yuliara, *Polarisasi*, 3-7.

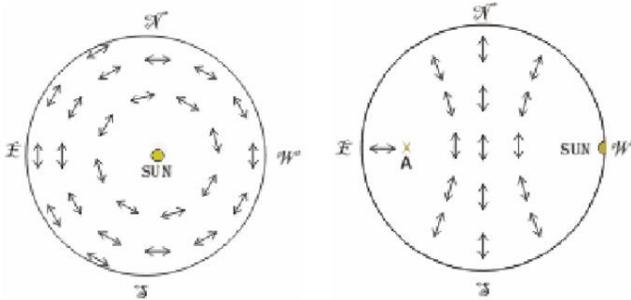
⁵⁶ Yuliara, *Polarisasi*, 3-7.

2. Pola Polarisasi

Polarisasi terjadi ketika cahaya melintasi atmosfer Bumi, dikenal sebagai polarisasi parsial akibat hamburan. Proses ini terus-menerus terjadi dalam atmosfer (multiple scattering) dan membentuk pola horizontal di seluruh langit, diberi nama e-vektor.⁵⁷ Secara umum, langit terpolarisasi sepanjang lingkaran yang berpusat di Matahari, dengan polarisasi maksimum terjadi pada sudut hamburan 90° . Oleh karena itu, ketika Matahari berada dekat zenith, langit menjadi terpolarisasi secara horizontal di seluruh cakrawala. Dengan kata lain, saat Matahari terbenam di Barat, langit akan mengalami polarisasi maksimum sepanjang garis meridian, dengan arah vertikal dari Utara ke Selatan.⁵⁸

⁵⁷ István Pomozi, et.al, "How The Clear-Sky Angle of Polarization Pattern Continues Underneath Clouds: Full-Sky Measurements and Implications for Animal Orientation," *The Journal of Experimental Biology* 204 (2001): 2935, diakses 28 Oktober 2023, doi: <https://doi.org/10.1242/jeb.204.17.2933>.

⁵⁸ Susanto, "Estimasi Citra Polarisasi," 62.

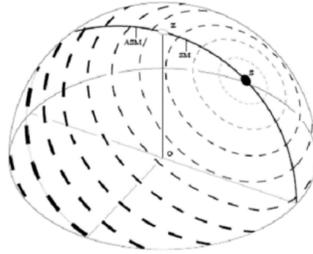


Sumber: Susanto, 2011.

Gambar 2.9. Polarisasi oleh posisi Matahari. Polarisasi horizontal ketika Matahari di zenit (kiri) dan Polarisasi vertikal ketika Matahari terbenam (kanan)

Penelitian yang dilakukan oleh Edi Susanto dan rekan-rekannya menjelaskan bahwa pola polarisasi mengalami rotasi berdasarkan posisi Matahari terhadap zenit. Selama rotasi, pola polarisasi tetap mempertahankan dua karakteristik utama, yaitu: (1) memiliki garis simetri dengan titik tengah zenit membentuk sudut 180° . Posisi Matahari pada titik ini disebut sebagai solar meridian (SM), dan pantulan cahayanya terhadap zenit disebut anti solar meridian (ASM); (2) *e-vektor* selalu berada tegak lurus terhadap solar meridian.⁵⁹

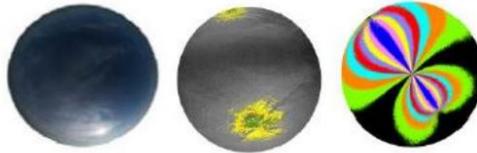
⁵⁹ Yuliara, *Polarisasi*, 3-7.



Sumber: Lambrinos, et.al, 2000.

Gambar 2.10. Pola polarisasi hamburan cahaya dalam tiga dimensi

Pola polarisasi tersebut memiliki tiga parameter kunci yang perlu diketahui, yaitu DoP, AoP, SM (posisi Matahari), dan ASM. Posisi Matahari dapat direpresentasikan melalui DoP, di mana DoP untuk Matahari dan anti-Matahari berkisar antara 0-0,1. Matahari dan anti-Matahari selalu berada pada posisi yang berlawanan terhadap zenith, membentuk suatu garis lurus ketika dihubungkan.⁶⁰



Sumber: Susanto, 2011.

Gambar 2.11. Keadaan langit, DoP, AoP (dari kiri ke kanan)

Ada tiga kondisi langit yang umumnya digunakan sebagai objek pengamatan, yaitu cerah, berawan, dan mendung. Dari ketiga kondisi tersebut, langit cerah memberikan hasil

⁶⁰ Susanto, "Estimasi Citra Polarisasi," 63.

pencitraan terbaik untuk DoP dan AoP, sedangkan kondisi langit mendung cenderung menghasilkan gambar yang kurang jelas atau tidak terpolarisasi. Sebagai contoh, langit rayleigh menggambarkan kondisi langit yang benar-benar cerah dan tidak tertutup awan, sering kali terjadi dalam simulasi program dengan memperhitungkan posisi Bumi dan Matahari.⁶¹

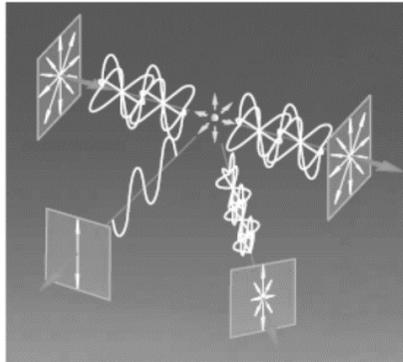
3. Representasi Polarisasi

Umumnya, secara tradisional, proses penginderaan cahaya dilakukan dengan merekam intensitas dan warna cahaya. Namun, dalam fenomena polarisasi alami, terdapat informasi tambahan yang dapat diambil dan digunakan untuk lebih memahami obyek yang diamati. Informasi tersebut mencakup derajat polarisasi, sudut polarisasi, dan variasi intensitas cahaya yang muncul akibat polarisasi.

Dalam konteks langit biru, informasi tambahan mengenai polarisasi cahaya dapat diperoleh melalui pendekatan analisis yang berbeda dari metode pengukuran cahaya konvensional. Hasil dari pengukuran tersebut menghasilkan pola polarisasi yang simetris terhadap garis zenit dan posisi Matahari, yang dapat digunakan sebagai referensi arah. Warna dan polarisasi cahaya di langit timbul akibat hamburan cahaya (*scattering*),

⁶¹ Susanto, "Estimasi Citra Polarisasi," 63.

sebuah istilah teknis untuk cahaya yang dipantulkan ke segala arah secara acak oleh elemen di atmosfer.⁶²



Sumber: Wehner, 2001.⁶³

Gambar 2.12. Teknis kejadian polarisasi hamburan cahaya pada atmosfer

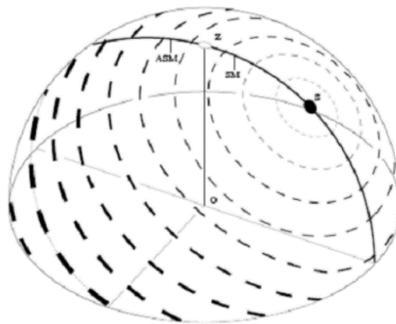
Cahaya Matahari yang tiba pada awalnya tidak terpolarisasi (seperti yang terlihat pada panel kiri atas) dan tetap demikian jika mencapai pengamat secara langsung (dengan sudut hambur 0° , seperti yang terlihat pada panel kanan atas). Namun, jika cahaya tersebut mengalami hamburan oleh molekul atmosfer (O_2 dan N_2), cahaya dapat menjadi terpolarisasi secara linear. Berdasarkan teori Rayleigh, derajat

⁶² John Tyndall, “On the blue color of the sky, the polarization of sky light, and on the polarization by cloudy matter in general,” *Proceedings of the Royal Society of London* 17 (1868-1869), 223, diakses 29 Oktober 2023, doi: <https://doi.org/10.1098/rspl.1868.0033>.

⁶³ Rudiger Wehner, “Polarization Vision – A Uniform Sensory Capacity?,” *The Journal of Experimental Biology* 204 (2001), 2589-2596.

polarisasi mencapai 100% ketika sudut hamburan mencapai 90° (lihat panel bawah kiri), sementara sudut hamburan lainnya menghasilkan cahaya terpolarisasi dengan derajat yang lebih rendah (lihat panel kanan bawah).⁶⁴

Proses hamburan ini berlangsung terus-menerus di atmosfer (*multiple scattering*) dan membentuk pola horizontal yang dikenal sebagai *e-vector*,⁶⁵ seperti yang diilustrasikan pada gambar 2 di bawah ini.



Sumber: Lambrinos, et.al, 2000.

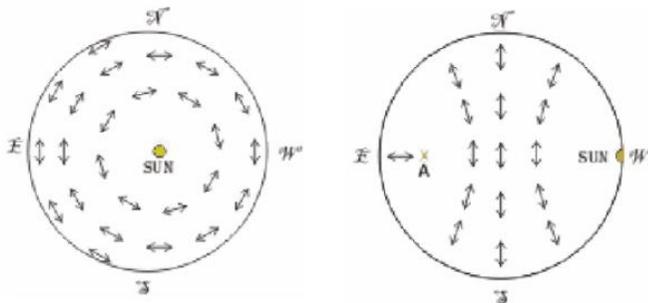
Gambar 2.13. Representasi *multiple scattering* dalam bentuk tiga dimensi

Orientasi polarisasi cahaya sangat dipengaruhi oleh posisi Matahari. Jika Matahari berada dekat dengan zenit, langit akan terpolarisasi secara horizontal sepanjang horison. Namun, pada

⁶⁴ Mohammad Iqbal, “Perkembangan Riset Aplikasi Polarisasi Citra dari Hamburan Cahaya di Langit Biru sebagai Kompas Penunjuk Arah Alternatif,” diakses 29 Oktober 2023, <http://mohiqbal.staff.gunadārma.ac.id/Publications/files/1721/Mohiqbal+-+SNTI+2008+Polarisasi+dari+hamburan+cahaya+di+Langit.pdf>

⁶⁵ Pomozi, et.al, “How The Clear-Sky,” 2938.

posisi lain, seperti saat Matahari terbenam di Barat, langit akan mengalami polarisasi maksimum sepanjang garis meridian dan secara vertikal pada horison di utara dan selatan.⁶⁶



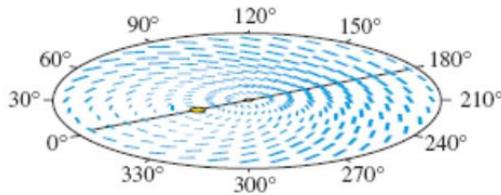
Sumber: Susanto, 2011.

Gambar 2.14. Polarisasi oleh posisi Matahari

Citra langit dalam representasi tiga dimensi diubah menjadi representasi dua dimensi menggunakan sistem koordinat polar, di mana sudut zenit (θ) dan sudut azimut (ϕ) dari barat diukur secara radial dan tangensial. Dalam koordinat sistem dua dimensi, posisi zenit berperan sebagai sumber, dan horison terletak pada lingkaran terluar.⁶⁷

⁶⁶ Iqbal, "Perkembangan Riset Aplikasi," 2.

⁶⁷ Iqbal, "Perkembangan Riset Aplikasi," 4.



Sumber: Wehner, 2001.

Gambar 2.15. Pola *e-vector* langit dalam dua dimensi

Teori dasar mengenai pola derajat dan sudut polarisasi langit dihitung dengan menggunakan model *single-scattering Rayleigh*. Dalam model ini, derajat polarisasi linier langit (δ) diungkapkan dalam persamaan (1) dan (2):

$$\delta = \delta_{max} \sin^2 \gamma (1 + \sin^2 \gamma) \quad (1)$$

$$\cos \gamma = \sin \theta_s \sin \theta \cos \psi + \cos \theta_s \cos \theta \quad (2)$$

Di sini, γ adalah sudut antara observer di permukaan bumi dan titik celestial terhadap Matahari, θ_s adalah sudut zenit Matahari, dan θ adalah sudut observer di permukaan bumi antara zenit dan meridian Matahari. Untuk setiap nilai θ_s , δ_{max} ditentukan berdasarkan pola derajat polarisasi langit yang diukur dengan menggunakan metode *full-sky imaging polarimetry* yang dilakukan oleh István.⁶⁸

Dalam model Rayleigh, orientasi atau sudut polarisasi adalah tegak lurus terhadap bidang hamburan cahaya, dilihat dari perspektif pengamat, titik celestial yang diamati, dan posisi Matahari. Polaritas yang terjadi bersifat independen terhadap

⁶⁸ Pomozi, et.al, "How The Clear-Sky," 2935.

panjang gelombang. Teori hamburan Rayleigh ini akan digunakan sebagai acuan untuk membandingkan citra hasil pengamatan langsung polarisasi langit selanjutnya.⁶⁹

Model matriks Mueller menjadi elemen dari kalkulus Mueller yang digunakan untuk menghitung dampak polarisasi dari suatu kejadian. Cahaya yang datang direpresentasikan dalam bentuk vektor 4 dimensi yang disebut Stokes vector. Objek yang mengubah status polarisasi cahaya datang direpresentasikan oleh matriks 4x4 yang dikenal sebagai matriks Mueller. Pada pengambilan citra langit, filter polarisasi yang digunakan adalah polarizer linier yang dirotasikan pada sudut θ , sehingga digunakan matriks Mueller berikut:⁷⁰

$$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & \sin 2\theta & \sin 2\theta & 0 \\ \cos 2\theta & \cos^2 2\theta & \sin 2\theta \cos 2\theta & 0 \\ \sin 2\theta & \sin 2\theta \cos 2\theta & \sin^2 2\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Dengan demikian, untuk tiga sudut (0° , 45° , 90°) polarizer yang digunakan, hasilnya adalah sebagai berikut:

1. Pada sudut 0° , Matriks Mueller dari polarizer rotator menunjukkan polarisasi linier secara horizontal.

$$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

⁶⁹ Iqbal, "Perkembangan Riset Aplikasi," 4.

⁷⁰ Dennis Goldstein, *Polarized Light, Second Edition*, chap. 5, (Boca Raton: CRC Press, 2003), diakses 30 Oktober 2023, doi: <https://doi.org/10.1201/9780203911587>

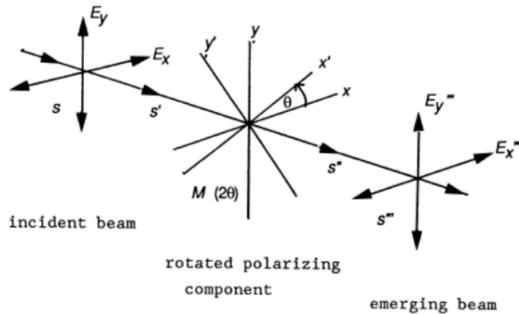
2. Pada sudut 45° , Matriks Mueller dari polarizer rotator menunjukkan polarisasi linier secara diagonal di antara kuadran.

$$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

3. Pada sudut 90° , Matriks Mueller dari polarizer rotator menunjukkan polarisasi linier secara vertikal.⁷¹

$$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Pengukuran ini berlaku ketika cahaya datang (*incident beam*) mengalami perubahan sudut θ dengan menggunakan polarizer rotator, seperti yang diilustrasikan di bawah ini.



Sumber: Goldstein, 2003.

Gambar 2.16. Ilustrasi rotator polarizer linear

⁷¹ Goldstein, *Polarized Light*,.

Sementara itu, cahaya datang direpresentasikan oleh parameter Stokes. Beberapa ketentuan untuk Stokes Vector adalah:

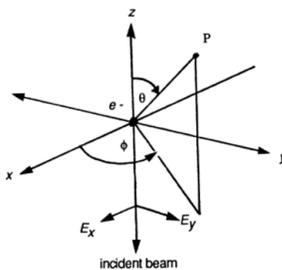
$$\begin{bmatrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} S_0: \text{Total intensitas} \\ S_1: 0^\circ \text{ linear polarized light} \\ S_2: 45^\circ \text{ linear polarized light} \\ S_3: \text{Right circular polarized light} \end{array} \quad (7)$$

Untuk menghitung status polarisasi cahaya yang dipantulkan oleh suatu objek, berlaku ketentuan umum:

$$[\text{output light}] = [\text{Mueller matrix}] [\text{input light}]$$

$$\begin{bmatrix} S_0' \\ S_1' \\ S_2' \\ S_3' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} \\ m_{41} & m_{42} & m_{43} & m_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Penjelasan di atas bersifat ideal untuk cahaya datang. Pada situasi sebenarnya, cahaya mengalami hamburan oleh elektron-elektron pada molekul atmosfer.



Sumber: Goldstein, 2003.

Gambar 2.17. Elektron bebas sebagai penyebab hamburan cahaya

Cahaya datang terhambur dalam sudut θ dan φ , dipengaruhi oleh massa elektron, mengikuti persamaan:

$$E_{\theta} = \frac{-e^2}{4\pi\epsilon_0 mc^2 R} [E_{0x} e^{i\delta x} e^{i\omega t}] \cos \theta \quad (9)$$

$$E_{\phi} = \frac{-e^2}{4\pi\epsilon_0 mc^2 R} [E_{0y} e^{i\delta x} e^{i\omega t}] \quad (10)$$

Sehingga, vektor Stokes untuk cahaya datang yang terhambur di atas dapat diwakili oleh persamaan berikut:

$$S' = \frac{1}{2} \left(\frac{-e^2}{4\pi\epsilon_0 mc^2 R} \right)^2 \begin{bmatrix} S_0(1 + \cos^2\theta) + S_1 \sin^2\theta \\ S_0 \sin^2\theta + S_1(1 + \cos^2\theta) \\ 2S_2 \cos \theta \\ 2S_3 \cos \theta \end{bmatrix} \quad (11)$$

Kemudian dijabarkan dan matrik Mueller rotator polarizer menjadi:

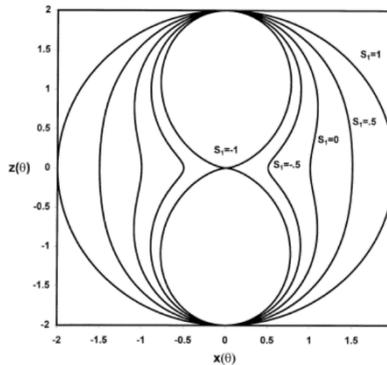
$$M = \frac{1}{2} \left(\frac{-e^2}{4\pi\epsilon_0 mc^2 R} \right)^2 \begin{bmatrix} 1 + \cos^2\theta & \sin^2\theta & 0 & 0 \\ \sin^2\theta & 1 + \cos^2\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 \cos \theta \end{bmatrix} \quad (12)$$

Dimana $-e^2 / (4\pi\epsilon_0 mc^2)$ merupakan karakteristik elektron pada radius R. Oleh karena itu, intensitas yang terbentuk akan berbanding lurus dengan luas area yang ditempati oleh elektron-elektron tersebut. Secara umum, intensitas cahaya yang mengalami proses hamburan oleh elektron dapat dijelaskan sebagai berikut:⁷²

$$I(\theta) = \frac{1}{2} [S_0(1 + \cos^2\theta) + S_1 \sin^2\theta] \quad (13)$$

⁷² Iqbal, "Perkembangan Riset Aplikasi," 6.

Kontur yang dihasilkan dari intensitas dapat diamati dengan mengatur kombinasi cahaya datang sebagai cahaya yang terpolarisasi secara linier ($S_1=-1$ atau $S_1=1$) dan cahaya yang tidak terpolarisasi ($S_1=0$) dari persamaan (13) di atas, seperti yang terlihat pada Gambar 2.18 di bawah ini.



Sumber: Goldstein, 2003.

Gambar 2.18. Kontur yang terbentuk akibat elektron bebas. Selanjutnya, derajat polarisasi dapat dihitung dengan memperoleh parameter Stokes dari cahaya yang terpolarisasi (hasil dari perkalian vektor Stokes cahaya datang yang terhambur dengan matriks Mueller), menggunakan rumus:

$$\rho = \frac{\sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2}}{S_0} \quad (14)$$

Sedangkan sudut polarisasi dapat ditentukan dari persamaan:⁷³

$$\varphi = \frac{1}{2} \arccos \frac{S_1}{\sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2}} \quad (15)$$

⁷³ Iqbal, "Perkembangan Riset Aplikasi," 7.

C. Pemetaan Polarisasi Cahaya Atmosfer Senja oleh Cronin

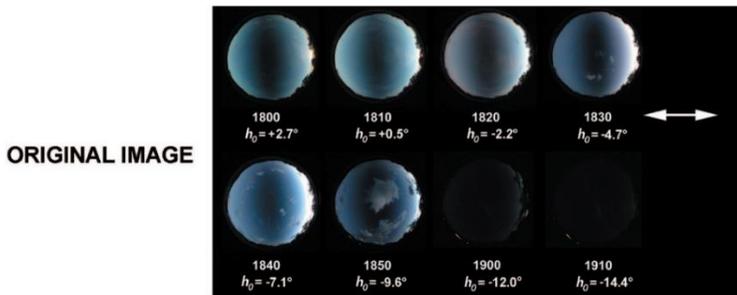
1. Pemetaan Polarisasi

Penyebaran cahaya Matahari menciptakan pola cahaya yang sebagian terpolarisasi secara linear di langit sepanjang hari, dan saat Bulan terang, pola serupa terlihat pada malam hari. Penelitian Cronin berfokus pada pola polarisasi langit selama periode senja, ketika Matahari berada di bawah horizon, untuk menentukan derajat dan orientasi medan cahaya terpolarisasi dan bagaimana perubahan tersebut terjadi sebelum Matahari terbit dan setelah Matahari terbenam. Selama senja, cahaya langit terpolarisasi terjadi dalam pita lebar yang berjalan tegak lurus dengan lokasi Matahari yang tersembunyi dan mencapai derajat polarisasi mendekati 80% pada panjang gelombang >600 nm. Di daerah tropis, pola ini muncul sekitar 1 jam sebelum Matahari terbit setempat atau menghilang sekitar 1 jam setelah Matahari terbenam setempat (dalam waktu 10 menit setelah dimulainya *syafaq* di pagi hari atau sebelum berakhirnya di senja) dan tetap hampir tidak berubah sepanjang periode senja.⁷⁴

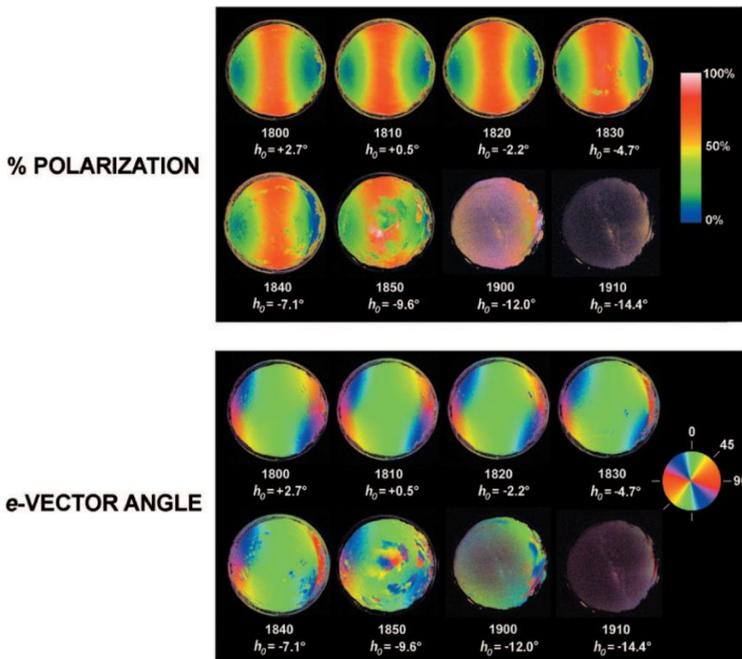
Citra-citra dari seri data yang diambil sepanjang Matahari terbenam hingga periode senja ditampilkan dalam Gambar 3.1 Citra-citra ini dikumpulkan pada 15 September 2004, di Pulau

⁷⁴ Thomas W. Cronin, et al., "Celestial Polarization Patterns During Twilight", *Applied Optics: Optica Publishing Group* 45 (2006): 5583, diakses 04 Agustus 2023, doi: <https://doi.org/10.1364/AO.45.005582>.

Lizard, Australia (lintang $14^{\circ} 40'$ LS, bujur $145^{\circ} 26'$ BT). Pada hari itu, Matahari terbenam terjadi pada pukul 18:14, dan *syafaq* berakhir pada pukul 19:25 (pada saat ini, pengaruh Matahari berhenti terdeteksi di langit dan dianggap terjadi ketika pusat Matahari berada 18° di bawah horizon). Meskipun foto diambil dari 18:00 hingga 20:15, tidak ada perubahan yang dicatat dalam pola polarisasi setelah pukul 19:10 (elevasi Matahari, $h_0 = 14,4^{\circ}$). Jadi ini adalah citra terbaru yang diilustrasikan dalam citra. Pada semua citra langit dalam penelitiannya, zenit berada di tengah citra, utara (N) berada di bagian atas citra, dan timur (E) berada di sebelah kiri. Ini berlawanan dengan kompas, karena kamera diarahkan ke atas.⁷⁵



⁷⁵ Cronin, et al., “Celestial Polarization Patterns,” 5583.



Sumber: Cronin, 2006.

Gambar 2.19. Pemetaan polarisasi linear langit saat Matahari terbenam.⁷⁶

⁷⁶ Gambar 2.19. menunjukkan polarisasi linear langit saat Matahari terbenam dan selama senja. Citra penuh langit diambil dengan menggunakan kamera digital Nikon Coolpix 5700 yang dilengkapi lensa fisheye dan filter polarisasi linear di antara lensa dan kamera. Data terintegrasi secara spektral diperoleh pada 15 September 2004 di Pulau Lizard, Australia, dengan setiap citra dilabeli dengan waktu lokal dan elevasi Matahari. Pada semua citra, zenit berada di tengah, N di bagian atas, dan E di sebelah kiri. Citra-citra teratas adalah foto digital asli dengan orientasi filter polarisasi E–W, menyoroti pita gelap orientasi *e-vector* N–S. Set tengah menunjukkan % polarisasi yang dianalisis dalam warna spektral, dan set terbawah menunjukkan sudut *e-vector*, juga dalam warna spektral. Pola warna yang aneh dalam beberapa citra disebabkan oleh pergerakan awan di antara serangkaian tampilan.

Panel atas dari Gambar 2.19 menunjukkan tampilan langit dalam foto digital asli yang dilihat melalui polarisasi dengan sumbu transmisi berorientasi E-W (seperti yang disarankan oleh panah), untuk menunjukkan pita gelap polarisasi yang meluas pada sumbu N-S di atas kepala. Pola ini menjadi semakin sulit untuk divisualisasikan seiring berjalannya waktu dan langit malam didominasi oleh bintang-bintang dan Bima Sakti daripada cahaya Matahari tersebar di ketinggian tinggi. Meskipun begitu, foto digital asli dapat dianalisis hingga sekitar 19:00 ($h_0=12.0^\circ$). Panel citra tengah menunjukkan derajat polarisasi terintegrasi secara spektral (P_L) di seluruh langit, dikodekan seperti yang ditunjukkan oleh parameter persentase di sebelah kanan, dan panel citra bawah menunjukkan sudut polarisasi (sudut e -vector) di seluruh langit, juga dikodekan seperti di parameter. Pola warna yang aneh, terutama mencolok pada pukul 18:50, disebabkan oleh pergerakan awan antara *frame*, yang menyebabkan kesalahan dalam analisis.⁷⁷

2. Karakteristik Spektral dari Polaritas Senja

Hamburan Rayleigh yang menghasilkan polarisasi langit terjadi pada panjang gelombang pendek, tetapi cahaya langit memiliki polarisasi terbesar pada panjang gelombang menengah hingga panjang. Ini karena muatan polarisasi tinggi awalnya

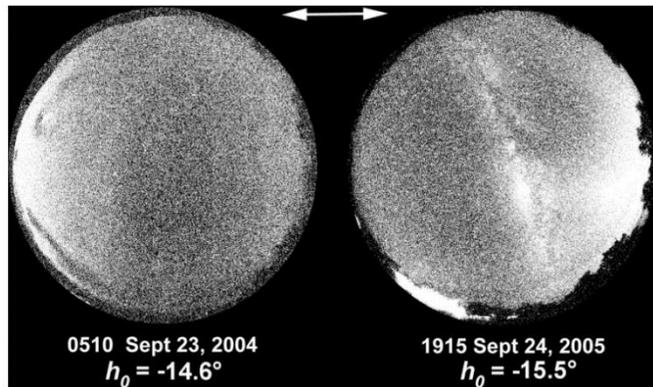
⁷⁷ Cronin, et al., "Celestial Polarization Patterns," 5585.

dalam ultraviolet dengan cepat terdegradasi oleh hamburan melalui lintasan ganda (*multi-scattering*) saat cahaya menuju permukaan Bumi. Fakta ini mungkin menjadi alasan mengapa serangga menggunakan fotoreseptor ultraviolet untuk mendeteksi polarisasi dan meningkatkan kemampuan mereka menganalisis cahaya yang telah dipolarisasi yang tersebar dari lokasi yang relatif dekat, di bawah awan, atau di bawah rimbun hutan.⁷⁸

Polarisasi cahaya langit yang muncul ketika Matahari berada di bawah horizon harus berasal dari ketinggian yang lebih tinggi di atmosfer, di mana sinar Matahari tersebar pada awal senja, daripada selama siang hari. Oleh karena itu, nilai polarisasi secara keseluruhan diharapkan rendah dan penurunan polarisasi gelombang pendek yang lebih besar daripada yang terlihat selama siang hari. Cahaya terpolarisasi yang tersebar harus melintasi seluruh atmosfer bagian bawah dalam perjalanan ke pengamat dan memberikan kesempatan cukup untuk hamburan (*multi scattering*) kehilangan muatan polarisasi.⁷⁹

⁷⁸ Cronin, et al., "Celestial Polarization Patterns," 5586.

⁷⁹ Cronin, et al., "Celestial Polarization Patterns," 5586-5587.



Sumber: Cronin, 2006.

Gambar 2.20. Batas pola polarisasi cahaya langit dalam langit senja.⁸⁰

Derajat polarisasi melintasi spektrum meningkat secara perlahan dan terus-menerus dari 60% pada 350 nm menjadi 75% pada 750 nm. Namun derajat polarisasi tidak menunjukkan penurunan signifikan dalam P_L pada panjang gelombang pendek.

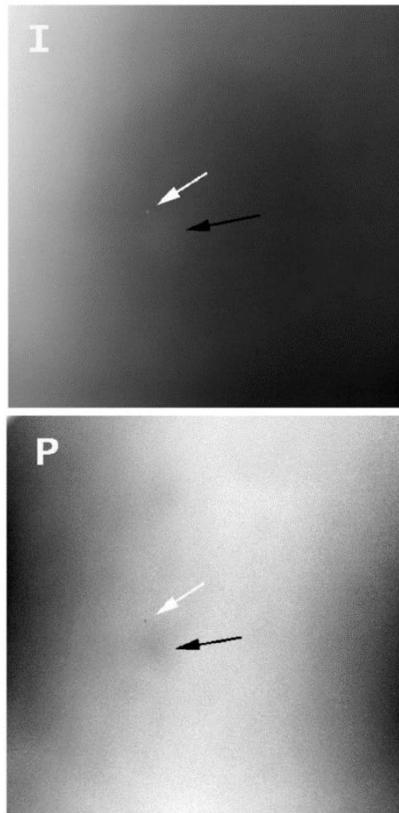
⁸⁰ Gambar 2.20 menunjukkan pola polarisasi linear langit saat pertama dan terakhir kali muncul. Foto-foto ini, yang terintegrasi secara spektral, diambil sebelum Matahari terbit pada 23 September 2004 dan setelah Matahari terbenam pada 24 September 2005 di Pulau Lizard, Australia, dengan menggunakan filter polarisasi berorientasi E–W. Kontras citra ditingkatkan secara signifikan untuk menunjukkan pita kegelapan relatif yang melintasi langit dari utara ke selatan. Intensitas dalam citra tidak diukur secara kuantitatif, dan Gambar ini dimaksudkan untuk menunjukkan batas yang sangat terlihat dari pola polarisasi cahaya langit dalam langit senja (dibandingkan dengan panel teratas di Gambar. 1). Orientasi citra menempatkan zenith di tengah, N di bagian atas, dan E di sebelah kiri. Pada panel kanan, Jalur Bima Sakti terlihat terang di atas, dan cahaya zodiak membentang ke atas dari posisi Matahari di barat. Area terang di Tenggara (SE) disebabkan oleh lampu buatan dari stasiun penelitian.

Terdapat peningkatan derajat polarisasi seiring waktu juga, tetapi perubahan itu kecil dan sangat bertahap.⁸¹

3. Penampakan Objek yang Tidak Terpolarisasi di Langit Senja

Objek buatan dan alami di langit selama senja—seperti awan, gumpalan kabut, satelit, balon terbang tinggi, atau pesawat—dapat sulit dideteksi, ditemukan, dan diidentifikasi. Polarisasi dari objek atau kondisi atmosfer seperti itu hampir selalu akan berbeda dari polarisasi cahaya langit di sekitarnya (bahkan untuk yang berada di atas atmosfer sebenarnya), sering membuatnya jauh lebih terlihat saat menggunakan pencitraan polarisasi.

⁸¹ Cronin, et al., “Celestial Polarization Patterns,” 5586-5587.



Sumber: Cronin, 2006.

Gambar 2.21. Peningkatan kontras pada salah satu objek.⁸²

⁸² Gambar 2.21 Menunjukkan tampilan objek dan kondisi atmosfer di langit. Orientasi citra dengan pusat pada zenith; utara di bagian atas, timur di sebelah kiri. Panel kiri (I) menunjukkan intensitas. Panel kanan (P) menunjukkan P_L , dengan kecerahan yang lebih tinggi menunjukkan % polarisasi yang lebih tinggi. Kedua panel ditingkatkan kontras secara signifikan untuk menyoroti variasi kecil, dan tidak menunjukkan P_L (kanan) atau intensitas sebenarnya (kiri) secara kuantitatif; tetapi baik intensitas maupun P_L meningkat seiring dengan kecerahan citra. Panah putih menunjukkan bintang Altair, terlihat sebagai titik

Objek yang berada pada ketinggian rendah hingga sedang dan memiliki kecerahan yang serupa dengan cahaya langit latar belakang sangat cocok untuk deteksi menggunakan pencitraan polarisasi, sedangkan objek pada ketinggian yang lebih tinggi kemungkinan akan lebih sulit dibedakan dengan menggunakan teknik ini karena polarisasi cahaya langit dihasilkan di bawah objek tersebut. Gambar 2.21 menampilkan citra sebagian langit sebelum Matahari terbit yang berpusat pada zenith terlihat dalam citra intensitas (I , panel atas) sangat ditingkatkan kontras dan dalam citra derajat polarisasi (P_L , panel bawah); panah putih menunjukkan bintang dan yang hitam, gumpalan awan kabut. Bintang dan awan terlihat di kedua panel, tetapi citra polarisasi menunjukkan keduanya dengan lebih jelas, dan gumpalan kabut lainnya terlihat sebagai bercak yang mengurangi derajat polarisasi cahaya langit dapat terlihat di seluruh citra polarisasi. Keuntungan lain dari pencitraan polarisasi adalah gradasi kecerahan yang terlihat di seluruh citra intensitas (disebabkan oleh pengaruh Matahari di bawah horizon) dihapus saat tampilan dianalisis hanya untuk polarisasi.⁸³

terang (bercahaya) dalam citra intensitas dan titik gelap (terdepolarisasi) dalam citra polarisasi. Panah hitam menunjukkan gumpalan awan yang samar terlihat dalam citra intensitas dan jelas terlihat sebagai bercak gelap dalam citra polarisasi. Beberapa bercak kabut lainnya terlihat dalam citra polarisasi sebagai bercak yang lebih gelap, tetapi sulit atau bahkan tidak mungkin terlihat dalam citra intensitas.

⁸³ Cronin, et al., "Celestial Polarization Patterns," 5587-5588.

BAB III

PERBANDINGAN KARAKTERISTIK FISIS POLARISASI CITRA HILAL

Pentingnya pengembangan teknologi dalam bidang pengolahan citra tidak terbantahkan lagi, khususnya dalam pemahaman dan analisis data terkait citra hilal. Citra hilal, sebagai representasi visual dari fase bulan, menjadi fokus penelitian yang semakin mendalam, terutama dengan adanya varian data seperti citra hilal terpolarisasi dan tidak terpolarisasi. Keberagaman varian data ini memberikan kesempatan untuk menggali informasi yang lebih mendalam tentang kondisi atmosfer dan karakteristik hilal.

Dalam konteks ini, sudut polarisasi juga menjadi aspek penting yang harus diperhatikan. Penggunaan filter *circular polarizer* (CPL) pada sudut tertentu dapat mempengaruhi hasil akhir citra hilal. Filter CPL dapat diaplikasikan dalam berbagai sudut, mulai dari tanpa filter, 0° , 45° , hingga 90° . Keempat kondisi ini memberikan variasi dalam pemrosesan citra dan menghasilkan informasi yang berbeda tergantung pada sudut polarisasi yang digunakan. Oleh karena itu, pemahaman mendalam terhadap dampak sudut polarisasi pada citra hilal menjadi kunci untuk memastikan interpretasi yang akurat dan komprehensif terhadap data yang diperoleh.

Dalam bab ini, penulis menjelaskan perbandingan antara citra hilal terpolarisasi dan tidak terpolarisasi, serta menginvestigasi pengaruh dari berbagai sudut polarisasi filter CPL terhadap hasil akhir citra hilal. Analisis ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang lebih baik tentang karakteristik citra hilal dalam konteks pengolahan data dan

memberikan kontribusi pada pengembangan teknologi pengolahan citra yang lebih maju.

A. Filter *Circular Polarizer* (CPL)

Filter Circular Polarizer (CPL) adalah alat fotografi yang berguna untuk mengontrol dan mengurangi pantulan cahaya yang tidak diinginkan serta meningkatkan kontras dan saturasi warna dalam suatu gambar. Filter ini bekerja dengan cara mengatur polarisasi cahaya yang masuk ke lensa kamera. Salah satu karakteristik utama CPL adalah kemampuannya mengurangi atau menghilangkan pantulan dari permukaan non-logam, seperti air atau kaca.



Sumber: K&F Concept, 2023.

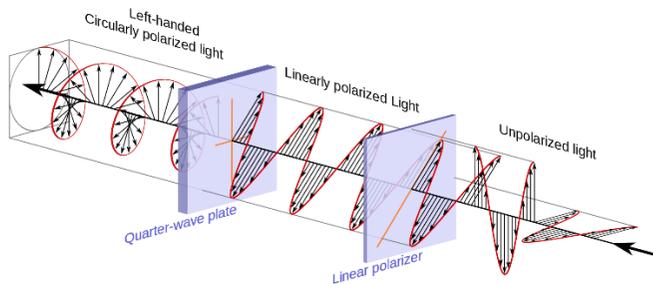
Gambar 3.1. Filter *circular polarizer* (CPL)

Secara umum, penggunaan filter CPL dapat memberikan beberapa manfaat, antara lain:

1. menghilangkan pantulan. CPL dapat membantu mengurangi pantulan cahaya dari permukaan air, menghasilkan gambar yang lebih jernih dan detail pada subjek yang terendam;

2. meningkatkan kontras: dengan mengurangi pantulan, filter CPL dapat meningkatkan kontras dalam gambar, membuat perbedaan antara bagian terang dan gelap menjadi lebih tajam;
3. memperkuat warna: filter ini juga dapat meningkatkan saturasi warna, memberikan warna yang lebih kaya dan hidup pada subjek foto;
4. mengatur langit biru: CPL sering digunakan untuk memperkuat warna langit biru, membuatnya terlihat lebih intens dalam foto lanskap; dan
5. mengurangi *haze*: CPL dapat membantu mengurangi efek kabut atau haze dalam gambar, memberikan kejelasan yang lebih baik pada objek yang jauh.

Filter CPL bekerja dengan cara memutar elemen filter untuk menyesuaikan efek polarisasi pada cahaya yang masuk ke lensa kamera. Ketika filter ini diatur dengan benar, ia dapat meminimalkan atau menghilangkan refleksi yang terjadi pada permukaan air atau kaca, sehingga memungkinkan kamera menangkap detail yang lebih jelas di bawahnya. Filter ini juga berguna dalam menghadapi kondisi cahaya yang kontras, seperti langit biru yang terlalu cerah, di mana CPL dapat membantu mengurangi silau dan meningkatkan kejernihan langit.



Sumber: Wikipedia, 2023.

Gambar 3.2. Teknis kerja CPL¹

Untuk kamera-kamera modern, umumnya digunakan polarisasi sirkular (CPL). Ini terdiri dari dua bagian, pertama-tama ada polarisasi linear yang memberikan efek *polaroid*. Kemudian ada sebuah pelat seperempat gelombang yang mengubah cahaya yang tadinya terpolarisasi linear menjadi cahaya terpolarisasi sirkular sebelum masuk ke dalam kamera. Langkah ini diperlukan agar tidak ada masalah dengan sensor fokus otomatis dan pengukur cahaya pada beberapa kamera, yang mungkin tidak berfungsi dengan baik jika hanya menggunakan polarisasi linear biasa.²

¹ Ada beberapa cara untuk menciptakan cahaya terpolarisasi sirkular, yang termurah dan paling umum melibatkan penempatan pelat seperempat gelombang setelah polarisator linear dan mengarahkan cahaya tak terpolarisasi melalui polarisator linear. Cahaya yang terpolarisasi linear yang keluar dari polarisator linear diubah menjadi cahaya terpolarisasi sirkular oleh pelat seperempat gelombang. Poros transmisi polarisator linear perlu berada di tengah (45°) antara sumbu cepat dan lambat pelat seperempat gelombang.

² Michael Bass, *Handbook of Optics Second Edition*, (U.S.A: McGraw-Hill, Inc, 1995), chap. 22.23.

B. Persiapan dan Proses Pengambilan Data

Proses pengambilan data merupakan tahap kritis dalam setiap penelitian atau eksperimen, dan jadwal pengambilan data yang telah dilakukan menjadi elemen penting dalam memastikan keteraturan dan keakuratan informasi yang diperoleh. Penelitian ini menggambarkan upaya yang telah dilakukan untuk mengumpulkan data terkait varian citra hilal, baik dalam kondisi terpolarisasi maupun tidak terpolarisasi, serta sudut polarisasi Filter CPL pada berbagai konfigurasi (0° , 45° , dan 90°) termasuk tanpa filter.

Observatorium Universitas Islam Walisongo Semarang, Indonesia menjadi lokasi pengambilan data. Koordinat geografis lokasi ini adalah $06^\circ 12' 11''$ LS $106^\circ 47' 15''$ BT. Keberadaan observatorium ini menjadi salah satu rujukan laporan kegiatan rukyat hilal bagi Kementerian Agama Republik Indonesia. Selama kesempatan penulis melakukan penelitian di lokasi tersebut, kondisi atmosfer cenderung berawan, terutama ketika melihat ke arah horizon barat selama proses rukyat hilal tanggal 29 bulan Hijriah.

Pengambilan data ini dilakukan dengan cermat dan terstruktur sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan. Setiap tahap pengambilan data dilakukan pada waktu-waktu tertentu untuk memastikan bahwa variabel-variabel tertentu dapat diukur dan direkam secara konsisten. Jadwal pengambilan data yang telah diimplementasikan menjadi dasar untuk menjaga konsistensi hasil, meminimalkan variabilitas, dan menyediakan dasar yang kuat untuk analisis lebih lanjut.

Bahasan awal adalah detail jadwal pengambilan data, termasuk interval waktu, frekuensi pengambilan data, dan faktor-faktor lain yang mempengaruhi proses tersebut. Pemahaman yang baik terhadap jadwal pengambilan data menjadi landasan untuk interpretasi yang akurat dan memastikan bahwa hasil penelitian mencerminkan kondisi yang sesungguhnya. Tabel berikut jadwal yang telah penulis laksanakan beserta detailnya.

Tabel 3.1. Jadwal Pengambilan Data

Tanggal	Ghurub (WIB)	Altitude	Elongasi	Illuminasi	Citra			
					No CPL	0°	45°	90°
15-Sep-23	17.38	2° 10'	3°56'	0,10%				
16-Sep-23	17.38	12° 25'	14°21'	1,70%				
17-Sep-23	17.38	22° 44'	25°31'	5,20%				
18-Sep-23	17.37	33° 30'	36°55'	10,40%				
19-Sep-23	17.37	43° 42'	48°34'	17,30%				
20-Sep-23	17.37	53° 30'	60°29'	25,70%				
21-Sep-23	17.37	62° 16'	72°41'	35,30%				
15-Okt-23	17.34	5° 11'	7°03'	0,50%				
16-Okt-23	17.34	16° 10'	18°44'	2,90%				
17-Okt-23	17.34	27° 15'	30°39'	7,30%				
18-Okt-23	17.34	38° 18'	42°48'	13,70%				
19-Okt-23	17.34	49° 24'	55°11'	21,80%				
14-Nov-23	17.38	9° 50'	12°20'	1,20%				
15-Nov-23	17.38	22° 12'	24°41'	4,80%				
16-Nov-23	17.38	34° 44'	37°22'	10,00%				

Kolom berisi warna hijau menyatakan keberhasilan perolehan citra (atmosfer relatif sekitar hilal bersih dari gangguan awan). Sementara kolom berisi warna merah menyatakan ketidak-berhasilan

perolehan citra (adanya gangguan awan). Tanggal yang dimuat pada tabel jika diubah ke kalender Hijriah adalah bulan Safar, Rabiul Awal, Rabiul Akhir, dan Jumadil Awal 1445 H. Waktu terbenam Matahari ($h_o = -0,1$) digunakan waktu lokal (WIB, +7 GMT).

Proses pengambilan citra hilal merupakan langkah krusial dalam penelitian ini, di mana penggunaan Filter CPL menjadi poin fokus utama. Pada tahap awal, filter ini dipasang dengan cermat di depan lensa objektif teleskop Lunt Engineering³ yang telah dilengkapi kamera CCD.⁴ *Software* Sharpcap 4.1 (Pro License) digunakan untuk akuisisi data. Pengaturan *exposure*, *gain*, dan RGB disesuaikan dengan kondisi pengamatan sebagaimana rukyat hilal umumnya. Citra yang diambil adalah *single frame* bukan hasil *stacking*⁵ karena penelitian ini bertujuan untuk menyederhanakan teknis rukyat hilal modern dan mengukur efektifitas Filter CPL dalam satu *frame*.

Langkah pertama pengambilan citra dilakukan tanpa menggunakan filter, memungkinkan penulis untuk mendapatkan dasar referensi yang komprehensif. Selanjutnya, filter diputar secara berurutan pada sudut AoP (*Angle of Polarisation*) 0°, 45°, dan 90° dalam setiap sesi pengambilan citra. Proses rotasi filter ini diikuti

³ Diameter tabung 80 mm, panjang fokus 560 mm F/7, dan *mounting* alt-azimuth dari merek Ioptron AZ Mount Pro.

⁴ Kamera CCD dengan merek CMOS QHYCCD 183 resolusi 5544 x 3684.

⁵ Teknik penggabungan atau pengumpulan beberapa gambar atau lapisan (layers) menjadi satu gambar

dengan interval waktu yang disesuaikan, dengan setiap pengambilan memakan waktu 5 detik. Perlu dicatat bahwa penyesuaian interval waktu ini diperlukan karena adanya keterbatasan teknis pada instrumen yang digunakan. Tahapan ini dirancang dengan cermat untuk memastikan variabilitas sudut polarisasi dapat direkam dengan akurat dalam setiap pengambilan citra. Keberhasilan mengatasi keterbatasan ini menjadi esensial untuk memastikan akuisisi data yang akurat dan informatif.

Semua citra yang dihasilkan selama proses pengambilan disimpan dalam format .FITS, sebuah format standar dalam astronomi yang menyediakan kerangka kerja yang efektif untuk menyimpan data citra. Penggunaan format ini mempermudah analisis selanjutnya dan memastikan keberlanjutan kualitas data sepanjang tahap penelitian. Demikian, gambaran tentang metode dan parameter yang digunakan dalam proses pengambilan citra hilal, menandai langkah awal yang penting dalam pengungkapan informasi esensial untuk penelitian ini.

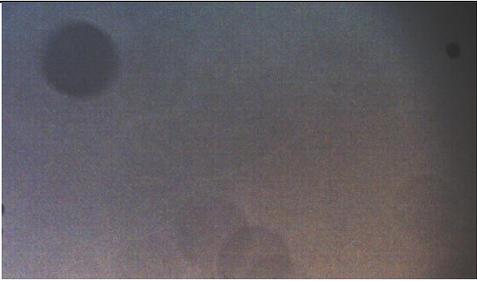
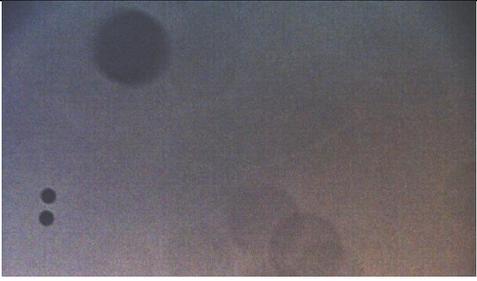
C. Variabilitas Citra Hilal yang Diperoleh

Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki variabilitas citra hilal yang melibatkan aspek terpolarisasi dan tidak terpolarisasi, dengan fokus pada pengamatan pada bulan September, Oktober, dan November. Citra hilal tanpa polarisasi (tanpa AoP) dan citra hilal terpolarisasi (dengan AoP) akan dianalisis secara mendalam untuk memahami perubahan karakteristik visual yang mungkin terjadi

selama periode waktu yang disebutkan. Bulan-bulan tersebut dipilih karena dianggap kritis dalam mengamati fenomena hilal dan memberikan peluang unik untuk memahami variabilitasnya. Berikut adalah tabel varian citra yang telah penulis peroleh.

Tabel 3.2. Varian citra hilal September 2023 (Safar-Rabiul Awal 1445 H)

No.	Tanggal (2023)	AoP	Citra
1.	15 September	Tanpa	Tidak diperoleh karena ditutupi oleh awan
		0°	Tidak diperoleh karena ditutupi oleh awan
		45°	Tidak diperoleh karena ditutupi oleh awan
		90°	Tidak diperoleh karena ditutupi oleh awan
2.	16 September	Tanpa	
		0°	

		45°	
		90°	
3.	17 September	Tanpa	Tidak diperoleh karena ditutupi oleh awan
		0°	Tidak diperoleh karena ditutupi oleh awan
		45°	Tidak diperoleh karena ditutupi oleh awan
		90°	Tidak diperoleh karena ditutupi oleh awan
4.	18 September	Tanpa	

		0°	
		45°	
		90°	

Sumber: Dokumen pribadi, 2023.

Citra hilal pada bulan September 2023 menunjukkan variasi kondisi atmosfer sekitar hilal. Pada tanggal 16 September, data penelitian mencatat kondisi atmosfer di sekitar hilal yang bersih, tanpa kehadiran awan yang dapat menghalangi pandangan. Posisi hilal pada saat itu mencapai ketinggian $12^{\circ} 25'$, dengan tingkat

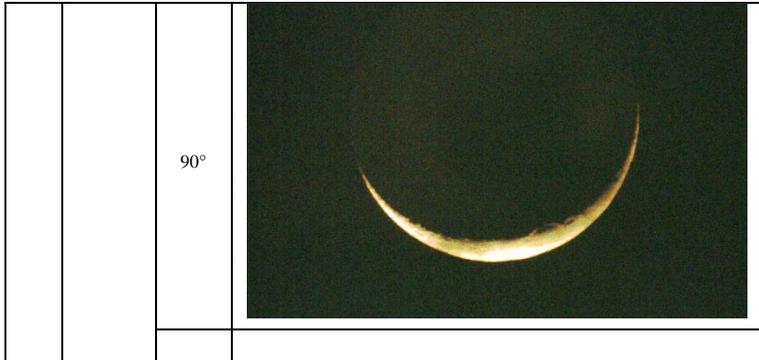
illuminasi sebesar 1,70%. Kemudian, pada tanggal 18 September, data penelitian menunjukkan keadaan atmosfer di sekitar hilal tetap cerah dan terbebas dari awan, menciptakan kondisi ideal untuk pengamatan bulan. Ketinggian hilal meningkat menjadi $33^{\circ} 30'$, dan iluminasinya mencapai 10,40%. Namun, perlu dicatat bahwa pada tanggal 15 dan 17 September, kondisi atmosfer berawan, sehingga menutupi hilal dan menghalangi observasi langsung pada kedua tanggal tersebut.

Tabel 3.3. Varian citra hilal Oktober 2023 (Rabiul Awal-Rabiul Akhir 1445 H)

No.	Tanggal (2023)	AoP	Citra
1.	15 Oktober	Tanpa	Tidak diperoleh karena ditutupi oleh awan
		0°	Tidak diperoleh karena ditutupi oleh awan
		45°	Tidak diperoleh karena ditutupi oleh awan
		90°	Tidak diperoleh karena ditutupi oleh awan
2.	16 Oktober	Tanpa	

		0°	
		45°	
		90°	

3.	17 Oktober	Tanpa	
		0°	
		45°	

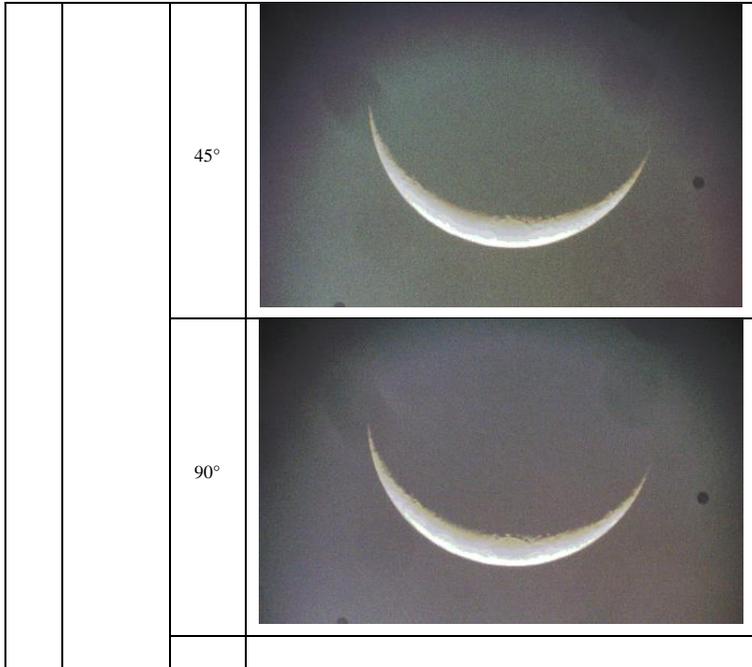


Sumber: Dokumen pribadi, 2023.

Citra hilal pada bulan Oktober 2023 menunjukkan variasi kondisi atmosfer sekitar hilal. Pada tanggal 16 Oktober, data penelitian mencatat kondisi atmosfer di sekitar hilal yang bersih, tanpa kehadiran awan yang dapat menghalangi pandangan. Posisi hilal pada saat itu mencapai ketinggian $16^{\circ} 10'$, dengan tingkat iluminasi sebesar 2,90%. Kemudian, pada tanggal 18 Oktober, data penelitian menunjukkan keadaan atmosfer di sekitar hilal tetap cerah dan terbebas dari awan, menciptakan kondisi ideal untuk pengamatan bulan. Ketinggian hilal meningkat menjadi $27^{\circ} 15'$, dan iluminasinya mencapai 7,30%. Pada AoP 45° sebagian penampakan hilal ditutupi oleh awan yang melintas di depannya. Namun, perlu dicatat bahwa pada tanggal 15 Oktober, kondisi atmosfer berawan, sehingga menutupi hilal dan menghalangi observasi langsung pada tanggal tersebut.

Tabel 3.4. Varian citra hilal November 2023 (Rabiul Akhir-
Jumadil Awal 1445 H)

No.	Tanggal (2023)	AoP	Citra
1.	14 November	Tanpa	Tidak diperoleh karena ditutupi oleh awan
		0°	Tidak diperoleh karena ditutupi oleh awan
		45°	Tidak diperoleh karena ditutupi oleh awan
		90°	Tidak diperoleh karena ditutupi oleh awan
2.	15 November	Tanpa	Tidak diperoleh karena ditutupi oleh awan
		0°	Tidak diperoleh karena ditutupi oleh awan
		45°	Tidak diperoleh karena ditutupi oleh awan
		90°	Tidak diperoleh karena ditutupi oleh awan
3.	16 November	Tanpa	
		0°	



Sumber: Dokumen pribadi, 2023.

Citra hilal pada bulan November 2023 menunjukkan variasi kondisi atmosfer sekitar hilal. Pada tanggal 16 November, data penelitian mencatat kondisi atmosfer di sekitar hilal yang bersih, tanpa kehadiran awan yang dapat menghalangi pandangan. Posisi hilal pada saat itu mencapai ketinggian $34^{\circ} 44'$, dengan tingkat iluminasi sebesar 10,00%. Namun, perlu dicatat bahwa pada tanggal sebelumnya, 14 dan 15 November kondisi atmosfer berawan, sehingga menutupi hilal dan menghalangi observasi langsung pada tanggal tersebut.

Penampakan hilal pada tanggal 29 dalam bulan Hijriah sering kali terhalang oleh keadaan cuaca yang buruk, terutama

karena kondisi berawan. Oleh karena itu, pengamatan langsung pada tanggal tersebut seringkali tidak memungkinkan, dan data yang diperoleh untuk penelitian ini umumnya berasal dari pengamatan setelah tanggal tersebut. Fenomena ini menimbulkan tantangan dalam merekonstruksi variabilitas citra hilal pada tanggal 29, karena pengamatan langsung sering tidak dapat dilakukan. Sebagai respons terhadap kondisi cuaca yang bervariasi, analisis dilakukan terhadap data yang tersedia setelah tanggal 29, sehingga menciptakan pemahaman yang lebih komprehensif terhadap variabilitas citra hilal pada bulan September, Oktober, dan November.

Semua citra yang terkumpul dalam penelitian ini direpresentasikan dalam bentuk histogram. Penggunaan histogram memungkinkan analisis yang lebih rinci terhadap distribusi intensitas piksel dalam citra, yang dapat memberikan wawasan mendalam tentang karakteristik visual hilal. Dengan merepresentasikan data citra melalui histogram, penelitian ini dapat mengidentifikasi pola-pola yang mungkin tersembunyi dalam citra hilal, baik yang terpolarisasi maupun tidak terpolarisasi. Histogram juga memberikan dasar untuk memahami perubahan intensitas cahaya pada berbagai fase pengamatan. Dengan menggunakan citra histogram, penelitian ini berusaha menghadirkan gambaran yang komprehensif dan terperinci tentang variabilitas citra hilal selama bulan-bulan yang diteliti.

BAB IV

EFEKTIVITAS FILTER *CIRCULAR POLARIZER* DALAM MEMPERKUAT CITRA HILAL

Efektivitas filter *circular polarizer* (CPL) dalam konteks memperkuat citra hilal terletak pada kemampuannya menyaring dan mengontrol cahaya yang mencerminkan dari berbagai sumber. Tantangan terbesar dalam pengamatan langit adalah cahaya yang dapat memantul pada atmosfer dan menyebabkan hilangnya kontras serta intensitas pada citra hilal. Analisis mendalam terhadap kinerja filter CPL akan menggali cara kerja dan adaptabilitasnya dalam beberapa kondisi cahaya. Dengan memahami peran filter ini, identifikasi peningkatan kontras dan intensitas citra hilal dapat dicapai melalui penyesuaian sudut rotasi dan optimalisasi penggunaan filter.

Pada saat-saat di bulan September, Oktober, dan November 2023, rukyat hilal sering kali berusaha memperoleh citra hilal yang jelas dan tajam. Dalam konteks ini, analisis efektivitas filter CPL menarik perhatian karena potensinya dalam meningkatkan kontras dan intensitas citra hilal. Dengan menggunakan data yang dikumpulkan selama periode waktu tersebut, penelitian ini bertujuan untuk memberikan wawasan mendalam mengenai sejauh mana filter CPL dapat memberikan kontribusi positif dalam mencapai tujuan rukyat hilal yang optimal.

Adapun dalam analisis yang penulis lakukan, *software* AstroImageJ digunakan untuk membantu penulis agar terhindar dari subjektivitas. Penerapan AstroImageJ dalam analisis penguatan citra hilal memberikan dimensi baru dalam memahami dan mengukur secara

kuantitatif efektivitas filter *circular polarizer*. AstroImageJ, sebagai alat analisis yang andal, memungkinkan pengguna untuk melakukan pengukuran objektif terhadap perbedaan kontras antara citra hilal sebelum dan setelah penggunaan filter tersebut. Dengan mengidentifikasi dan memisahkan intensitas cahaya yang terpantul dan yang diterima, perangkat lunak ini memfasilitasi pengukuran yang akurat terhadap peningkatan kontras secara visual.

Kelebihan AstroImageJ terletak pada kemampuannya untuk memproses citra secara otomatis dan memberikan hasil analisis yang dapat diandalkan. Dalam konteks peningkatan kontras hilal, *software* ini memungkinkan penulis untuk mengamati perubahan intensitas secara lebih mendalam, memberikan informasi kuantitatif yang memperkaya pemahaman tentang dampak filter CPL. Melalui pendekatan ini, AstroImageJ membantu menghindari subjektivitas dan menghadirkan metode analisis yang lebih terukur.

A. Analisis Peningkatan Kontras

Parameter kontras adalah salah satu parameter yang digunakan untuk mengatur tingkat kontras dalam sebuah gambar. Kontras adalah perbedaan antara tingkat kecerahan dan kegelapan dalam sebuah gambar. Semakin tinggi nilai kontras, semakin besar perbedaan antara area yang terang dan area yang gelap dalam gambar.

Dalam fotografi, pengaturan kontras dapat mempengaruhi tampilan keseluruhan gambar. Beberapa kamera dan *software* pengeditan gambar memiliki kontrol kontras yang memungkinkan

pengaturan tingkat kontras sesuai dengan preferensi. Penyesuaian kontras dapat digunakan untuk membuat gambar lebih tajam, meningkatkan detail, atau menciptakan efek artistik tertentu.

Grayscale (skala abu-abu) dan kontras memiliki kaitan erat dalam konteks citra digital. *Grayscale* merujuk pada mode warna yang hanya menggunakan tingkat kecerahan atau intensitas piksel tanpa warna, menghasilkan citra monokromatik yang terdiri dari berbagai tingkat keabuan dari hitam hingga putih. Kontras, di sisi lain, mengacu pada perbedaan antara tingkat kecerahan yang berdekatan dalam suatu citra.

Dalam citra *grayscale*, nilai intensitas piksel biasanya diukur dalam skala dari 0 hingga 255. Skala ini mencakup total 256 level intensitas yang dapat direpresentasikan, di mana 0 adalah intensitas minimum (hitam) dan 255 adalah intensitas maksimum (putih). Pada citra *grayscale*, nilai intensitas piksel mencerminkan tingkat kecerahan pada posisi piksel tertentu dalam citra. Jadi, semakin tinggi nilai piksel, semakin terang warnanya, dan semakin rendah nilainya, semakin gelap warnanya.

Skala 0-255 ini sering disebut sebagai skala intensitas atau skala keabuan (*grayscale*). Misalnya, nilai 128 akan menunjukkan kecerahan yang berada di tengah-tengah skala, sedangkan nilai 0 akan menunjukkan intensitas minimum (hitam), dan nilai 255 akan menunjukkan intensitas maksimum (putih).

Penggunaan skala 0 hingga 255 umumnya memudahkan representasi dan manipulasi citra *grayscale* dengan menggunakan

nilai-nilai yang berkisar dari 8-bit per piksel. Ini adalah format yang sangat umum digunakan dalam pengolahan citra digital dan memungkinkan representasi yang cukup baik untuk sebagian besar aplikasi visual dan analisis citra.

Kaitan antara grayscale dan kontras dapat dijelaskan sebagai berikut:

Representasi Intensitas:

Dalam citra *grayscale*, setiap piksel direpresentasikan oleh tingkat kecerahan tunggal di sepanjang skala intensitas. Kontras dalam citra *grayscale* kemudian mengacu pada seberapa besar perbedaan intensitas antara piksel-piksel tersebut. Semakin besar perbedaan ini, semakin tinggi kontras citra.

Penentu Kontras:

Grayscale menjadi krusial dalam menentukan kontras karena tanpa warna, perbedaan intensitas menjadi penentu utama kontras visual. Dalam citra *grayscale*, kontras dapat diukur dengan melihat perbedaan kecerahan antara objek atau fitur dalam citra.

Penyesuaian Kontras:

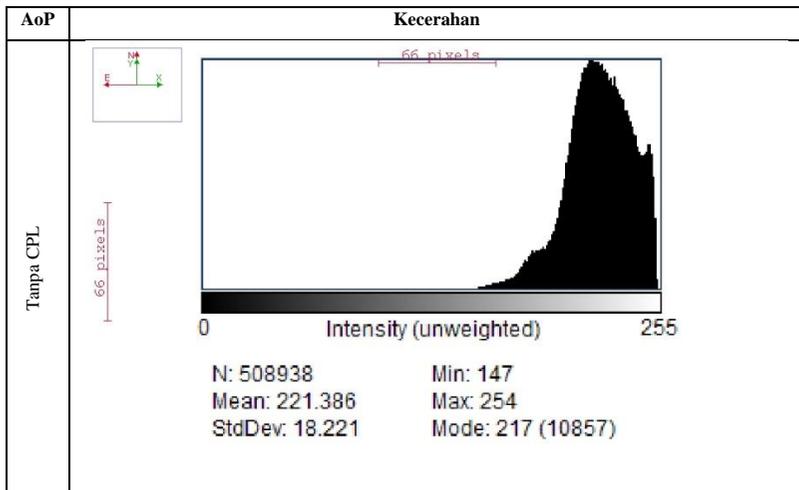
Saat mengoptimalkan kontras, seringkali dilakukan melalui penyesuaian skala kecerahan atau intensitas dalam citra *grayscale*. Dengan merinci perbedaan intensitas antara objek dan latar belakang, kita dapat meningkatkan kontras untuk membuat fitur-fitur dalam citra lebih jelas dan terlihat lebih tajam.

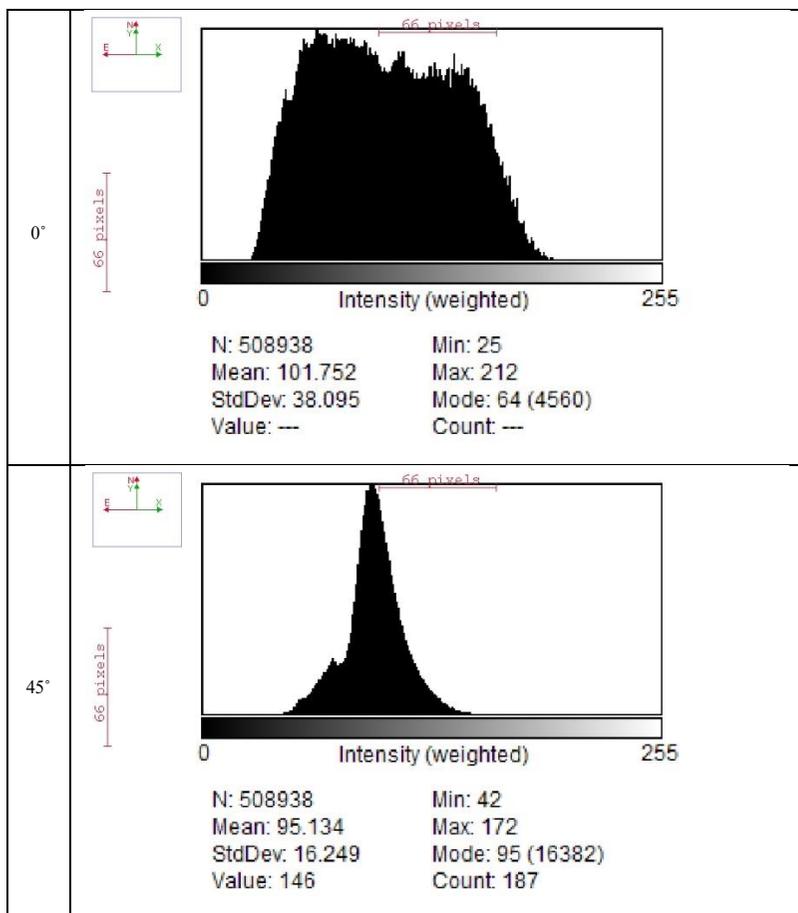
Analisis dan Visualisasi:

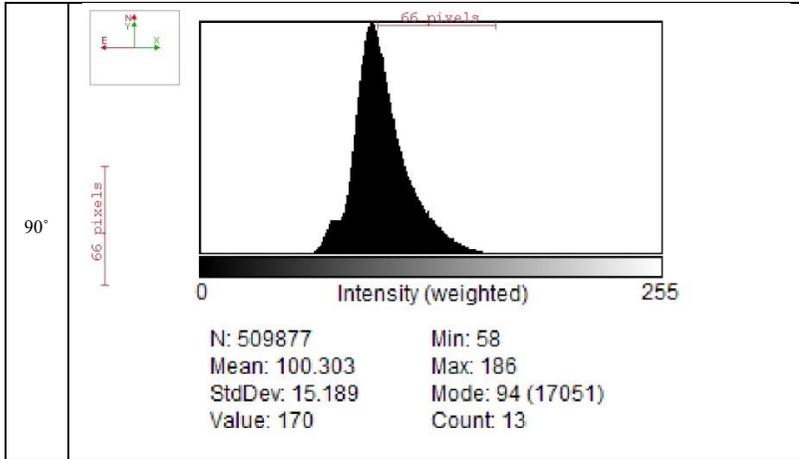
Grayscale sering digunakan dalam konteks analisis dan visualisasi karena memungkinkan fokus pada intensitas, kecerahan, dan kontras yang dapat sangat relevan dalam banyak aplikasi seperti pengolahan citra medis, analisis geospasial, dan pemrosesan citra ilmiah.

Grafik berikut adalah hasil analisis statistik dari variabilitas citra hilal yang diperoleh. Ada tiga kategori grafik yang akan disajikan yaitu (1) grafik distribusi kecerahan, (2) grafik distribusi warna (RGB), dan (3) grafik peningkatan kontras. Pada grafik ketiga sumbu x mewakili AoP (sudut polarisasi filter CPL), di mana secara berurutan 0, 1, 2, dan 3 adalah tanpa filter, 0° , 45° , dan 90° . Sementara sumbu y mewakili *grayscale*.

Tabel 4.1 Grafik distribusi kecerahan (16 September 2023)



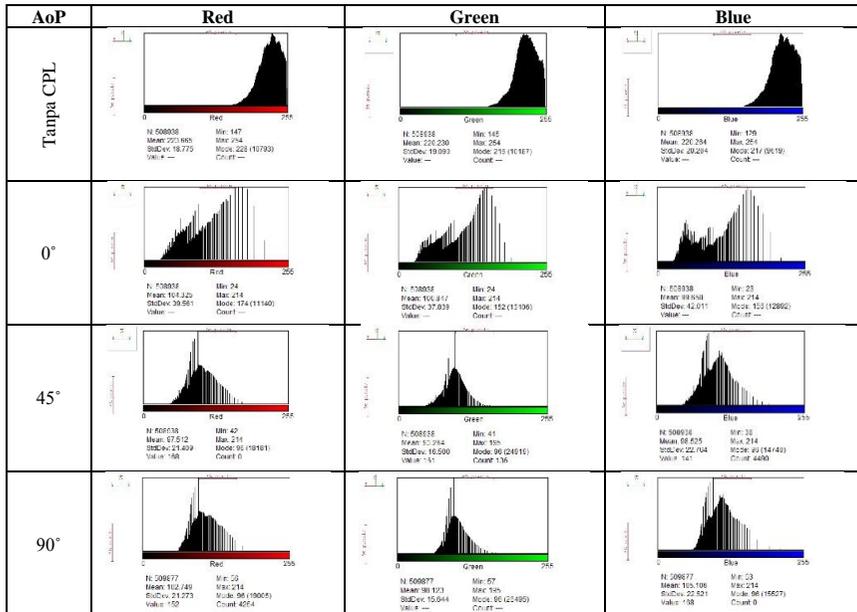




Sumber: Data primer diolah, 2023.

Grafik-grafik pada Tabel 4.1 memberikan gambaran tentang distribusi kecerahan piksel dalam tiga kondisi berbeda: citra tanpa filter CPL, citra dengan filter AoP 0°, dan citra dengan filter AoP 45° dan 90°. Pada citra tanpa filter CPL, distribusi kecerahan piksel pada rentang rata-rata 221 cenderung terlalu cerah, sehingga kontras yang dihasilkan tidak memadai. Sementara pada citra dengan filter AoP 0°, AoP 45°, dan AoP 90°, distribusi kecerahan piksel pada rentang rata-rata masing-masing adalah 101, 95, dan 100. Hasilnya menunjukkan bahwa ketiga kondisi tersebut menghasilkan kontras yang memadai karena distribusi kecerahan piksel berkumpul pada tengah-tengah skala.

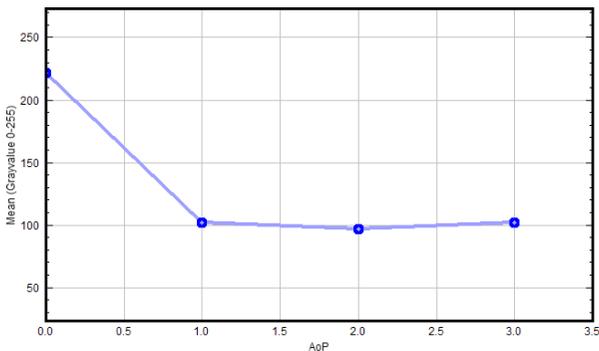
Tabel 4.2. Grafik distribusi warna (16 September 2023)



Sumber: Data primer diolah, 2023.

Grafik-grafik pada Tabel 4.2 memberikan *insight* tentang distribusi warna (Merah, Hijau, dan Biru) piksel dalam tiga kondisi berbeda: citra tanpa filter CPL, citra dengan filter AoP 0°, dan citra dengan filter AoP 45° dan 90°. Pada citra tanpa filter CPL, distribusi warna piksel pada rentang rata-rata 221 cenderung terlalu cerah, menyebabkan rendahnya kontras yang dihasilkan. Sementara pada citra dengan filter AoP 0°, AoP 45°, dan AoP 90°, distribusi warna piksel pada rentang rata-rata masing-masing adalah 100, 96, dan 100. Hasil ini menunjukkan bahwa ketiga kondisi tersebut menghasilkan kontras yang memadai, karena distribusi warna piksel tidak terlalu cenderung ke cerah maupun gelap.

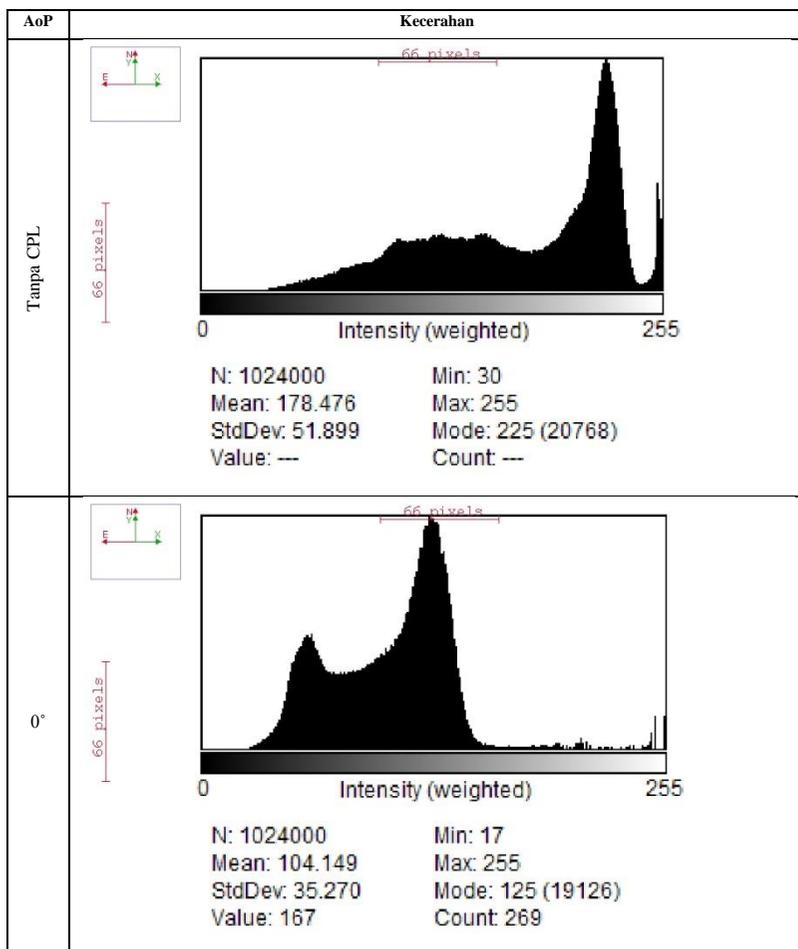
Grafik 4.1. Grafik peningkatan kontras (16 September 2023)

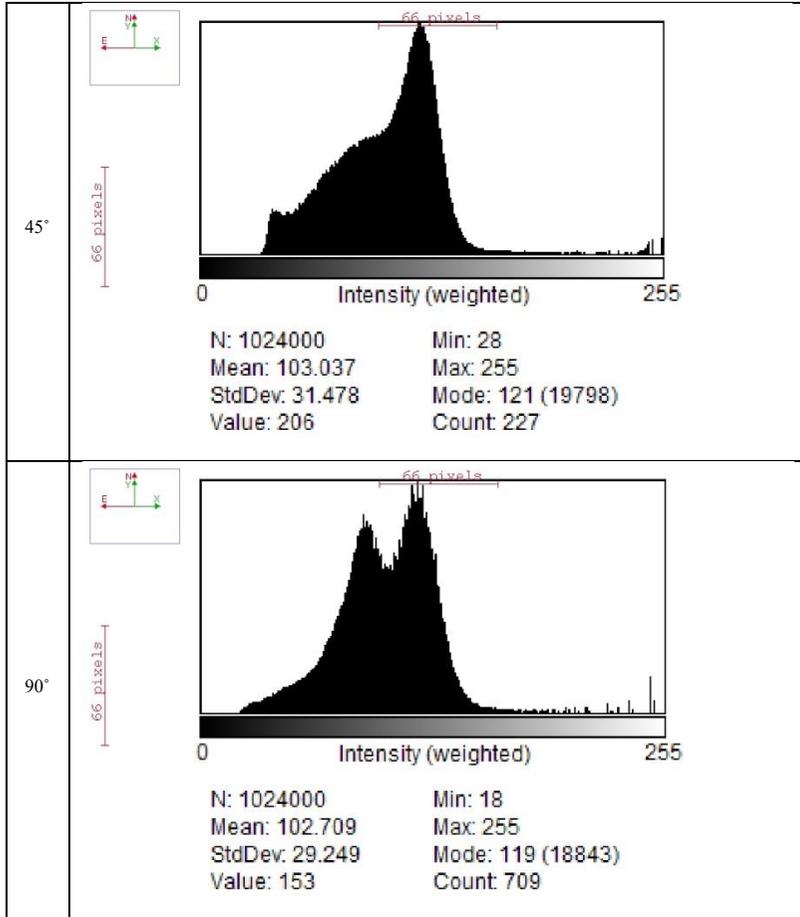


Sumber: Data primer diolah, 2023.

Grafik 4.1 merepresentasikan nilai *grayscale* pada empat kondisi berbeda: citra tanpa filter CPL dengan nilai 221, citra dengan filter AoP 0° dengan nilai 101, citra dengan filter AoP 45° dengan nilai 95, dan citra dengan filter AoP 90° dengan nilai 100. Analisis terhadap pergerakan grafik menunjukkan penurunan yang signifikan setelah pemasangan filter CPL. Hal ini menggambarkan pengurangan kecerahan yang sebelumnya berlebih, dan dengan demikian, meningkatkan tingkat kontras dalam citra. Puncak penurunan terjadi ketika Filter CPL dirotasi pada AoP 45° , menandakan bahwa orientasi sudut polarisasi ini memberikan dampak maksimal terhadap peningkatan kontras.

Tabel 4.3 Grafik distribusi kecerahan (18 September 2023)



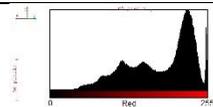
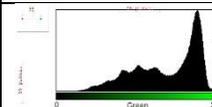
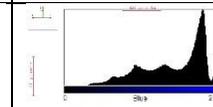
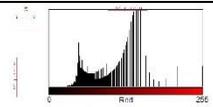
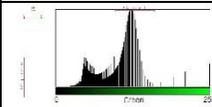
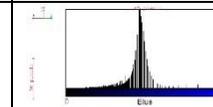
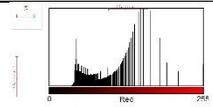
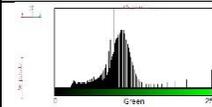
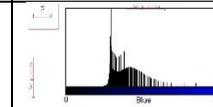
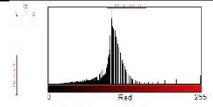
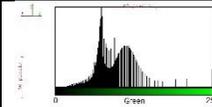
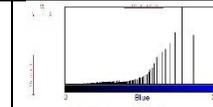


Sumber: Data primer diolah, 2023.

Grafik-grafik citra hilal pada tanggal 18 September menunjukkan perbedaan distribusi kecerahan piksel dalam empat kondisi berbeda: citra tanpa filter CPL, citra dengan filter AoP 0°, citra dengan filter AoP 45°, dan citra dengan filter AoP 90°. Pada citra tanpa filter CPL, distribusi kecerahan piksel pada rentang rata-rata 178 cenderung terlalu cerah, sehingga hasilnya tidak

menghasilkan kontras yang memadai. Namun, setelah pemasangan filter polarisasi, terlihat bahwa distribusi kecerahan piksel pada citra dengan filter AoP 0°, AoP 45°, dan AoP 90° memiliki rentang rata-rata masing-masing 104, 103, dan 115. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan filter polarisasi pada berbagai orientasi mampu mengurangi kecerahan yang berlebihan sehingga menghasilkan kontras yang memadai dalam citra hilal pada tanggal tersebut.

Tabel 4.4. Grafik distribusi warna (18 September 2023)

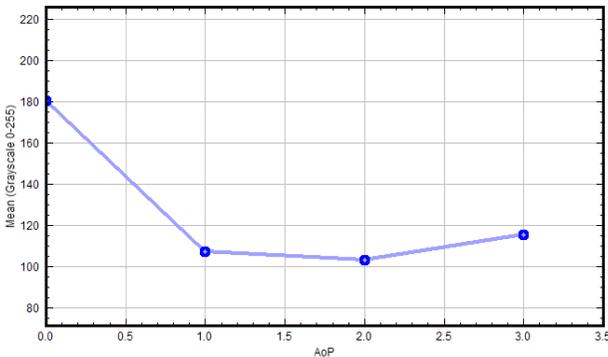
AoP	Red	Green	Blue
Tanpa CPL	 <p> N: 1024000 Min: 25 Mean: 181.802 Max: 255 StdDev: 52.450 Mode: 221 (1484) Value: 177 Count: 3432 </p>	 <p> N: 1024000 Min: 25 Mean: 179.444 Max: 255 StdDev: 52.202 Mode: 224 (17473) Value: 177 Count: 3432 </p>	 <p> N: 1024000 Min: 24 Mean: 161.955 Max: 255 StdDev: 51.521 Mode: 224 (19795) Value: 177 Count: 4158 </p>
0°	 <p> N: 1024000 Min: 11 Mean: 105.838 Max: 255 StdDev: 41.135 Mode: 152 (37497) Value: 153 Count: 7 </p>	 <p> N: 1024000 Min: 14 Mean: 101.086 Max: 255 StdDev: 36.315 Mode: 125 (44288) Value: 148 Count: 29 </p>	 <p> N: 1024000 Min: 10 Mean: 111.352 Max: 255 StdDev: 22.810 Mode: 122 (73738) Value: 153 Count: 7 </p>
45°	 <p> N: 1024000 Min: 23 Mean: 113.949 Max: 255 StdDev: 23.486 Mode: 152 (38280) Value: 209 Count: 0 </p>	 <p> N: 1024000 Min: 10 Mean: 90.631 Max: 255 StdDev: 22.182 Mode: 122 (38880) Value: 220 Count: 0 </p>	 <p> N: 1024000 Min: 36 Mean: 87.258 Max: 255 StdDev: 24.549 Mode: 4 (40417) Value: 163 Count: 7 </p>
90°	 <p> N: 1024000 Min: 11 Mean: 101.817 Max: 255 StdDev: 23.707 Mode: 108 (69120) Value: 208 Count: 0 </p>	 <p> N: 1024000 Min: 18 Mean: 91.784 Max: 255 StdDev: 30.739 Mode: 70 (34891) Value: 258 Count: 0 </p>	 <p> N: 1024000 Min: 17 Mean: 148.235 Max: 255 StdDev: 43.874 Mode: 195 (130053) Value: 98 Count: 508 </p>

Sumber: Data primer diolah, 2023.

Grafik-grafik pada Tabel 4.4 memvisualisasikan distribusi warna piksel (Merah, Hijau, dan Biru) pada citra dalam empat kondisi berbeda: citra tanpa filter CPL, citra dengan filter AoP 0°,

citra dengan filter AoP 45°, dan citra dengan filter AoP 90°. Pada citra tanpa filter CPL, distribusi warna piksel pada rentang rata-rata 255 cenderung terlalu cerah, yang mengakibatkan kurangnya kontras yang memadai. Namun, setelah pemasangan filter polarisasi, terlihat bahwa distribusi warna piksel pada citra dengan filter AoP 0°, AoP 45°, dan AoP 90° memiliki rentang rata-rata masing-masing 110, 100, dan 115. Hal ini menunjukkan bahwa filter polarisasi pada berbagai orientasi mampu mengurangi tingkat kecerahan warna yang berlebihan, sehingga menciptakan kontras yang memadai dalam citra.

Grafik 4.2. Grafik peningkatan kontras (18 September 2023)

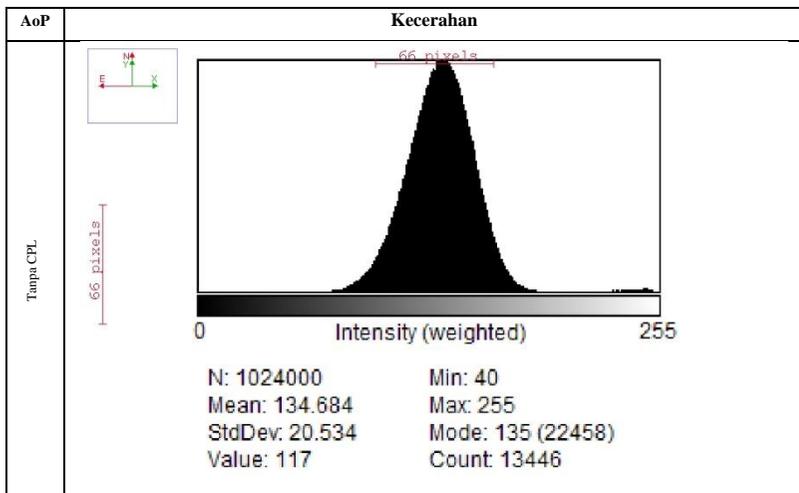


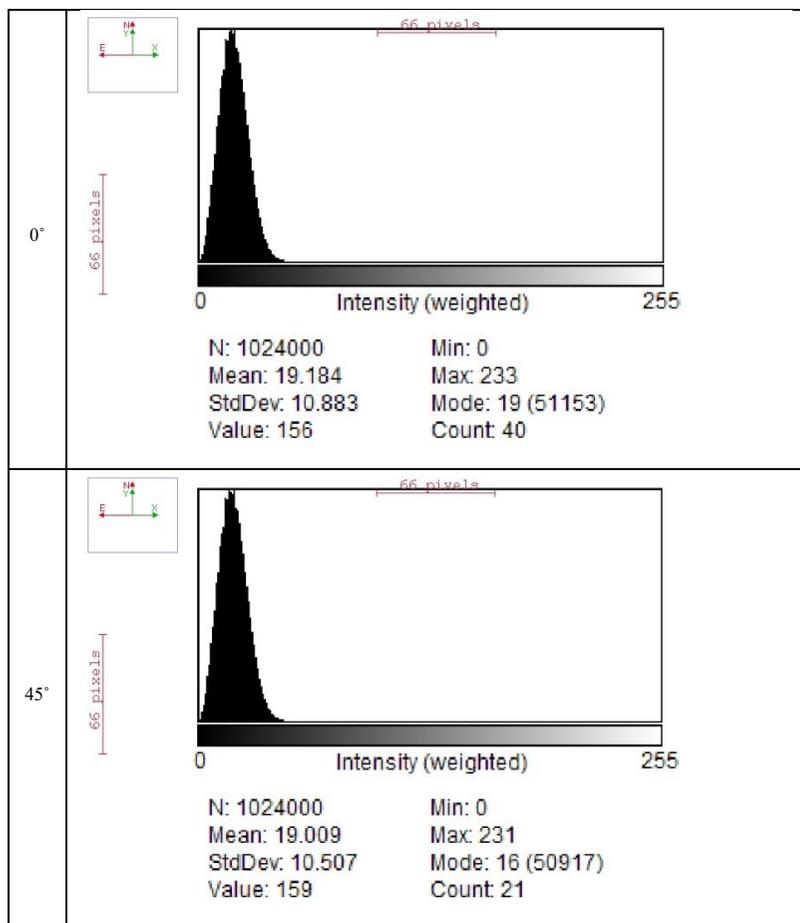
Sumber: Data primer diolah, 2023.

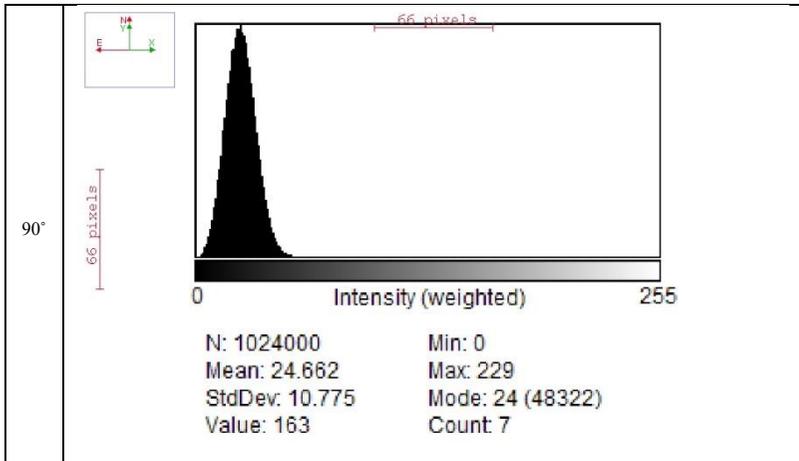
Grafik 4.2 merepresentasikan nilai *grayscale* pada empat kondisi berbeda: citra tanpa filter CPL dengan nilai 178, citra dengan filter AoP 0° dengan nilai 104, citra dengan filter AoP 45° dengan nilai 103, dan citra dengan filter AoP 90° dengan nilai 115. Analisis

terhadap pergerakan grafik menunjukkan penurunan yang signifikan setelah pemasangan filter CPL. Penurunan ini mengindikasikan pengurangan kecerahan yang sebelumnya berlebih, dan dengan demikian, meningkatkan tingkat kontras dalam citra. Puncak penurunan terjadi ketika filter CPL dirotasi pada AoP 45° , menandakan bahwa orientasi sudut polarisasi ini memberikan dampak maksimal terhadap peningkatan kontras.

Tabel 4.5 Grafik distribusi kecerahan (16 Oktober 2023)





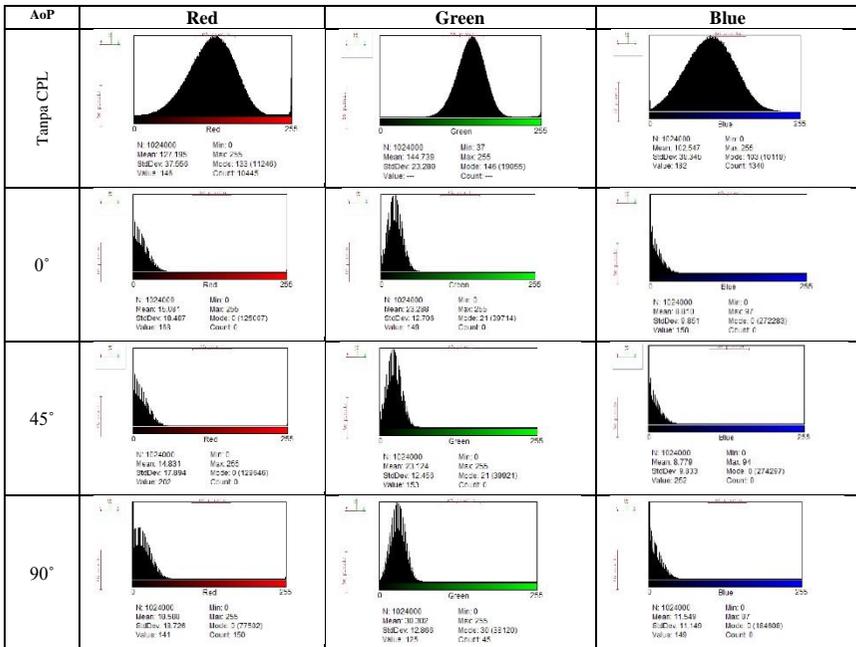


Sumber: Data primer diolah, 2023.

Grafik citra hilal pada tanggal 16 Oktober memberikan gambaran tentang distribusi kecerahan piksel dalam empat kondisi berbeda: citra tanpa filter CPL, citra dengan filter AoP 0°, citra dengan filter AoP 45°, dan citra dengan filter AoP 90°. Pada citra tanpa filter CPL, distribusi kecerahan piksel pada rentang rata-rata 134 menunjukkan bahwa citra telah mengalami penurunan kecerahan dari Bulan sebelumnya. Sementara itu, setelah pemasangan filter polarisasi pada berbagai orientasi, terlihat bahwa distribusi kecerahan piksel pada citra dengan filter AoP 0° dan AoP 45° memiliki rentang rata-rata 19, menunjukkan kecerahan yang tidak terlalu cerah namun tampak gelap. Meskipun demikian, penampakan hilal pada kedua kondisi tersebut menjadi lebih tajam. Kemudian, pada citra dengan filter AoP 90°, distribusi kecerahan piksel pada rentang rata-rata 24, menandakan sedikit peningkatan kecerahan dibandingkan dengan AoP 0° dan 45°, namun tetap tampak gelap.

Meskipun demikian, penampakan hilal pada kondisi ini menjadi lebih tajam, menunjukkan adanya sedikit peningkatan kecerahan dari AoP 0° dan 45° .

Tabel 4.6. Grafik distribusi warna (16 Oktober 2023)

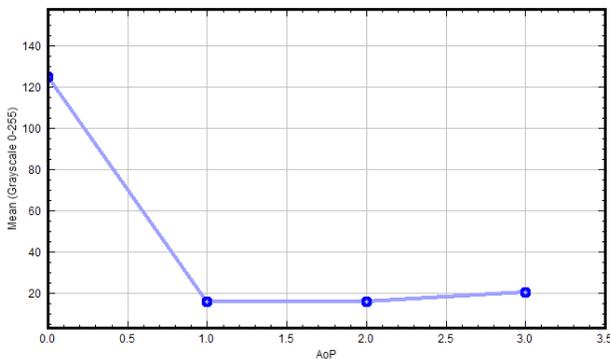


Sumber: Data primer diolah, 2023.

Grafik-grafik citra pada Tabel 4.6 menampilkan distribusi warna (Merah, Hijau, dan Biru) piksel dalam empat kondisi berbeda: citra tanpa filter CPL, citra dengan filter AoP 0° , citra dengan filter AoP 45° , dan citra dengan filter AoP 90° . Pada citra tanpa filter CPL, distribusi warna piksel pada rentang rata-rata 130 cenderung cerah, dan citra ini mengalami penurunan kecerahan dari bulan sebelumnya. Setelah pemasangan filter polarisasi pada berbagai orientasi, terlihat

bahwa distribusi warna piksel pada citra dengan filter AoP 0° dan AoP 45° memiliki rentang rata-rata 23 dan 21, menunjukkan kecerahan yang tidak terlalu tinggi namun warna yang lebih gelap. Meskipun demikian, penampakan warna hilal pada kedua kondisi tersebut menjadi lebih tajam. Selanjutnya, pada citra dengan filter AoP 90° , distribusi warna piksel pada rentang rata-rata 30, menandakan sedikit peningkatan kecerahan dibandingkan dengan AoP 0° dan 90° , namun tetap tampak gelap. Meskipun demikian, penampakan warna hilal pada kondisi ini menjadi lebih tajam, menunjukkan adanya sedikit peningkatan kecerahan dari AoP 0° dan 90° .

Grafik 4.3. Grafik peningkatan kontras (16 Oktober 2023)

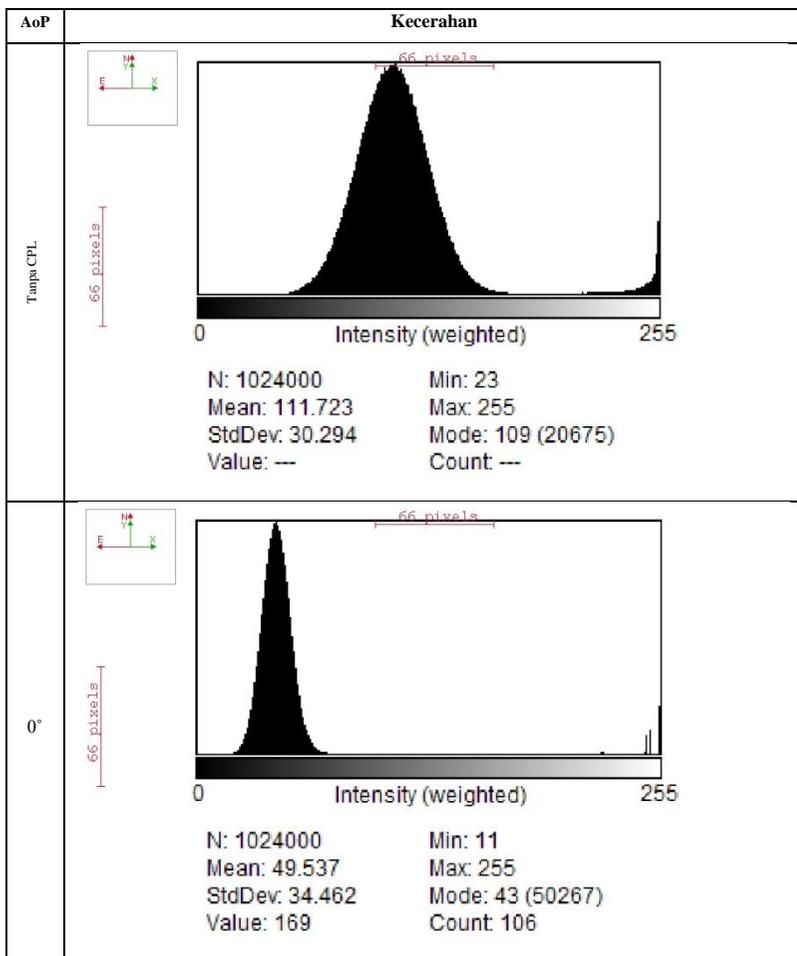


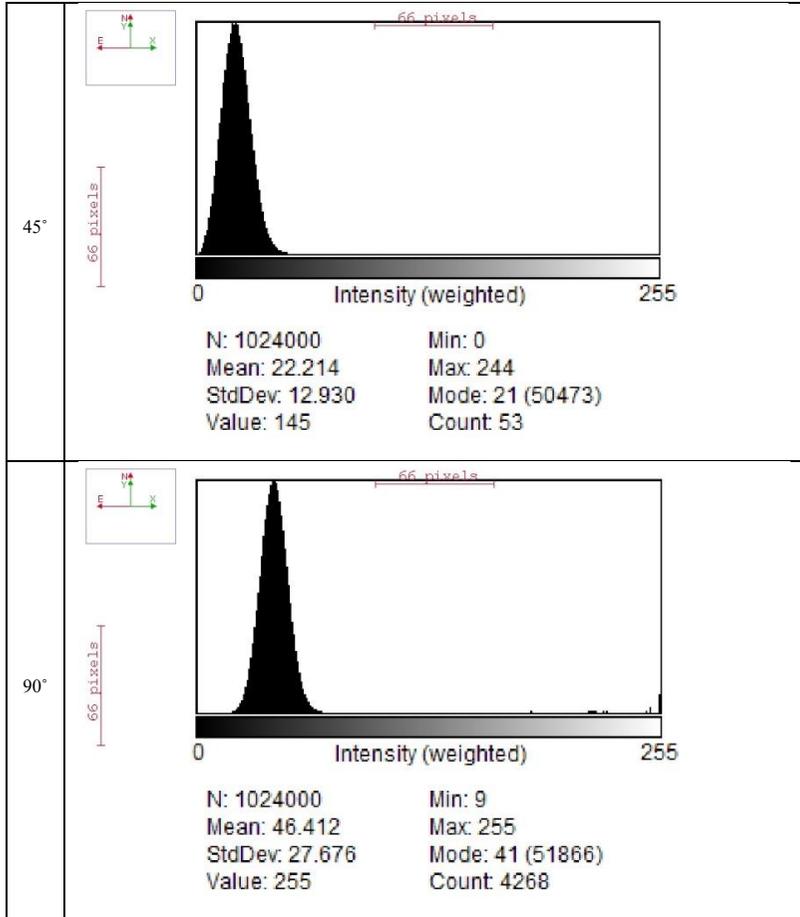
Sumber: Data primer diolah, 2023.

Grafik ini memberikan gambaran tentang nilai *grayscale* pada citra-citra hilal 16 Oktober dalam empat kondisi berbeda: citra tanpa filter CPL dengan nilai 134, citra dengan filter AoP 0° dengan nilai

19, citra dengan filter AoP 45° dengan nilai 19, dan citra dengan filter AoP 90° dengan nilai 24. Analisis terhadap pergerakan grafik menunjukkan penurunan yang signifikan setelah pemasangan filter CPL. Citra tanpa filter CPL menunjukkan penurunan kecerahan dari bulan sebelumnya, sedangkan setelah pemasangan filter polarisasi, distribusi nilai *grayscale* pada citra dengan filter AoP 0° , AoP 45° , dan AoP 90° menunjukkan penurunan yang lebih konsisten dan signifikan. Hal ini mengindikasikan bahwa filter CPL secara efektif mengurangi kecerahan yang sebelumnya ada, sehingga meningkatkan kontras pada citra. Puncak penurunan terlihat ketika filter CPL dirotasi pada AoP 45° , menandakan bahwa orientasi sudut polarisasi ini memberikan dampak maksimal terhadap peningkatan kontras. Dengan demikian, grafik ini memberikan pemahaman visual tentang bagaimana filter CPL dan orientasi sudut polarisasi dapat secara efektif memodulasi tingkat kecerahan dan kontras dalam pengolahan citra *grayscale*, menciptakan efek visual yang terlihat pada citra hilal.

Tabel 4.7 Grafik distribusi kecerahan (17 Oktober 2023)



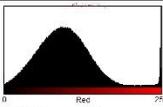
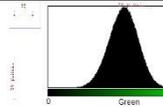
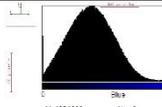
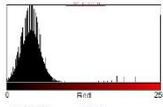
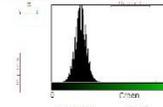
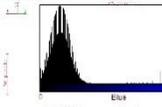
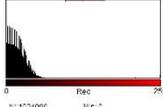
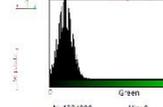
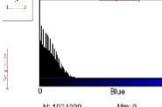


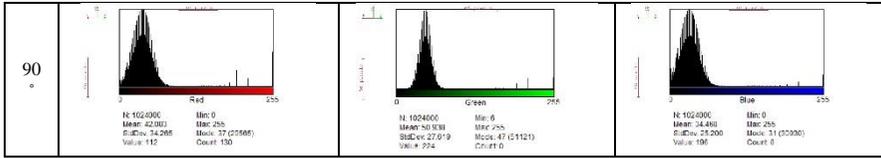
Sumber: Data primer diolah, 2023.

Grafik citra hilal pada tanggal 17 Oktober menggambarkan distribusi kecerahan piksel dalam empat kondisi berbeda: citra tanpa filter CPL, citra dengan filter AoP 0°, citra dengan filter AoP 45°, dan citra dengan filter AoP 90°. Pada citra tanpa filter CPL, distribusi kecerahan piksel pada rentang rata-rata 111 menunjukkan bahwa citra ini mengalami penurunan kecerahan dari Bulan sebelumnya.

Setelah pemasangan filter polarisasi pada berbagai orientasi, terlihat bahwa distribusi kecerahan piksel pada citra dengan filter AoP 0° dan AoP 45° memiliki rentang rata-rata masing-masing 49 dan 20. Kondisi ini menunjukkan kecerahan yang tidak terlalu tinggi namun tampak gelap, dan penurunan drastis pada AoP 45° disebabkan oleh adanya awan yang menutupi sebagian hilal. Meskipun demikian, penampakan hilal pada kedua kondisi tersebut menjadi lebih tajam. Selanjutnya, pada citra dengan filter AoP 90° , distribusi kecerahan piksel pada rentang rata-rata 46 menunjukkan sedikit peningkatan kecerahan dibandingkan dengan AoP 45° , namun tetap tampak gelap. Meskipun demikian, penampakan hilal pada kondisi ini menjadi lebih tajam, menunjukkan adanya sedikit peningkatan kecerahan dari AoP 0° dan 45° .

Tabel 4.8. Grafik distribusi warna (17 Oktober 2023)

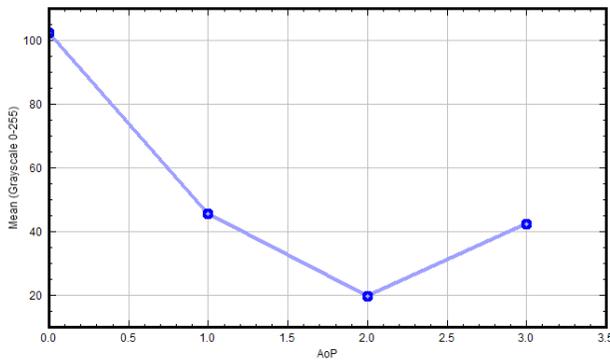
AoP	Red	Green	Blue
Tampa CPL	 <p> N: 1024000 Min: 0 Mean: 99.026 Max: 255 StdDev: 49.222 Mode: 255 (13400) Value: 197 Count: 130 </p>	 <p> N: 1024000 Min: 0 Mean: 123.414 Max: 255 StdDev: 31.704 Mode: 119 (17204) Value: 195 Count: 130 </p>	 <p> N: 1024000 Min: 0 Mean: 84.797 Max: 255 StdDev: 42.290 Mode: 99 (10050) Value: 197 Count: 152 </p>
0°	 <p> N: 1024000 Min: 0 Mean: 46.319 Max: 255 StdDev: 39.648 Mode: 41 (29633) Value: 153 Count: 1 </p>	 <p> N: 1024000 Min: 0 Mean: 53.892 Max: 255 StdDev: 34.259 Mode: 49 (48962) Value: 153 Count: 0 </p>	 <p> N: 1024000 Min: 0 Mean: 37.238 Max: 255 StdDev: 33.285 Mode: 31 (20123) Value: 98 Count: 62 </p>
45°	 <p> N: 1024000 Min: 0 Mean: 18.432 Max: 255 StdDev: 23.229 Mode: 0 (96232) Value: 150 Count: 0 </p>	 <p> N: 1024000 Min: 0 Mean: 25.575 Max: 255 StdDev: 14.641 Mode: 23 (40590) Value: --- Count: --- </p>	 <p> N: 1024000 Min: 0 Mean: 15.100 Max: 255 StdDev: 14.859 Mode: 0 (120998) Value: 235 Count: 0 </p>



Sumber: Data primer diolah, 2023.

Grafik ini memvisualisasikan distribusi warna (Merah, Hijau, dan Biru) piksel pada citra hilal dalam empat kondisi berbeda: citra tanpa filter CPL, citra dengan filter AoP 0°, citra dengan filter AoP 45°, dan citra dengan filter AoP 90°. Pada citra tanpa filter CPL, distribusi warna piksel pada rentang rata-rata 120 cenderung cerah, dan citra ini mengalami penurunan kecerahan dari tanggal sebelumnya. Setelah pemasangan filter polarisasi pada berbagai orientasi, terlihat bahwa distribusi warna piksel pada citra dengan filter AoP 0° dan AoP 45° memiliki rentang rata-rata masing-masing 45 dan 18. Kondisi ini menunjukkan kecerahan yang tidak terlalu tinggi namun tampak gelap, dan penampakan warna hilal pada kedua kondisi tersebut menjadi lebih tajam. Selanjutnya, pada citra dengan filter AoP 90°, distribusi warna piksel pada rentang rata-rata 37 menunjukkan sedikit peningkatan kecerahan dibandingkan dengan AoP 0° dan 45°, namun tetap tampak gelap. Meskipun demikian, penampakan warna hilal pada kondisi ini menjadi lebih tajam, menunjukkan adanya sedikit peningkatan kecerahan dari AoP 0° dan 45°.

Grafik 4.4. Grafik peningkatan kontras (17 Oktober 2023)

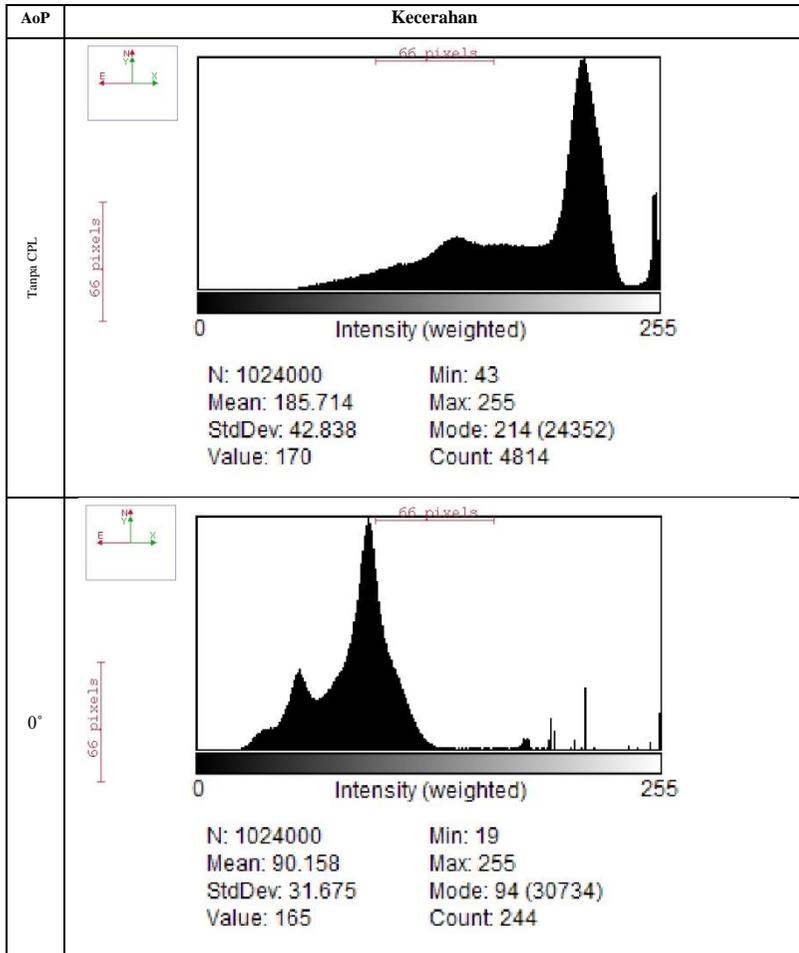


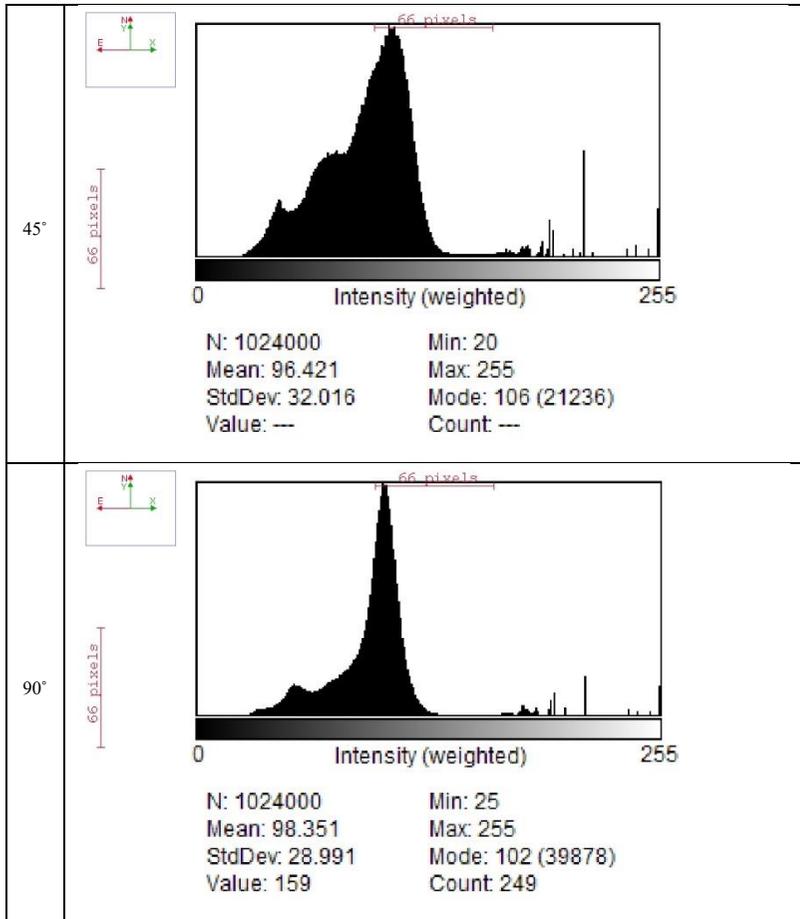
Sumber: Data primer diolah, 2023.

Grafik 4.4 memperlihatkan nilai *grayscale* pada citra hilal 17 Oktober dalam empat kondisi berbeda: citra tanpa filter CPL dengan nilai 111, citra dengan filter AoP 0° dengan nilai 49, citra dengan filter AoP 45° dengan nilai 20, dan citra dengan filter AoP 90° dengan nilai 46. Analisis terhadap pergerakan grafik menunjukkan penurunan yang signifikan setelah pemasangan filter CPL. Citra tanpa filter CPL mengalami penurunan kecerahan dari Bulan sebelumnya, sedangkan setelah pemasangan filter polarisasi, distribusi nilai *grayscale* pada citra dengan filter AoP 0°, AoP 45°, dan AoP 90° menunjukkan penurunan yang lebih konsisten dan signifikan. Hal ini mengindikasikan bahwa filter CPL efektif mengurangi kecerahan yang sebelumnya ada, sehingga meningkatkan kontras pada citra. Puncak penurunan terlihat ketika Filter CPL dirotasi pada AoP 45°, menandakan bahwa orientasi sudut

polarisasi ini memberikan dampak maksimal terhadap peningkatan kontras. Pada AoP 45° , penurunan drastis disebabkan oleh adanya awan yang menutupi sebagian hilal, memberikan konteks tambahan terkait variabilitas dalam penurunan kecerahan.

Tabel 4.9 Grafik distribusi kecerahan (16 November 2023)



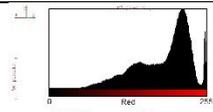
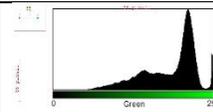
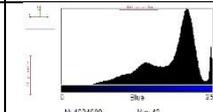
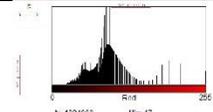
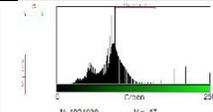
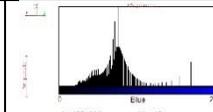
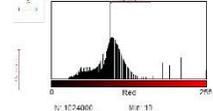
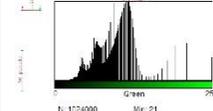
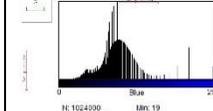


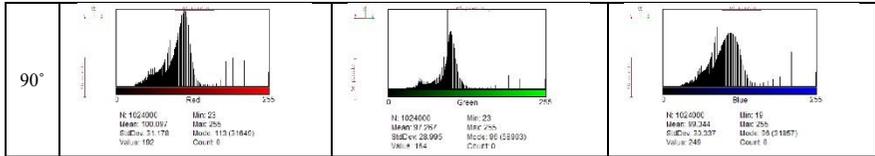
Sumber: Data primer diolah, 2023.

Grafik-grafik pada Tabel 4.9 merepresentasikan distribusi kecerahan piksel pada citra hilal tanggal 16 November dalam empat kondisi berbeda: citra tanpa filter CPL, citra dengan filter AoP 0°, citra dengan filter AoP 45°, dan citra dengan filter AoP 90°. Pada citra tanpa filter CPL, distribusi kecerahan piksel pada rentang rata-rata 185 menunjukkan bahwa citra terlalu cerah sehingga kontras

tidak memadai. Setelah pemasangan filter polarisasi pada berbagai orientasi, terlihat bahwa distribusi kecerahan piksel pada citra dengan filter AoP 0° , AoP 45° , dan AoP 90° memiliki rentang rata-rata masing-masing 90, 96, dan 98. Kondisi ini menunjukkan bahwa filter polarisasi efektif mengurangi tingkat kecerahan yang berlebihan, sehingga menciptakan kontras yang memadai dalam citra. Perbandingan antara distribusi kecerahan pada citra dengan filter AoP 0° , AoP 45° , dan AoP 90° menunjukkan sedikit peningkatan kecerahan seiring dengan rotasi filter. Citra dengan filter AoP 90° memiliki sedikit peningkatan kecerahan dibandingkan dengan AoP 45° , yang menandakan efek dari perubahan orientasi sudut polarisasi terhadap kecerahan citra.

Tabel 4.10. Grafik distribusi warna (16 November 2023)

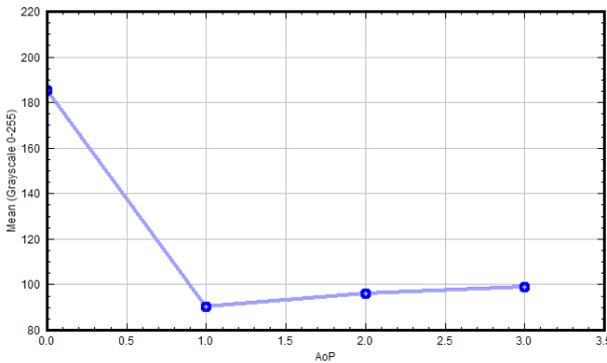
AoP	Red	Green	Blue
Tanpa CPL	 <p>N: 1024000 Min: 41 Mean: 106.081 Max: 255 StdDev: 43.915 Mode: 217 (10327) Value: 157 Count: 4634</p>	 <p>N: 1024000 Min: 44 Mean: 105.574 Max: 255 StdDev: 42.963 Mode: 214 (23085) Value: 170 Count: 4703</p>	 <p>N: 1024000 Min: 40 Mean: 105.169 Max: 255 StdDev: 42.779 Mode: 212 (18484) Value: 270 Count: 19218</p>
0°	 <p>N: 1024000 Min: 17 Mean: 97.072 Max: 255 StdDev: 32.774 Mode: 53 (36458) Value: 213 Count: 0</p>	 <p>N: 1024000 Min: 17 Mean: 93.077 Max: 255 StdDev: 32.242 Mode: 96 (48040) Value: 136 Count: 0</p>	 <p>N: 1024000 Min: 16 Mean: 90.211 Max: 255 StdDev: 31.281 Mode: 62 (48748) Value: 121 Count: 5558</p>
45°	 <p>N: 1024000 Min: 10 Mean: 95.705 Max: 255 StdDev: 31.872 Mode: 96 (43875) Value: 231 Count: 0</p>	 <p>N: 1024000 Min: 21 Mean: 94.911 Max: 255 StdDev: 33.687 Mode: 113 (24056) Value: 224 Count: 0</p>	 <p>N: 1024000 Min: 19 Mean: 95.265 Max: 255 StdDev: 33.629 Mode: 96 (38429) Value: 186 Count: 0</p>



Sumber: Data primer diolah, 2023.

Grafik-grafik pada Tabel 4.10 menggambarkan distribusi warna (Merah, Hijau, dan Biru) piksel pada citra hilal pada tanggal 16 November dalam empat kondisi berbeda: citra tanpa filter CPL, citra dengan filter AoP 0°, citra dengan filter AoP 45°, dan citra dengan filter AoP 90°. Pada citra tanpa filter CPL, distribusi warna piksel pada rentang rata-rata 180 menunjukkan bahwa citra memiliki warna yang terlalu cerah sehingga kontras tidak memadai. Setelah pemasangan filter polarisasi pada berbagai orientasi, terlihat bahwa distribusi warna piksel pada citra dengan filter AoP 0°, AoP 45°, dan AoP 90° memiliki rentang rata-rata masing-masing 90, 95, dan 100. Kondisi ini menunjukkan bahwa filter polarisasi efektif mengurangi tingkat kecerahan yang berlebihan, sehingga menciptakan kontras yang memadai dalam citra. Perbandingan antara distribusi warna pada citra dengan filter AoP 0°, AoP 45°, dan AoP 90° menunjukkan sedikit peningkatan kecerahan seiring dengan rotasi filter. Citra dengan filter AoP 90° memiliki sedikit peningkatan kecerahan warna dibandingkan dengan AoP 45°, yang menandakan efek dari perubahan orientasi sudut polarisasi terhadap kecerahan dan warna citra.

Grafik 4.5. Grafik peningkatan kontras (16 November 2023)



Sumber: Data primer diolah, 2023.

Grafik 4.5 mencerminkan nilai *grayscale* pada citra-citra hilal 16 November dalam empat kondisi berbeda: citra tanpa filter CPL dengan nilai 185, citra dengan filter AoP 0° dengan nilai 90, citra dengan filter AoP 45° dengan nilai 96, dan citra dengan filter AoP 90° dengan nilai 98. Analisis terhadap pergerakan grafik menunjukkan penurunan yang signifikan setelah pemasangan filter CPL. Citra tanpa filter CPL memiliki nilai *grayscale* yang terlalu cerah, yang dapat mempengaruhi kontras citra secara negatif. Setelah pemasangan filter polarisasi, distribusi nilai *grayscale* pada citra dengan filter AoP 0°, AoP 45°, dan AoP 90° menunjukkan penurunan yang lebih konsisten dan signifikan. Hal ini mengindikasikan bahwa filter CPL berhasil mengurangi kecerahan yang berlebihan, sehingga meningkatkan kontras pada citra. Puncak penurunan terjadi ketika filter CPL dirotasi pada AoP 0°, menandakan bahwa orientasi sudut

polarisasi ini memberikan dampak maksimal terhadap peningkatan kontras. Seiring dengan rotasi filter AoP 45° dan AoP 90° , terlihat kenaikan kecerahan perlahan, menunjukkan pengaruh dari perubahan orientasi sudut polarisasi terhadap tingkat kecerahan citra.

B. Analisis Inferensial Sudut Polarisasi Filter *Circular Polarizer* dan Kontras Hilal

Analisis citra polarisasi dengan menggunakan *Angle of Polarization* (AoP) pada sudut 0° , 45° , dan 90° , baik dengan *Circular Polarizing Filter* (CPL) maupun tanpa filter, memberikan pemahaman yang mendalam terhadap karakteristik pola dan intensitas cahaya citra. Citra AoP tanpa filter CPL menunjukkan kecenderungan umum memiliki nilai *grayscale* yang relatif tinggi, berkisar antara 100 hingga 200. Hal ini menandakan bahwa citra polarisasi tanpa filter cenderung memiliki intensitas cahaya yang cukup tinggi, mungkin karena tidak ada filter yang membatasi atau mengurangi jumlah cahaya yang masuk.

Sementara itu, citra AoP dengan filter CPL menunjukkan pola yang konsisten pada setiap bulan. Hal ini dapat diartikan bahwa penggunaan CPL memberikan efek yang stabil terhadap citra polarisasi, tidak terpengaruh oleh variasi perubahan bulan. Namun, perlu diperhatikan bahwa AoP pada sudut 45° cenderung memiliki nilai *grayscale* yang lebih rendah dibandingkan dengan sudut polarisasi lainnya, menandakan preferensi tertentu terhadap polarisasi pada sudut tersebut.

Analisis intensitas distribusi kecerahan citra AoP pada sudut 45° menunjukkan bahwa nilai *grayscale* cenderung stabil pada rentang 10 - 90 setiap bulan. Hal ini mengindikasikan bahwa citra pada sudut 45° memiliki kestabilan kecerahan yang relatif konstan, tidak terlalu terang maupun terlalu gelap. Di sisi lain, citra AoP pada sudut 0° dan 90° mengalami fluktuasi yang lebih besar dalam intensitas kecerahan mereka tiap bulan.

Analisis distribusi intensitas warna (RGB) juga mengkonfirmasi temuan sebelumnya, menunjukkan bahwa AoP pada sudut 45° memiliki kestabilan yang berbeda dari sudut polarisasi lainnya. Informasi ini dapat menjadi dasar yang berharga dalam pengolahan citra polarisasi, terutama untuk keperluan yang membutuhkan konsistensi atau preferensi tertentu terhadap sudut polarisasi. Selain itu, temuan ini juga dapat memberikan pandangan lebih dalam terhadap pengaruh CPL terhadap citra polarisasi dan bagaimana variabel-variabel tersebut berinteraksi dalam konteks analisis citra.

Konsistensi sudut *Angle of Polarization* (AoP) pada 45° setiap bulan memberikan konfirmasi yang signifikan terhadap pemetaan yang dilakukan oleh Cronin. Temuan ini mengindikasikan bahwa pola AoP pada sudut 45° tidak hanya bersifat stabil, tetapi juga mencerminkan kesesuaian dengan hasil pemetaan yang sebelumnya telah diidentifikasi oleh Cronin. Cronin, dalam pemetaannya, menjelaskan bahwa objek buatan dan alami di langit selama senja, seperti awan, gumpalan kabut, satelit, balon terbang tinggi, atau

pesawat, seringkali sulit dideteksi dan diidentifikasi. Hal ini terjadi karena polarisasi dari objek atau kondisi atmosfer semacam itu cenderung berbeda dari polarisasi cahaya langit di sekitarnya, bahkan untuk yang berada di atas atmosfer sebenarnya, sehingga membuatnya sulit terlihat. Pemetaan yang dilakukan oleh Cronin menyoroti bahwa penggunaan pencitraan polarisasi, terutama pada AoP 45° , dapat meningkatkan kemampuan untuk mendeteksi dan mengidentifikasi objek-objek tersebut.

Pemetaan di sekitar horizon barat dengan AoP 45° dan persentase polarisasi antara 0% hingga 10% mengindikasikan bahwa sudut polarisasi ini konsisten digunakan dalam analisis cahaya atmosfer di wilayah tersebut. Kemampuan AoP pada sudut 45° untuk secara konsisten memaparkan pola polarisasi cahaya atmosfer membuka peluang untuk penelitian lebih lanjut terkait deteksi dan identifikasi objek di langit selama senja. Konsistensi ini dapat menjadi dasar yang kuat untuk pengembangan metode rukyat hilal yang lebih canggih dan akurat, terutama dalam konteks analisis polarisasi cahaya terhadap kontras hilal dengan atmosfer di sekitar horizon barat pada senja.

Dari rangkaian analisis yang telah dipaparkan, dapat disimpulkan bahwa adopsi filter *circular polarizer* (CPL) memiliki implikasi teknis yang signifikan. Analisis intensitas dan konsistensi sudut *Angle of Polarization* (AoP) pada 45° menunjukkan bahwa penggunaan filter CPL pada sudut tersebut dapat memberikan hasil yang stabil dan konsisten setiap bulan. Hal ini mendukung keyakinan

bahwa filter ini tidak hanya memberikan efek polarisasi yang diinginkan tetapi juga dapat diaplikasikan secara konsisten, menghasilkan nilai AoP yang dapat diandalkan.

Kesimpulan ini menguatkan ide bahwa CPL, khususnya pada sudut 45° , dapat menjadi alat yang efektif dalam mengoptimalkan citra hilal, baik dalam konteks kontras maupun distribusi warna. Oleh karena itu, pemilihan sudut ideal penggunaan Filter CPL pada 45° dapat dianggap sebagai pilihan yang tepat untuk mencapai konsistensi hasil analisis citra hilal terpolarisasi. Implikasi teknis ini dapat digunakan sebagai panduan praktis dalam penggunaan filter ini untuk aplikasi pemetaan, deteksi objek, atau analisis cahaya *syafaq*, memberikan landasan yang kuat untuk pengambilan keputusan teknis dalam penggunaan Filter CPL pada sudut tertentu.

C. Analisis Aspek Fikih Terhadap Implementasi Filter *Circular Polarizer* Pada Teleskop Pengamat Hilal

Penerapan filter *circular polarizer* pada teleskop pengamat hilal dapat dianalisis dari perspektif fikih untuk memahami implikasi dan keselarasan terhadap prinsip-prinsip hukum Islam. Dalam konteks ini, pertimbangan kaidah dan hukum terkait dengan teknologi tersebut menjadi penting. Filter *circular polarizer* digunakan untuk mengurangi hamburan cahaya *syafaq* dan meningkatkan kontras, memungkinkan observasi yang lebih baik terhadap hilal. Dalam kerangka fikih, implementasi teknologi ini harus memperhatikan ketentuan-ketentuan yang berkaitan dengan

metode konvensional pengamatan hilal dalam menentukan awal bulan Hijriah. Sebagai contoh, penting untuk memastikan bahwa penggunaan filter tersebut tidak melanggar prinsip-prinsip kesaksian dan ketelitian dalam penentuan awal bulan, serta tidak bertentangan dengan nilai-nilai dan norma-norma yang berlaku dalam Islam. Analisis fikih semacam itu dapat membantu memastikan bahwa penggunaan filter *circular polarizer* pada teleskop pengamat hilal tetap konsisten dengan prinsip-prinsip agama dan nilai-nilai Islam.

Pembahasan pada Bab II sebelumnya telah mengulas secara mendalam sorotan fikih mengenai kesaksian citra hilal melalui teknik astrofotografi. Teknik tersebut sejalan dengan prinsip-prinsip fikih yang berlaku. Pentingnya status citra hilal diakui sejajar dengan status saksi, di mana bukti visual tentang penampakan hilal dalam bentuk citra memiliki kekuatan dan validitas yang signifikan untuk mendukung persaksian rukyat hilal.

Namun, saat membahas keandalan teknik pengolahan citra (*image processing*), khususnya penumpukan citra (*stacking*), perlu diakui bahwa hal ini dapat cenderung menuju manipulasi. Meskipun istilah "manipulasi" seringkali dikaitkan dengan penguatan citra, namun potensi risiko manipulasi negatif, seperti penciptaan visual hilal yang tidak akurat, tetap harus diperhitungkan. Sejalan dengan ini, terdapat perdebatan dalam fikih mengenai keabsahan teknik ini, mempertimbangkan peluang subjektivitas dalam proses pengolahan citra. Oleh karena itu, penting untuk menjaga kehati-hatian dan integritas dalam menerapkan teknik *image processing*, guna

meminimalkan potensi kesalahpahaman dan memastikan keabsahan persaksian rukyat Hilal.

Adapun mengenai teknik pengendalian polarisasi cahaya dengan filter CPL yang terfokus pada cahaya *syafaq* menyoroti pentingnya menjaga integritas cahaya hilal itu sendiri dan tidak melibatkan manipulasi terhadap cahaya hilal itu sendiri. Integritas tersebut adalah bahwa cahaya hilal terpisah dan terletak pada lapisan belakang dari hamburan cahaya atmosfer. Proses ini diarahkan untuk meminimalkan gangguan dari lapisan atmosfer, terutama pada konteks *syafaq*, memungkinkan cahaya hilal dapat dengan optimal mencapai teleskop pengamat tanpa distorsi yang signifikan.

Dalam konteks astronomi, kondisi tanpa gangguan atmosfer dianggap sebagai situasi yang paling ideal. Oleh karena itu, teknik polarisasi bertujuan untuk meminimalisir gangguan cahaya atmosfer (*syafaq*) dan memastikan bahwa cahaya hilal dapat melewati atmosfer tanpa hambatan, menciptakan pengamatan yang lebih akurat melalui teleskop pengamat.

Dalam konteks ini, penting untuk menekankan bahwa proses polarisasi cahaya pada citra hilal tidak hanya menambahkan dimensi teknis pada pengamatan, tetapi juga menghadirkan kepastian terkait integritasnya. Penggunaan teknik ini menciptakan lapisan perlindungan dari potensi manipulasi yang dapat meragukan keaslian citra. Dengan demikian, hasil citra yang telah melalui proses polarisasi cahaya dapat dianggap sebagai representasi yang jujur

(*'ādil*) dan dapat diandalkan dalam mendukung kesaksian rukyat Hilal, sesuai dengan kaidah-kaidah fikih yang berlaku.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah diuraikan, dapat ditarik beberapa kesimpulan, bahwa:

1. Penggunaan *Angle of Polarization* (AoP) filter *circular polarizer* (CPL) pada teleskop pengamat hilal adalah 45° . Alasan penggunaan sudut tersebut karena secara umum, citra AoP tanpa filter CPL cenderung memiliki intensitas yang tinggi, berkisar antara 150 hingga 200 *grayscale*, menunjukkan tingginya kecerahan dan rendahnya kontras pada citra tersebut. Sementara itu, penggunaan filter CPL pada sudut 45° menunjukkan konsistensi yang signifikan setiap bulan pada ambang kontras, mengonfirmasi hasil pemetaan yang dilakukan oleh Cronin terkait dengan objek di langit selama senja. Analisis distribusi intensitas kecerahan citra AoP 45° menunjukkan stabilitas pada rentang 10 - 90 *grayscale* setiap bulan, sementara AoP pada sudut 0° dan 90° mengalami fluktuasi yang lebih besar. Hal ini mengindikasikan bahwa sudut AoP 45° memiliki preferensi tertentu yang berperan penting dalam deteksi dan identifikasi hilal di langit selama senja (*ghurub*). Pemetaan di sekitar horizon barat dengan AoP 45° memberikan wawasan lebih lanjut terkait keandalan sudut tersebut dalam rotasi filter CPL.

2. Dalam sorotan fikih, adopsi filter CPL pada sudut 45° muncul sebagai pilihan yang teknisnya layak dan konsisten untuk lampiran kesaksian hilal. Implikasi ini membuka peluang untuk pengembangan metode rukyat hilal yang lebih mutakhir dan akurat, serta memberikan pandangan yang lebih dalam dalam analisis cahaya *syafaq* selama senja (*ghurub*). Keseluruhan, hasil penelitian ini dapat menjadi landasan yang kuat untuk pengambilan keputusan teknis dalam penggunaan AoP dan filter CPL pada sudut tertentu untuk aplikasi identifikasi dan analisis citra hilal.

B. Saran

Berdasarkan kesimpulan analisis yang telah dijabarkan, sejumlah saran dapat diajukan untuk meningkatkan penggunaan *Angle of Polarization* (AoP) dan filter *circular polarizer* (CPL) dalam konteks penguatan citra hilal. Pertama, disarankan untuk melibatkan lebih lanjut penggunaan CPL pada sudut 45° dalam penelitian dan pengembangan, mengingat konsistensi yang signifikan yang telah terkonfirmasi dalam analisis. Hal ini dapat melibatkan eksplorasi lebih lanjut terhadap variasi sudut polarisasi untuk memahami potensi keunggulan atau karakteristik khusus pada sudut tertentu.

Selanjutnya, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait aplikasi praktis hasil analisis ini dalam konteks kontras dan identifikasi hilal di *syafaq* selama senja (*ghurub*). Pengembangan

metode atau algoritma identifikasi hilal berdasarkan sudut AoP 45° yang konsisten dapat meningkatkan keakuratan dan efisiensi proses analisis citra hilal.

Selain itu, sebaiknya dilakukan eksperimen lanjutan untuk memvalidasi kesimpulan ini pada kondisi cahaya dan atmosfer yang berbeda. Pengujian di berbagai lokasi dan kondisi waktu yang berbeda dapat memberikan pemahaman lebih lanjut tentang fleksibilitas dan generalisasi hasil analisis.

Terakhir, agar hasil analisis ini dapat diimplementasikan lebih luas, disarankan untuk berkolaborasi dengan komunitas ilmiah dan praktisi terkait. Kolaborasi dapat membuka peluang untuk menguji dan menerapkan temuan ini dalam skala yang lebih besar, memberikan kontribusi nyata terhadap perkembangan teknis rukyat hilal dan analisis citra hilal di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

Sumber Jurnal Ilmiah

- Cronin, Thomas W. "Celestial polarization patterns during twilight." *Applied Optics: Optica Publishing Group* (2006): 45. diakses 04 Agustus 2023, doi: <https://doi.org/10.1364/AO.45.005582>.
- Firdaus, Muḥammad Dimas. "Study of Hilal's Contrast Using Infrared Filter in Daylight Hilal Observation." *Proceeding International Seminar on Islamic Studies Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara* (2023): 4. diakses 04 Agustus 2023, <https://jurnal.umsu.ac.id/index.php/insis/article/view/13991/pdf>.
- Hasan, Muḥammad. "Aplikasi Imkan al-Ru'yah Perspektif Fikih dan Astronomi di Indonesia." *Al-Tahrir* (2013): 13.
- Iqbal, Mohammad. "Perkembangan Riset Aplikasi Polarisasi Citra dari Hamburan Cahaya di Langit Biru sebagai Kompas Penunjuk Arah Alternatif." (t.t.): diakses 29 Oktober 2023, <http://mohiqbal.staff.gunadarma.ac.id/Publications/files/1721/Mohiqbal+-SNTI+2008+Polarisasi+dari+hamburan+cahaya+di+Langit.pdf>.
- Mahasena, P. "CCD Observation of Daylight Crescent Moon at Bosscha Observatory". *Journal of Physics: IOP Publishing* (2019): 1127. diakses 08 Agustus 2023, doi: 10.1088/1742-6596/1127/1/012049.
- Mufidoh, Novi Arijatul. "“Problematika Implementasi Rekomendasi Jakarta 2017 tentang Penyatuan Kalender Global Hijriah Tunggal di Indonesia.”" *Tesis, UIN Walisongo* (2021).
- Pomozi, István. "How The Clear-Sky Angle of Polarization Pattern Continues Underneath Clouds: Full-Sky Measurements and Implications for Animal Orientation." *The Journal of Experimental Biology* (2001): 204. diakses 28 Oktober 2023, doi: <https://doi.org/10.1242/jeb.204.17.2933>.

- Putraga, Hariyadi. "Pengamatan Hilal Siang Menggunakan Metode Olahan Filter Warna pada Software Iris." *Spektra: Jurnal Kajian Pendidikan Sains* (2021): 7. diakses 04 Agustus 2023, doi: <http://dx.doi.org/10.32699/spektra.v7i1.187>.
- Putri, Hasna Tuddar. "Redefinisi Hilal Dalam Perspektif Fikih Dan Astronomi." *al-Ahkam: Jurnal Pemikiran Hukum Islam* (2012): 22. Diakses 28 Oktober 2023, doi: 10.21580/ahkam.2012.22.1.6.
- Sado, Arino Bemi. "Kajian Fiqih Sains Terhadap Kecerlangan Hilal sebagai Prasyarat Terlihat Hilal Kriteria Danjon dan Kriteria Djamaluddin." *Istinbâth: Jurnal Hukum Islam* (2017): 16. diakses 04 Agustus 2023, <https://www.istinbath.or.id/index.php/ijhi/article/view/4>.
- Susanto, Edi. "Estimasi Citra Polarisasi Langit." *Seminar Nasional Aplikasi Teknik Informatika (SNATI): Universitas Islam Indonesia* (2011): diakses 28 Oktober 2023, <https://journal.uui.ac.id/Snati/article/view/2595/2396>.
- Tyndall, John. "On the blue color of the sky, the polarization of sky light, and on the polarization by cloudy matter in general." *Proceedings of the Royal Society of London* (1868-1869): 17. diakses 29 Oktober 2023, doi: <https://doi.org/10.1098/rspl.1868.0033>.
- Wehner, Rudiger. "Polarization Vision – A Uniform Sensory Capacity?." *The Journal of Experimental Biology* (2001): 204.

Sumber Buku

- 'Abidin, Muḥammad Amîn Ibnu. *Radd Al-Mukhtār 'alā al-Durr al Mukhtar Syarh Tanwir al-Abṣār, Juz 3*. Riyād: Dār 'Ālam al-Kutub, 2003.
- Azhari, Susiknan. *Ensiklopedi Hisāb Rukyat*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar, 2008.
- . *Ilmu Falak Perjumpaan Khazanah Islam dan Sains Modern*, Yogyakarta: Suara Muhammadiyah, 2009.

- al-Buhūti, Maṣūir bin Yūnus bin Idrīs. *Syarh Muntaha Al-Irādāt Juz II*. al-Risālah, 2000.
- al-Bukhāri, Muḥammad Ibn Ismā'īl. *Al-Jāmi' al-Ṣaḥīḥ li al-Bukhārī*. t.t.
 ———. *Ṣaḥīḥ Bukhārī, Juz I*. Beirut: Dār Al Kutūb Al 'Ilmiyyah, 1992.
- Bass, Michael. *Handbook of Optics Second Edition*. U.S.A: McGraw-Hill, Inc. 1995.
- Coulson, K. L. *Polarization and Intensity of Light in the Atmosphere*. U.S.A: A. Deepak. diakses 28 Oktober 2023, doi: <https://doi.org/10.1002/qj.49711649214>., 1990.
- Curmey, Andrew. *Human Contrast Threshold And Astronomy Visibility*. Newcastle: Departemen Humaniora Universitas Northumria, 2014.
- Dāwud, Abu. *Sunan Abī Dāwud*. 1424.
- Djamaluddin, T. *Menjelajah Kekuasaan Langit Menembus Kedalaman al-Qur'an*. Khazanah Intelektual, 2006.
- Goldstein, Dennis. *olarized Light, Second Edition, chap. 5*. Boca Raton: CRC Press. diakses 30 Oktober 2023, doi: <https://doi.org/10.1201/9780203911587>., 2003.
- Hambali, Slamet. *Almanak Sepanjang Masa, Sejarah Sistem Penanggalan Masehi, Hijriyah, dan Jawa*. Semarang: Program Pascasarjana IAIN Walisongo, 2011.
- Ḥanbal, Aḥmad bin Muḥammad Ibn. *Musnād Al-Imām Ahmad ibn Ḥanbal, Juz3 31*. Beirut: Muassasah ar-Risālah, 1417.
- al-Haytāmī, Syihāb al-Din Aḥmad bin Ḥajar. *Tuhfah Al-Muhtāj Bi Syarḥ al-Minhāj, Juz III*. Kairo: Maṭba'ah Mustafā Muḥammad, t.t.
- Izzuddin, Ahmad. *Ilmu Falak Praktis*. Semarang: Pustaka Hilal, 2012.
- . *Fiqh Hisab Rukyah di Indonesia, Upaya Penyatuan Mahab Rukyah dengan Maḥhab Hisab*. Yogyakarta: Logung Pustaka, 2003

- Kementerian Agama Republik Indonesia. *Qur'an Kemenag*. Jakarta: Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur'an, 2019.
- al-Khatīb, Muḥammad al-Syarbīnī. *Al-Iqnā' fī Hilli Alfāz Abī Syujā'*, Juz I. Beirut: Dār al-Fikr, 1415.
- Muslim, Al-Hajjaj ibn Muslim al Qusyairi an-Naisaburi. *al-Jāmi' al-Ṣaḥīḥ Juz III*. Beirut: Dār al-Fikr, t.t.
- al-Muṭi'i, Muḥammad Buhait. *Irsyad Aḥl al-Millah ilā Iṣbāt al-Ahillah*. Mesir: Kurdistan al-'Ilmiyah, 1329.
- An-Nawāwi. *Ṣaḥīḥ Muslim bi Syarḥ an-Nawāwi Juz VII*. Kairo: Maṭba'ah al-Miṣriyyah al-Azhār, 1929.
- Qudāmah, 'Abd Allāh ibn Aḥmad ibn Muḥammad Ibn. *Al- Kāfi Juz II*. Jīzah: Ḥajar, 1998.
- al-Rāfi'i, 'Abd al-Karīm bin Muḥammad ibn 'Abd al-Karīm. *Al-Syarḥ al-Kabīr Juz III*. Beirut: Dār al-Kutub al-'Ilmiyyah, 1997.
- Riḍā, al-Sayyid Muḥammad Rasyīd. *Tafsīr Al-Manār Juz II*. Kairo: Dār al-Manār, 1937.
- Saksono, Tono. *Mengkompromikan Hisāb & Rukyat*. Bekasi: Amythas Publicita, 2007.
- al-Suyūfī, Jalāl al-Din Abd al-Raḥmān. *Al-Asybah wa al-Nazāir fī Qawā'id wa Furū' Fiqh al-Syafi'i, Juz I*. Mekah: Maktabah Nizār Mustafā al-Bāz, 1997.
- al-Syāfi'i, Muḥammad ibn Idrīs. *al-Umm, Juz III*. al-Manṣūrah: Dār al-Wafā', 2001.
- al-Syarwānī, 'Abd al-Ḥāmid. *Ḥawasyi Ṭuhfah Al-Muhtāj bi Syarḥ al-Minhāj, Juz III*. Kairo: Maṭba'ah Muṣṭafā Muḥammad, t.t.
- al-Syīrāzī, Abū Ishāq. *al-Muḥaẓẓab, Juz II*. Damaskus: Dār al-Qalam, 1992.
- Ṭahir, al-Ḥabīb Ibn. *Al-Fiqh al-Māliki wa Adillatuh Juz II*. Beirut: Dār Ibn Hazm, 1998.

al-Zarqā, Aḥmad ibn Muḥammad. *Syarḥ al-Qawāid al-Fiqhiyah*.
Damaskus: Dār al-Qalam, 1996.

al-Zuhayli. *al-Fiqh al-Islami wa Adillatuh*. 1989, t.t.

———. *Al-Tafsīr al-Munir Fi al-'Aqidah wa al-Syari'ah wa al-Manhāj*.
t.t.

Sumber Lain

Sidik, Jafar M. “*Kontras Cahaya Ganjal Pengamatan Hilal di Indonesia*”. 2015. diakses 15 November 2023,
<https://ramadhan.antaranews.com/berita/507362/kontras-cahaya-ganjal-pengamatan-hilal-diindonesia>.

Yuliara, I Made. *Polarisasi*. Modul Mata Kuliah: Universitas Udayana, 2016.

RIWAYAT HIDUP PENULIS

Nama : Muhammad Said Fadhel
Tempat, tanggal lahir : Bukittinggi, 19 Agustus 1999.
Alamat asal : Jorong Panca, Batu Taba, Kec. Ampek Angkek, Kabupaten Agam, Sumatera Barat.
Alamat sekarang : Perum Taman Bringin Mulia, RT/RW 07/08, Bringin, Tambakaji, Kecamatan Ngaliyan, Kota Semarang, Jawa Tengah.

Jenjang Pendidikan :

A. Pendidikan Formal :

1. TK An-Nur Simpang Bukik Agam
2. SDN 06 Batu Taba Agam
3. Pondok Pesantren MTsS TI Pasir Agam
4. Pondok Pesantren MAS TI Pasir Agam
5. S1 Program Studi Ilmu Falak UIN Walisongo Semarang

B. Pendidikan Non-Formal :

1. Pondok Pesantren YPMI Al-Firdaus Semarang
2. Pondok Ribath Darul IFSYA' Semarang

C. Pengalaman Organisasi :

1. Anggota Pemuda-Pemudi Jorong Panca
2. Anggota Divisi Dakwah OSTI Pondok Pesantren MTI Pasir
3. Anggota Pengurus Divisi Bahtsul Kutub JQH El-Febi El-Fahsyah 2020
4. Anggota BMC UIN Walisongo 2018
5. Ketua Pengelola Pondok Ribath Darul IFSYA' 2021-2022
6. Asisten Laboran bagian Astrofotografi Planetarium dan Observatorium UIN Walisongo Semarang 2023

