

BAB 3

INSTRUMENTASI DAN KAEDAH EKSPERIMEN

Bab ini akan membincangkan peralatan yang digunakan di dalam penyelidikan yang dilakukan dan juga kaedah eksperimen yang digunakan. Kajian ini dijalankan di Balai Cerap Al-Khawarizmi, Jabatan Mufti Negeri Melaka yang terletak di Kg. Balik Batu, Tanjung Bidara, Melaka. Balai Cerap ini terletak lebih kurang 30 km dari Bandaraya Melaka Bersejarah. Lokasi Balai Cerap ini terletak di latitud $2^{\circ} 17'$ Utara dan Longitud $102^{\circ} 05'$ Timur dan 38 meter dari aras laut. Balai Cerap ini adalah sebahagian dari Kompleks Falak Al-Khawarizmi yang juga terdiri dari komponen planetarium, pusat latihan, penginapan dan balai cerap robotik.

3.1 Instrumentasi

Bahagian yang berikut akan membahaskan aspek teknikal peralatan yang digunakan di dalam penyelidikan ini. Peralatan utama yang digunakan adalah kamera CCD, teleskop dan lekapan robotik (*robotic mount*).

3.1.1 Kamera CCD -ST10XME

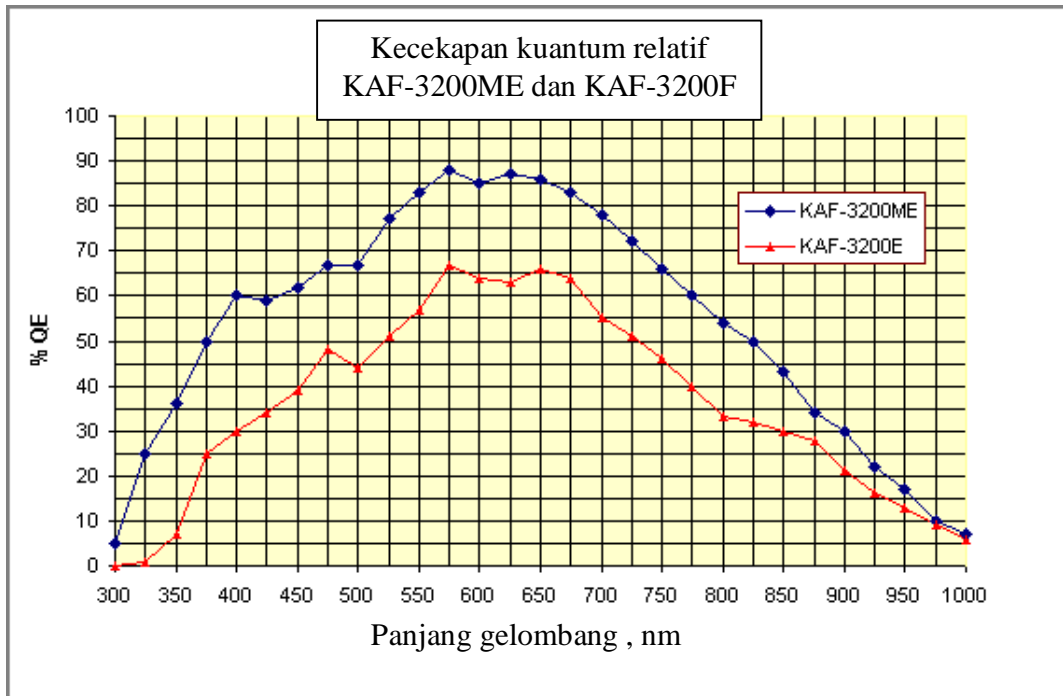
Kamera CCD yang digunakan di dalam penyelidikan ini adalah model ST-10XME 16 bit dari Santa Barbara Instrument Group (SBIG) pengeluar kamera CCD (rajah 3.2). Model ST-10XME mengandungi pengesan pengimejan KAF-3200E yang telah dipertingkatkan yang dikeluarkan oleh Kodak. Ia mengandungi 3.2 mega piksel dengan bingkai (*frame*) penuh dengan resolusi 2184 x 1472. Setiap piksel saiznya adalah 6.8 mikron, sangat sesuai digunakan dengan teleskop pembias apokromatik yang luas medannya. Walau bagaimanapun kamera ini mudah digunakan dengan digandingkan mod "*binning*" 6.8, 13.6 atau 20.4 mikron piksel dengan panjang fokus pelbagai teleskop dan kanta lain yang terdapat di pasaran. Kamera ini dilengkapi dengan pengatup elektro-mekanikal, penukar (*converter*) analog ke digital 16 bit dan kawalan suhu. Kemampuan penukar analog ke digital adalah pada kadar 1.5 elektron per ADU. Komunikasi di antara komputer dan kamera ini menggunakan port USB 2.0 yang boleh melakukan muat turun imej dengan lebih pantas.

Pengesan KAF-3200E yang digunakan dilengkapi dengan sensor imej biru tambah (*blue plus*) yang telah dipertingkatkan kecekapan kuantum di dalam julat cahaya nampak.

Ia memiliki arus gelap yang rendah iaitu kurang dari 1e/piksel/saat pada suhu 0 °C dan hingar bacaannya adalah sekitar 11e-RMS. Selain itu pengesan ini memiliki kapasiti perigi penuh dengan 77,000 elektron.

CCD Pengimejan (<i>Imaging CCD</i>)	KODAK KAF-3200ME+
CCD Pemanduan (<i>Guiding CCD</i>)	TEXAS INSTRUMENTS TC-237
Susunan Piksel (<i>Pixel Array</i>)	2184 X 1472
Saiz Cip (<i>Chip Size</i>)	14.9 X 10 mm
Jumlah Piksel (<i>Total Pixels</i>)	3.2 Juta
Saiz piksel (<i>Pixels size</i>)	6.8 X 6.8 Mikro
Kapasiti perigi penuh (<i>Full Well Capacity</i>)	77,000 e-
Arus Gelap (<i>Dark Current</i>)	0.9e-/piksel/saat pada 0°C
Antiblooming	Non-ABG
Dedahan (<i>Exposure</i>)	0.11 to 3600 saat, resolusi 10rms
<i>Correlated Double Sampling</i>	Ya
Penukar A/D (<i>A/D converter</i>)	16 Bits
Gandaan A/D (<i>A/D Gain</i>)	1.5e-/ADU
Hingar bacaan (<i>Read Noise</i>)	11e-RMS
Mod Gabungan (<i>Binning Modes</i>)	1X1, 2X2, 3X3, 1XN, 2XN, 3XN
Kadar Pendigitan Piksel (<i>Pixel Digitization Rate</i>)	Sehingga 420,000 Piksel per saat

Jadual 3.1 : Spesifikasi kamera CCD ST10XME



Rajah 3.1 Perbandingan kecekapan kuantum CCD KAF-3200ME dengan KAF-3200E



Rajah 3.2

Kamera CCD SBIG ST10XME dipasang ke teleskop utama RCOS 16"

3.1.1.1 Roda penuras warna (*color filter wheel*)

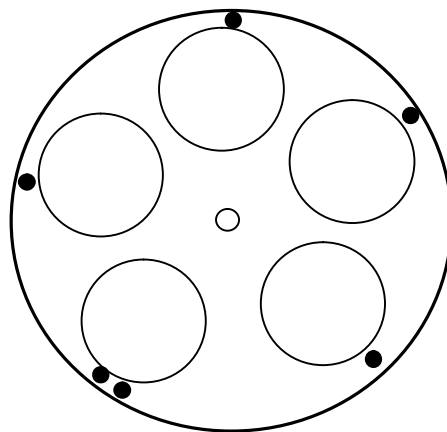
Roda penuras warna adalah aksesori tambahan yang dilekapkan di hadapan kamera CCD. Ia disambungkan kepada kamera dengan kedudukannya di antara teleskop dan kepala optik kamera.

Penuras warna yang digunakan dalam kajian ini ialah CFW-8A keluaran (SBIG). Ia terdiri dari lima penuras iaitu penuras merah, hijau, biru, jernih dan penuras tambahan dengan saiz 1.25 inci masing-masing . Penuras merah (*red*), hijau (*green*) dan biru (*blue*) (RGB) merupakan penuras interferen untuk pengimejan warna manakala penuras jernih untuk pengimejan spektrum penuh (*full spectrum*) tanpa perlu pemfokusan semula. Penuras merah, biru dan hijau mengandungi selaput penghadang infra merah (*IR blocking*

coating) oleh itu penuras IR tidak diperlukan dengan CFW-8A. Penuras RGB membenarkan bandpass yang tertentu dan tepat untuk menghasilkan imej merah, hijau dan biru.

Penuras	Laluan jalur (nm)
Merah	612 - 670
Hijau	488 - 574
Biru	392 - 508

Jadual 3.2 Panjang gelombang bagi penuras RGB



Rajah 3.3
Pandangan atas roda penuras warna CFW-8A

Penuras SBIG dengan kamera CCD ST10XME akan memenuhi nisbah merah, hijau, biru (RGB); 1.2 : 1.00 : 1.65

3.1.2 TELESKOP

Terdapat dua teleskop yang digunakan dalam kajian ini iaitu teleskop utama dan teleskop skunder. Teleskop utama ialah teleskop Ritchey Chretien Optical System (RCOS)16" dan teleskop skunder ialah teleskop pembias teleskop Takahashi FS128 5" (rajah 3.4).

3.1.2.1 Teleskop Utama, RCOS 16"

Teleskop utama yang digunakan di dalam kajian ini ialah sistem teleskop Ritchey Chretien menggunakan dua cermin hiperbola. Kelebihan rekabentuk sistem teleskop ini ialah bebas koma, bermakna dengan teleskop ini bintang akan kelihatan bulat. Diameter cermin utama teleskop yang digunakan ini ialah 16 inci dengan nisbah fokus ialah f/8.4. Spesifikasi teleskop ini seperti di dalam jadual 3.3.

Sistem	16"(0.41m) f/8.4
Panjang fokus	3414mm
Fokus belakang	14"
Panjang tiub karbon	49"
Diameter tiub	19"
Panjang fokus primer	48"
Lubang primer	4.0"
Jarak primer ke skunder	31.7"
Jejari medan kelengkungan	17.67"
Saiz skunder	6.00"

Jadual 3.3

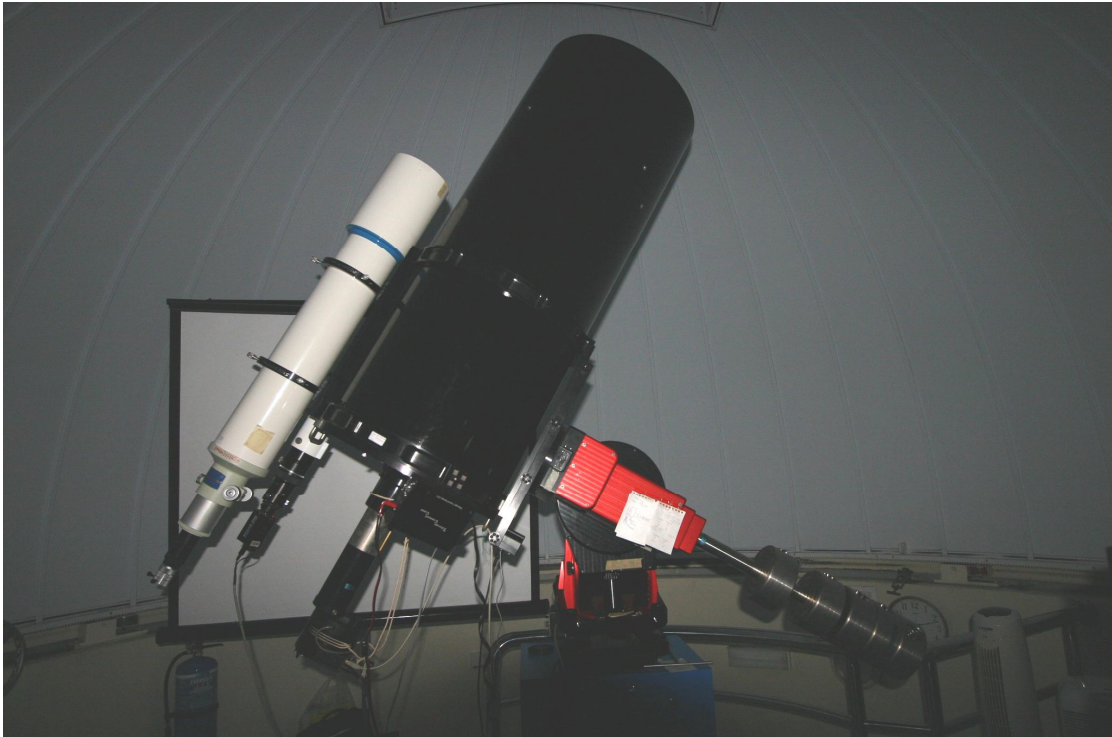
SUMBER: RC OPTICAL SYSTEM

3.1.2.2 Teleskop skunder, Takahashi FS128 5"

Selain dari teleskop utama terdapat satu teleskop pendua dari jenis teleskop pembias iaitu Takahashi FS128. Sistem optik teleskop ini ialah dedua apokromat florida (*fluorite apochromat double*). Teleskop ini terdiri dua kanta iaitu kanta objektif dan kanta mata. Kedua-dua kanta ini dilapisi dengan multi-lapisan penuh depan (*front full multi-coated*). Diameter kanta objektif ialah 128mm. Panjang fokusnya 1040mm dengan nisbah fokus f/8.1. Spesifikasi teleskop ini seperti di dalam jadual 3.4 di bawah.

Sistem optik	Dedua Apokromat florida (<i>Fluorite Apochromat Double</i>)
Lapisan pelindung (<i>Coating</i>)	Multi-Lapisan penuh depan (<i>Front Full-Multi-Coated</i>)
Bukaan	128 mm
Panjang fokus	1040 mm
Nisbah fokus	F/8.1
Keupayaan mengumpul cahaya (<i>Light grasp</i>)	334x
Kuasa melerai (<i>Resolving power</i>)	0.91"
Had magnitud	12.3
Diameter tiub	145mm
Panjang tiub	1176mm
Berat	7.5kg

Sumber : Manual Takahashi teleskop
Jadual 3.4



Rajah 3.4

Teleskop RCOS 16" (gelap) dan Takahashi FS128 (putih) di Balai Cerap Al-Khawarizmi. Teleskop Takahashi didukung di belakang teleskop utama. Manakala teleskop utama, RCOS 16", dilekapkan kepada lekapan ParamountME. Sistem ini dikawal dengan menggunakan perisian The Sky Ver.6.



Rajah 3.5

Balai Cerap Al-Khawarizmi terletak di Tg. Bidara Melaka dengan kubah 5m diameter

3.1.3 Lekapan teleskop (*telescope mount*)

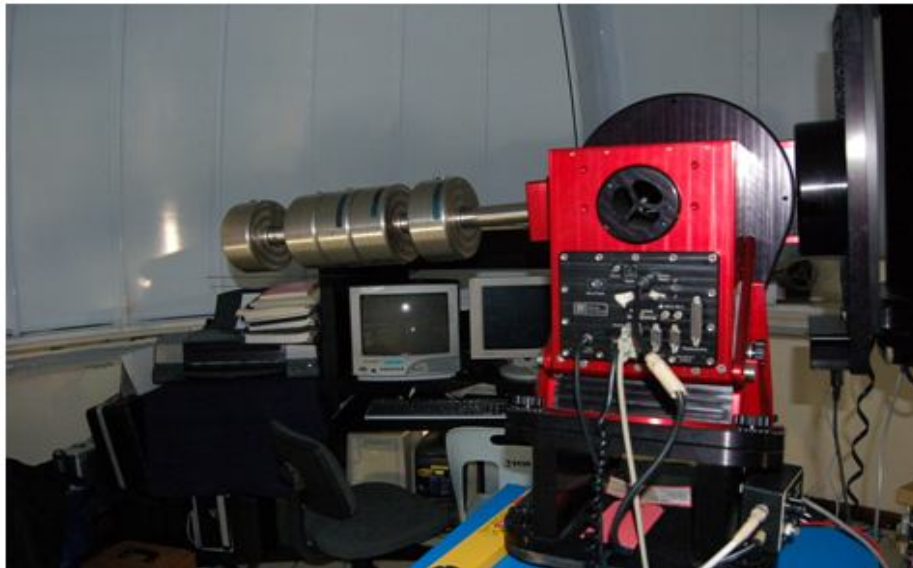
Lekapan adalah di antara perkakasan yang penting, walaupun optik yang digunakan berkualiti tetapi jika lekapan yang digunakan tidak dapat menjejaki bintang dengan tepat imej yang dihasilkan tidak memuaskan.

Lekapan yang digunakan dalam kajian ini adalah jenis lekapan khatulistiwa German (*German equatorial mount*) (lihat rajah 3.6). Lekapan jenis ini mempunyai dua paksi iaitu satu paksi yang selari dengan paksi putaran Bumi atau sejajar dengan kutub samawi (*celestial pole*) dipanggil paksi kenaikan kanan (*right ascension*, RA) dan satu lagi paksi yang menjejaki pergerakan bintang yang dipanggil deklinasi (*declination*). Kedua-dua paksi ini bersudut tepat antara satu sama lain. Pergerakan paksi ini digerakkan oleh motor. *Gear* atau tali (*belt*) menghubungkan motor kepada *worm* yang bergerak dengan kadar sideral (*sideral rate*). Kadar sideral ialah kadar pergerakan bintang melintasi langit. Ketepatan penjejakan lekapan ini bergantung kepada kejituan *gear*. Terdapat ralat dalam gerakan *gear* lekapan jenis ini, ada dua jenis ralat iaitu ralat berkala (*periodic error*) dan ralat rawak (*random error*). Ralat berkala adalah ralat yang berkait dengan bulat yang tidak cukup sempurna. Manakala ralat rawak adalah *gear* dan *worm* yang tidak lancar sempurna. Untuk mendapatkan imej yang baik, ralat berkala tidak lebih dari +/- 2 piksel [51].

Lekapan teleskop yang digunakan dalam kajian ini adalah lekapan robotik (*robotic mount*) model ParamountME yang dikeluarkan oleh Bisque Inc. Lekapan ini mempunyai kejituan dalam menghala (*pointing accuracy*) dan ralat berkala yang rendah. Lekapan ini mampu membawa beban yang lebih dan biasa digunakan sebagai lekapan tetap di dalam sesebuah balai cerap [50].

Rekabentuk	Lekapan Jerman khatulistiwa dengan binaan stainless-steel dan anodized aluminium
Berat	29 kg (termasuk tapak)
Muatan alatan	68 kg.
Gear	Gear R.A 29cm dengan 576 gigi . Gear deklinasi 18.9cm dengan 375 gigi dengan jaminan ralat berkala puncak ke puncak kurang dari 5 arka saat.
Penyelaras altitud	0 -90 darjah (dengan penyelaras latitud)
Penyelaras azimuth	+/- 4 darjah
Pemberat	Maksimum pemberat 53 kg

Jadual 3.5 : Spesifikasi lekapan ParamountME



Rajah 3.6
Lekapan robotik ParamountME yang digunakan bersama teleskop utama

3.2 Kaedah eksperimen

Kaedah ujikaji ini melibatkan penentuan ciri-ciri kamera CCD, pengujian keupayaan lekapan teleskop dan kaedah pengimejan yang dilakukan di Balai Cerap Al-Khawarizmi.

3.2.1 Pemeriksaan ciri-ciri kamera CCD

Pemeriksaan ciri-ciri sebuah kamera CCD adalah untuk mengukur kemampuan kamera itu bekerja dengan baik. Kamera yang baik mampu menghasilkan imej yang berkualiti. Pemeriksaan kemampuan kamera perlu dilakukan secara berkala atau apabila kualiti imej yang dihasilkan mulai didapati merosot. Ciri-ciri kamera yang diperiksa dalam kajian ini bagi menentukan "kesihatan" atau kemampuan kamera CCD iaitu [33] ;

- gandaan
- hingar bacaan
- kelinearan CCD
- keseragaman CCD
- arus gelap

3.2.1.1 Gandaan, g

Gandaan atau *gain* adalah hubungan di antara nilai piksel dalam unit analog ke digital (ADU) dengan bilangan elektron-elektron yang dijanakan oleh fotosit-fotosit CCD.

Unit bagi gandaan adalah bilangan elektron per ADU.

Gandaan boleh dihitung dengan rumus [38].

$$g = \hat{S}_{pv} / 0.5\sigma_{pv}^2 \text{ (elektron per ADU)} \quad (3.1)$$

di mana \hat{S}_{pv} adalah min nilai piksel

σ_{pv}^2 adalah varian nilai piksel

Pengeluar atau pembuat kamera CCD menganggarkan nilai gandaan berdasarkan muatan perigi penuh terhadap bilangan langkah-langkah yang terlibat dalam penukaran analog-digital.

$$\text{gandaan} = \text{muatan perigi penuh} / \text{bit kamera} \quad (3.2)$$

Sebagai contoh bagi cip kamera CCD gred penyelidikan saintifik dengan muatan perigi penuh 80000 elektron dan 12 bit penukar analog-digital maka nilai gandaan sekitar $80000/4096 = 19.5$ elektron per ADU. Kebiasaannya bagi kamera CCD 12 bit, nilai gandaan terletak antara 10 - 30 elektron.

3.2.1.2 Hingar bacaan

Hingar bacaan adalah perubahan rawak dalam output kamera CCD bila tiada isyarat yang dikesan. Nilainya dinyatakan sebagai punca min kuasa dua bilangan elektron (*electrons root mean square*, r.m.s). Hingar bacaan secara asasnya ditentukan oleh cip amplifier kamera CCD. Bagi cip amplifier kamera CCD gred penyelidikan saintifik, nilainya sekitar 5 elektron p.m.k.d. Nilai hingar bacaan ini juga boleh dianggarkan secara kasar dari nilai gandaan yang diperolehi di atas.

Hingar bacaan σ_{ron} diberikan oleh rumus [39].

$$\sigma_{\text{ron}} = g \sigma_{\text{pv}} \quad (3.3)$$

di mana σ_{pv} adalah sisihan piawai nilai piksel

Nilai hingar bacaan σ_{ron} dihitung dengan menggunakan nilai *gandaan* g , yang diperolehi seperti yang dibincangkan di 3.2.1.1

3.2.1.3 Kelinearan

Kelinearan kamera CCD adalah nilai piksel berkadar secara langsung dengan cahaya yang jatuh ke atas CCD. Kebanyakan Kamera CCD tidak lagi linear apabila cas perigi menghampiri tepu. Pemeriksaan kelinearan bertujuan untuk memastikan kelinearan CCD keatas julat dinamik penuh atau menentukan julat linear CCD supaya dapat mengoptimakan penguat gandaan (*gain amplifier*).

3.2.1.4 Keseragaman CCD

Setiap piksel CCD mempunyai sensitiviti yang berbeza-beza terhadap cahaya di antara satu sama lain. Di antara piksel-piksel bersebelahan perbezaan sensitivitinya kurang dari 1% dan bagi keseluruhan CCD boleh mencapai 10%.

3.2.1.5 Arus gelap

Walaupun kamera CCD tidak didedahkan kepada cahaya sekalipun, elektron akan terhasil dalam piksel yang dinamakan hingar arus gelap. Cas yang terkumpul dari elektron yang dijanakan secara terma meningkat dengan masa. Peningkatan hingar arus gelap berkadar terus dengan suhu kamera CCD. Arus gelap akan meningkat jika suhu kamera bertambah dan berkurang jika suhu menurun. Penyejukan CCD boleh mengurangkan kadar elektron terma yang dijanakan. Arus gelap mempunyai hubungan linear dengan waktu dedahan sehingga kepada takat waktu tertentu.

3.2.2 Langkah-langkah ujian menentukan ciri-ciri kamera CCD

Terdapat dua kaedah untuk melakukan ujian terhadap CCD iaitu ujian ringkas dan lanjutan [38]. Ujian ringkas tidak melibatkan langkah-langkah yang rumit bertujuan untuk mengukur secara cepat nilai gandaan dan hingar bacaan Kamera CCD. Ujian lanjutan melibatkan langkah-langkah yang lebih rumit melibatkan eksperimen atau cerapan di Balai cerap melibatkan rakaman dan penganalisan imej.

3.2.2.1 Langkah-langkah ujian ringkas

Ujian dijalankan dalam keadaan kamera CCD terpasang di teleskop seperti keadaan yang biasa dilakukan untuk pengimejan.

3.2.2.1.a Gandaan ,g;

- i. Kamera CCD dihidupkan dan dibiarkan sehingga mencapai keseimbangan terma.

- ii. Dua bingkai imej datar dirakamkan dengan sama waktu dedahan. Nilai ADU imej di antara 16,000 - 32,000 (bagi kamera CCD 16bits). Kedua-dua imej disimpan sebagai fail FF1 dan FF2.
- iii. Satu bingkai gelap dirakamkan dengan waktu dedahan yang sama dengan bingkai datar. Imej ini disimpan sebagai fail FFD.
- iv. Satu bingkai pincang dirakamkan dengan waktu dedahan yang paling singkat yang boleh dan imej ini disimpan sebagai fail FFB.
- v. Bingkai imej medan datar di tolak dengan imej bingkai gelap. Min nilai piksel, \hat{S}_{pv} , di ukur di kawasan tengah imej ini.
- vi. Bingkai imej medan datar FF1 ditolak dengan FF2. Hasil dari tolakan kedua-dua imej ini akan memberikan varian, σ_{pv}^2 . Nilai varian diukur di kawasan tengah imej.
- vii. Nilai gandaan, g , dihitung dengan rumus 3.1.

3.2.2.1.b Hingar bacaan

- i. Satu bingkai pincang dirakamkan dengan waktu dedahan yang paling singkat kamera CCD (teleskop ditutup supaya tiada cahaya jatuh ke atas kamera CCD).
- ii. Dari nilai gandaan g , dapat dihitung nilai hingar bacaan dengan mendarabkan sisihan piawai bingkai pincang dengan nilai g dari persamaan 3.3

3.2.2.1. c Arus gelap

Langkah pengukuran arus gelap seperti berikut;

- i. Tutup bukaan teleskop dan rakamkan bingkai gelap dengan dedahan

selama 60 saat. bingkai ini disimpan sebagai fail FFD.

- ii. Buka fail bingkai gelap dan bingkai pincang FFB. Tolakkan bingkai gelap dengan bingkai pincang.
- iii. Ukur min nilai piksel di tengah bingkai FFB – FFD dan nilai yang diperolehi adalah arus gelap yang terkumpul dalam waktu dedahan tersebut.

3.2.2.2 Kaedah lanjutan

3.2.2.2.a Gandaan, g, dan hingar bacaan, σ_{ron} ;

Langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk mengukur nilai gandaan, g, dan hingar bacaan, σ_{ron} ialah;

- i. Sebuah projektor slaid dengan mentol halogen sebagai sumber cahayanya dan skrin putih telah digunakan dalam kajian ini. Keamatan cahaya projektor slaid ini boleh dikawal dengan butang kawalan sedia ada. Ujikaji ini dijalankan di dalam kubah Balai Cerap Al-Khawarizmi dengan dipastikan tiada sumber cahaya dari luar yang lepas masuk ke dalam ruang kubah, hanya cahaya dari projektor slaid. Cahaya projektor dihalakan ke skrin putih.
- ii. Teleskop dipasang dengan kamera CCD dan dihalakan ke skrin putih. Keamatan cahaya projektor di kurangkan sehingga imej CCD menghampiri perigi penuh pada waktu dedahan yang tertentu.
- iii. Imej CCD medan datar diambil dengan didedahkan kepada cahaya dengan waktu dedahan yang meningkat bermula dari 1s, 2s, 3s, 4s, 5s, 6s, 7s, 8s, 9s, 10s, 20s, 30s, 40s, 50s dan 60s.

iv. Langkah iii diatas diulangi sekali lagi bagi mendapatkan dua set imej CCD medan datar. Nilai purata dan varian imej diperolehi dari sub imej 25 x 25 piksel di kawasan tengah bingkai imej yang mempunyai nilai sisihan piawai terkecil dan bebas dari cacat. Nilai varian diperolehi dengan menolakkan pasangan bingkai medan datar masing-masing dan dibahagi dua, $(FFD1 - FFD1a) / 2$.

v. Waktu dedahan, min piksel dan nilai varian dan kadar hitungan direkodkan bagi setiap imej medan datar.

Dari set data imej medan datar dilakarkan graf lengkung pemindahan (*transfer curve*) iaitu graf varian, σ_{pv}^2 lawan min nilai piksel, \hat{S}_{pv} . Dari graf tersebut boleh ditentukan nilai gandaan, g , dan hingar bacaan, σ_{ron} (Graf tersebut dibincangkan di 4.1.2.1).

3.2.2.2.b Kelinearan

Kelinearan adalah ukuran kemandapan CCD bergerakbalas dengan terhadap cahaya ke atas kedalaman perigi. Kelinearan boleh disemak dengan membandingkan kadar hitungan nilai piksel terhadap waktu dedahan. Langkah-langkah yang dilakukan ialah

i. Bagi mendapatkan kadar hitungan, Min nilai piksel setiap pasangan medan datar dibahagi dengan waktu dedahan.

$$\text{Kadar hitungan} = \text{min nilai piksel} / \text{waktu dedahan}$$

ii. Graf kadar hitungan

Dari kadar hitungan setiap medan datar diplotkan graf kadar hitungan nilai piksel melawan waktu dedahan.

Bagi CCD yang bergerakbalas secara linear terhadap cahaya graf yang diplotkan adalah satu garis ufuk yang sempurna.

3.2.2.2.c Kestabilan suhu

Dalam kajian ini turut diuji kestabilan suhu kamera CCD dalam tempoh masa yang tertentu. Tujuan ujian kestabilan suhu untuk mendapat nilai paras hingar arus gelap. Kaedah yang digunakan dengan mengukur suhu kamera dalam sela waktu tertentu dalam satu tempoh waktu contohnya satu jam mulai dari kamera dihidupkan. Dalam kajian ini suhu direkodkan mula dari kamera dihidupkan dan direkodkan bacaan suhu setiap 30 saat dalam tempoh 20 mint (1200 saat). Suhu bilik direkodkan sebelum dan selepas ujian dilakukan. Dari bacaan suhu kamera yang direkodkan diplotkan graf suhu ($^{\circ}\text{C}$) melawan masa (s)

3.2.3 Menentukan penyesuaian ciri teleskop dengan kamera CCD

Kajian ini menguji proses pengimejan yang melibatkan penyesuaian di antara sistem optik teleskop dengan kamera CCD, langkah-langkah rakaman imej, pemprosesan imej dan pemprosesan warna imej.

Bagi mendapat imej yang terbaik keupayaan optik teleskop perlu sesuai dengan keupayaan pengimejan kamera CCD. Untuk pengimejan objek langit jauh seperti kluster bintang, galaksi dan nebula aspek medan pandangan (*field of view*), resolusi dan waktu

dedahan perlu ditentukan dan dikatakan kunci kejayaan pengimejan [40]. Medan pandangan kamera CCD ialah berapa luas liputan langit yang dapat dirakamkan. Imej objek langit jauh yang dirakam perlu termasuk berada di dalam medan pandangan.

Medan pandangan bergantung kepada saiz cip CCD dan panjang fokus teleskop. Medan pandangan yang luas diperolehi jika menggunakan saiz cip CCD yang besar atau panjang fokus yang kecil. Teleskop yang kecil atau teleskop besar dengan panjang fokus kecil akan memberikan medan pandangan yang luas.

Medan pandangan dihitung dengan rumus;

$$\text{Medan pandangan} = \frac{206265 \times \text{saiz cip}}{\text{panjang fokus}} (\text{saat arka}) \quad (3.6)$$

Bagi merakam imej dengan resolusi yang baik, pusat cakera Airy mesti memenuhi dua piksel mengikut persampelan Nyquist seperti yang diterangkan di dalam 2.1.11

Untuk mengetahui nisbah fokus teleskop yang memenuhi persampelan Nyquist dengan rumus;

$$\text{Nisbah fokus} = \frac{2 \times \text{saiz piksel}}{\text{panjang gelombang}} (\text{saat arka}) \quad (3.7)$$

Panjang gelombang merah 0.7 mikrometer digunakan kerana puncak sensitif cip CCD sensitif pada gelombang merah.

Bagi nisbah fokus kurang dari f/15 resolusi berkesan ialah hanya satu piksel sahaja [49] dan boleh dihitung dengan rumus 2.22.

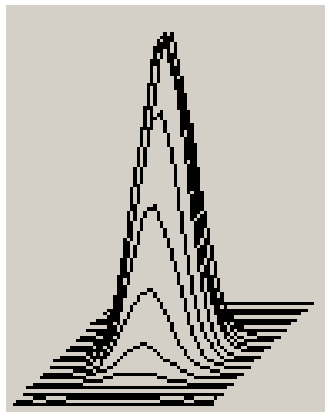
Proses rakaman imej melibatkan langkah pemfokusan, waktu dedahan, pemanduan dan penentukuran (*calibration*). Selain itu kualiti imej yang dirakam juga bergantung kepada kejernihan langit, ketepatan penjajaran polar, kualiti optik dan nisbah fokus teleskop [52].

3.2.3.1 Pemfokusan

Pemfokusan yang baik adalah di antara faktor yang penting untuk merakamkan imej yang berkualiti. Ada beberapa kaedah untuk menentukan fokus di antaranya fokus secara visual, dengan bantuan perkakasan dan bantuan perisian seperti yang telah dibincangkan di 2.5.3.

Dalam kajian ini kaedah yang digunakan untuk menentukan fokus dengan bantuan perisian. Ciri yang digunakan ialah kecerahan piksel dan lebar penuh pada setengah maksimum (lihat di 2.5.3.2.b). Perisian yang digunakan untuk menentukan fokus dalam kajian ini ialah CCDSOFT ver. 5, CCDOPS dan MaxIM DLver.4.0.

Fokus boleh ditunjukkan dengan rajah keamatan piksel seperti rajah 3.5.



Rajah 3.5

Rajah 3-D isometric menunjukkan kecerahan imej satu bintang yang diplotkan di sekeliling titik yang paling cerah di dalam imej. Bintang sebagai satu titik cahaya yang ditunjukkan oleh bahagian puncak, piksel yang cerah. Puncak yang tajam menunjukkan fokus adalah baik.

Langkah mendapatkan fokus dengan kecerahan piksel;

- i. Imej bintang difokus secara visual sehingga mencapai fokus yang sebaik mungkin.
- ii. Lebih dari satu dedahan dilakukan bagi setiap kedudukan fokus bagi bintang yang sama dan direkodkan nilai kecerahan piksel, kemudian diambil nilai purata. Nilai kecerahan bintang dipastikan tidak mencapai tepu, waktu dedahan dikurangkan jika nilai kecerahan mencapai tepu. (Nilai kecerahan sekitar 10 - 50% dari nilai tepu adalah mencukupi [42].)
- iii. Ulang fokus bagi titik fokus yang lebih tinggi nilai kecerahan piksel sehingga mencapai titik fokus yang terbaik.
Fokus bertambah baik jika nilai kecerahan piksel bertambah.

Langkah mendapatkan fokus dengan FWHM;

- i. Imej bintang difokus secara visual sehingga mencapai fokus yang sebaik mungkin.
- ii. Satu bintang dipilih berdekatan dengan objek yang hendak dikaji (berdekatan galaksi M74). Kamera didedahkan dengan waktu dedahan singkat, nilai kecerahan piksel dan FWHM direkodkan.
- iii. Fokus diulangi lagi bagi bintang yang sama sehingga mencapai titik fokus yang terbaik dengan nilai kecerahan piksel yang paling cerah dan FWHM yang paling rendah boleh dicapai. Piksel yang paling cerah ialah nilai yang paling tinggi dan puncak graf keamatan paling tajam. Jika fokus tidak sempurna, puncak graf lebih bulat (tidak tajam).

Nilai kecerahan piksel dan FWHM dipengaruhi oleh kejernihan langit. Semakin baik kejernihan langit semakin tinggi nilai kecerahan piksel.

3.2.3.2 Kejernihan (*seeing*) langit

Kejernihan langit mempengaruhi kualiti imej yang dirakam. Kejernihan langit merupakan ukuran kegeloraan dan kesetabilan atmosfera. Keadaan langit yang mantap dan stabil akan memperlihatkan cahaya bintang yang mantap dan jelas, kualiti imej yang dirakam adalah baik. Sebaliknya jika keadaan atmosfera atau langit yang bergelora menyebabkan bintang kelihatan berkelipan dan kabur, kualiti imej adalah tidak baik. Kejernihan langit boleh diukur dengan mendapatkan nilai FWHM bintang dan resolusi teleskop.

Resolusi atau skala imej teleskop dihitung dengan rumus 2.8. Manakala kejernihan langit boleh dihitung dengan rumus 2.20.

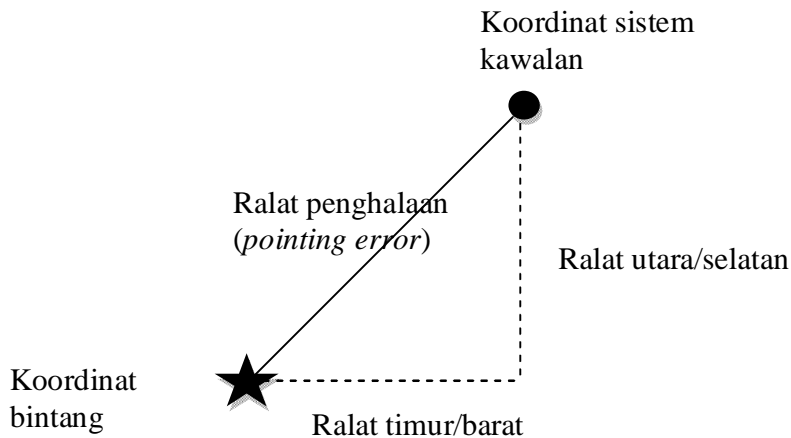
Dalam kajian ini teleskop dihalakan ke kawasan berhampiran zenith ketika langit tidak diliputi awan ini untuk bagi mengelakkan masalah pencemaran cahaya di bahagian langit selatan,. Kamera CCD dilekapkan kepada teleskop kemudian didedahkan untuk beberapa saat tertentu.

3.2.3.3 Penghalaan (*pointing*) dan Penjejakan (*tracking*)

Rakaman imej objek langit jauh dengan kamera CCD sangat bergantung kepada keupayaan fokus, penghalaan (*pointing*) dan penjejakan dengan jitu dan tepat. Penghalaan teleskop adalah tepat apabila teleskop dihalakan kepada satu bintang, imej bintang tersebut akan kelihatan tepat di tengah medan pandangan. Manakala penjejakan teleskop yang jitu dan tepat ialah apabila imej bintang yang dirakam oleh kamera dalam tempoh dedahan yang tertentu akan kelihatan bulat sempurna tanpa ada herot.

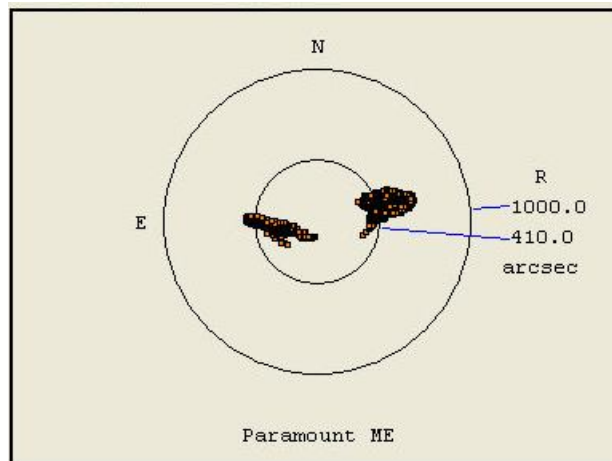
Penghalaan teleskop adalah kemampuan teleskop untuk menghala ke arah objek seperti bintang dengan tepat atau lebih tepat dikatakan teleskop dapat menghala tepat ke arah koordinat khatulistiwa objek. Penghalaan dan penjejakan yang tepat bergantung kepada keupayaan lekapan yang digunakan. Penghalaan teleskop yang digunakan di dalam kajian ini ialah teleskop RCOS 16" yang di lekapkan kepada lekapan Robotik ParamountME yang dikawal menggunakan perisian Tpoint yang dikeluarkan oleh Software Bisque. Perisian ini adalah perisian penghalaan sistem teleskop secara interaktif. Dengan sistem ini teleskop akan menghala ke arah koordinat khatulistiwa objek yang sepadan dengan koordinat objek yang sebenar di langit. Bagi mencapai penghalaan yang tepat, data koordinat objek akan dikumpulkan. Proses mengumpul data koordinat dinamakan pemetaan (*mapping*). Pemetaan teleskop melibatkan taburan bintang-bintang di langit dengan taburan yang seragam. Apabila bintang berada di tengah medan penglihatan teleskop, koordinat bintang dan koordinat teleskop akan dibandingkan. Perbezaan di antara kedua koordinat ini dinamakan ralat penghalaan (*pointing error*).

Apabila ralat penghalaan yang dikumpul telah mencukupi (10 – 100 bintang), TPoint akan membina satu set nilai secara matematik yang dapat membetulkan ralat penghalaan. Setiap kali teleskop dihalakan kearah koordinat bintang, TPoint akan menghitung jumlah

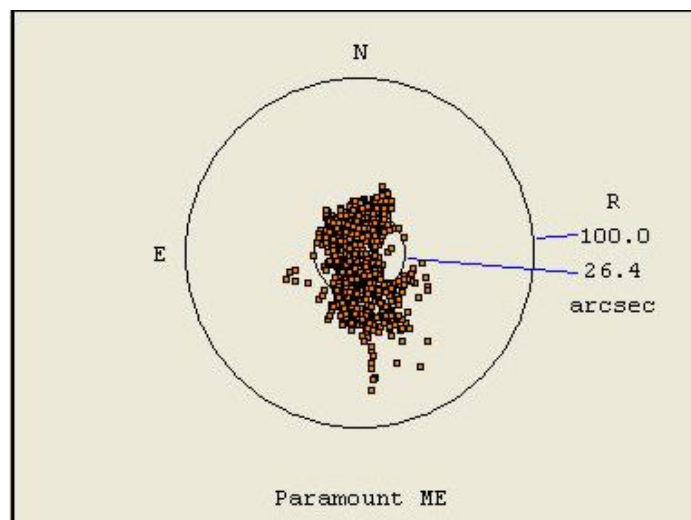


Rajah 3.6 : Model ralat penghalaan (error pointing) TPoint iaitu perbezaan di antara koordinat bintang dengan koordinat teleskop (koordinat sistem kawalan)

ralat penghalaan. Beberapa jumlah ralat yang dihitung dinamakan “*terms*”. Beberapa set *terms* akan digabungkan menghasilkan satu *model*. *Model* ini akan digunakan oleh TPoint untuk menambah baik penghalaan teleskop. Semua nilai ralat penghalaan yang telah dihitung diwakili oleh punca min kuasa dua (*root mean square*, RMS) penghalaan. Nilai penghalaan RMS memberi suatu ukuran berapa ketepatan penghalaan teleskop. Rajah 3.6 menunjukkan model ralat penghalaan TPoint di antara koordinat bintang dengan koordinat teleskop.



Rajah 3.7 : Menunjukkan taburan data bintang yang dikumpul oleh teleskop sebelum TPoint dikenakan. Bulatan di tengah yang mengandungi data bintang menunjukkan ketepatan RMS penghalaaan teleskop iaitu 410 arka saat (≈ 7 arka minit)



Rajah 3.8 : Menunjukkan taburan data bintang yang sama seperti rajah 3.7 yang dikumpul oleh teleskop selepas TPoint dikenakan. Ketepatan RMS penghalaaan teleskop menjadi lebih tepat iaitu 26.4 arka saat (ditunjukkan oleh bulatan di tengah yang mengandungi data bintang).

Ketepatan penghalaaan RMS teleskop boleh dicapai iaitu 2 arka minit atau nilai yang lebih baik lagi (nilai RMS yang lebih kecil). Ketepatan penghalaaan teleskop banyak bergantung kepada lekapan dan sistem optik teleskop. Jika terdapat ralat mekanikal sistem teleskop walaupun kecil akan memberi ralat kepada ketepatan penghalaaan teleskop. Rajah 3.7 dan

3.8 menunjukkan perbandingan ketepatan penghalaan teleskop, ketepatan ditunjukkan oleh nilai RMS, semakin kecil nilai RMS semakin tepat penghalaan teleskop.

TPoint bekerja secara intergrasi dengan perisian astronomi The Sky untuk menghasilkan set data pemetaan bagi meningkatkan kemampuan penghalaan teleskop.

Dengan perisian astronomi The Sky teleskop akan bergerak (*slewing*) kepada beberapa bilangan bintang di langit, kemudian direkodkan koordinat sebenar bintang dan koordinat teleskop. Apabila bilangan titik-titik (bintang) yang dikumpulkan telah mencukupi, TPoint akan membina satu model matematik penghalaan teleskop. The Sky akan menggunakan model ini untuk memperbaiki penghalaan teleskop ke bintang atau objek langit setiap kali arahan bergerak (*slew*) ke arah bintang dikenakan.

3.2.3.4 Langkah-langkah ujian penghalaan (*pointing*)

Tujuan ujian ini untuk mendapatkan nilai penghalaan RMS teleskop RCOS 16” yang dilekapkan kepada lekapan Robotik ParamountME dengan menggunakan perisian Tpoint dan The Sky Ver 6. Berikut adalah langkah-langkah ujian yang dijalankan;

- i. Sistem teleskop dihidupkan, kemudian perisian The Sky dihidupkan dan hubungan teleskop dengan The Sky diaktifkan.
- ii. Satu bintang yang telah dikenalpasti di dalam perisian The Sky diklik. (Bintang yang berdekatan dengan arah teleskop supaya teleskop tidak mengambil masa yang terlalu lama untuk bergerak ke bintang tersebut).

- iii. Klik butang “slew”, teleskop akan menghala ke bintang. Laraskan teleskop supaya bintang tersebut berada di tengah-tengah medan penglihatan kanta mata.
- iv. Setelah bintang berada di tengah medan penglihatan, butang “Map” diklik dan sahkan pemetaan bintang supaya data ini dimasukkan ke dalam model Tpoint.
- v. Langkah ii-iv diulangi bagi sekurang-kurangnya 20 – 30 buah bintang supaya penghalaan RMS teleskop mencapai sekurang-kurangnya 2 arka minit.
- vi. Bintang-bintang / titik-titik yang telah dipetakan dianalisis oleh TPoint dengan mengenakan ralat-ralat pembedulan (*terms*). Dengan klik “model > Fit” dalam menu TPoint, pilih pembedulan ralat-ralat (*terms*) yang bersesuaian, satu model matematik akan dijana dengan pembedulan nilai penghalaan RMS yang lebih tepat.

Bintang yang dipilih hendaklah bertabur secara seragam di langit berdasarkan altitud dan azimuth.

Elakkan dari mengambil bintang berdekatan ufuk kerana biasanya atmosfera yang besar akan menambah ralat penghalaan.

3.2.3.5 Langkah ujian penjejakan

Tujuan ujian ini adalah untuk menguji sama ada lekapan ParamountMe dapat melakukan penjejakan yang baik atau tidak. Penjejakan yang baik akan menunjukkan bintang berada di kedudukan yang sama di dalam bingkai imej pada siri dedahan yang berturutan.

- i. Teleskop dihala ke arah bintang yang agak cerah.
- ii. Dengan bantuan perisian, CCD didedahkan selama 1 saat dalam mod fokus.

- iii. Diperhatikan sama ada tetap atau berubah kedudukan bintang dalam bingkai imej.
- iv. Kemudian CCD di dedahkan selama 10s dalam sela 30 saat selama 10 minit
- v. Perubahan kedudukan imej bintang direkod (dalam piksel) dan diplot perubahan kedudukan imej bintang dalam fungsi masa.

Untuk tujuan penjejakan dengan tepat, lekapan perlu sejajar dengan kutub samawi. Lekapan perlu dilakukan penjajaran kutub (*polar alignment*). Jika lekapan tidak sejajar dengan kutub akan menyebabkan berlaku putaran medan (*field rotation*). Putaran medan memberi kesan kepada imej yang dirakam terutamanya jika dedahan CCD adalah lama. Teleskop dengan panjang fokus yang panjang memerlukan penjajaran kutub yang lebih tepat. Beberapa kaedah boleh digunakan untuk mendapatkan penjajaran kutub di antaranya ialah kaedah hanyutan secara manual (*manual drift method*) atau dengan bantuan kamera CCD, kaedah perisian seperti Tpoint yang boleh meningkatkan ketepatan penjajaran kutub.

Untuk ujian ini, penjajaran kutub dilakukan dengan kaedah hanyutan secara manual dan menggunakan perisian Tpoint.

3.2.3.5.a Kaedah hanyutan secara manual

Langkah - langkah penjajaran kutub dengan kaedah hanyutan secara manual melibatkan pelarasan paksi azimut dan altitud.

- i. Tapak lekapan disama araskan (*level*) sedapat mungkin.

ii. Pelarasan paksi azimuth.

Teleskop dihalakan ke bintang yang terletak berdekatan khatulistiwa samawi dan berhampiran meridian. Teleskop digerakan dengan perlahan-lahan supaya bintang itu berada di tengah (titik persilangan) medan pandangan kanta mata bercahaya (*illuminated recticle eyepiece*).

Bintang diperhatikan sama ada ia hanyut ke utara atau selatan. Jika bintang itu hanyut sama ada ke Timur atau Barat tidak perlu diambil kira. Jika bintang hanyut ke Utara, paksi azimuth dilaraskan supaya ia menghala lebih ke Timur. Jika bintang hanyut ke Selatan, paksi azimuth dilaraskan supaya ia menghala lebih ke Barat. Pelarasan diulang sehingga hanyutan utara / selatan semakin kecil atau tiada hanyutan untuk tempoh yang panjang.

iii. Pelarasan paksi altitud.

Teleskop dihalakan ke bintang yang terletak berdekatan khatulistiwa samawi tetapi kali ini bintang yang dipilih itu hendaklah hampir dengan ufuk timur atau barat. Teleskop digerakkan dengan perlahan-lahan supaya bintang itu berada di tengah (titik persilangan) medan pandangan kanta mata bercahaya.

Bintang diperhatikan sehingga ia hanyut ke utara atau selatan, abaikan jika hanyutan ke timur atau barat. (Jika teleskop menghala ke barat); jika bintang hanyut ke utara, paksi kutub altitud dilaraskan ke bawah. Jika bintang hanyut ke selatan, paksi kutub altitud dilaraskan ke atas.

(Jika teleskop menghala ke timur); jika bintang hanyut ke utara, paksi kutub altitud dilaraskan ke atas. Jika bintang hanyut ke selatan, paksi kutub altitud dilaraskan ke bawah.

Pelarasan diulang sehingga hanyutan utara / selatan semakin kecil atau tiada hanyutan, untuk tempoh yang panjang.

Untuk mengetahui di mana arah utara di dalam kanta mata, jika teleskop digerakkan ke arah selatan, perhatikan ke mana arah bintang itu akan bergerak, arah bintang itu bergerak ialah arah utara.

3.2.3.5.b Kaedah TPoint

Dengan bantuan kaedah TPoint dapat membantu kita untuk melakukan penjajaran kutub (*polar alignment*). Dari data pemetaan (*mapping*) yang dikumpulkan oleh teleskop, TPoint akan membuat analisa untuk menentukan berapa selisih altitud dan azimuth lekapan dari nilai penjajaran kutub yang sebenarnya. Penjajaran teleskop yang sebenar di Balai Cerap Al-Khawarizmi ialah altitud $2^{\circ} 17'U$ dan azimuth $00^{\circ} 00'$. Dari nilai selisih penjajaran kutub yang dihitung oleh TPoint, pembetulan lekapan (*mount adjustment*) boleh dilakukan.

Proses pemetaan, analisa dan pembetulan lekapan diulang sehingga penjajaran kutub yang sebenar dicapai.

Berikut adalah langkah-langkah penjajaran kutub dengan kaedah Tpoint.

- i. Jam komputer dibetulkan dengan tepat pada malam cerapan dengan waktu piawai yang boleh dicapai melalui internet. Waktu yang tidak tepat akan member ralat kepada model TPoint.
- ii. Model TPoint disisipkan terlebih dahulu ke dalam TheSky.
- iii. Teleskop disegerakkan (*synchronize*) dengan bintang yang cerah. Teleskop perlu disegerakkan sekali sahaja setiap kali memulakan model TPoint. Kemudian teleskop dihalakan ke bintang lain yang berhampiran dan lakukan pemetaan. (langkah-langkah pemetaan telah diterangkan seperti di atas).
- iv. Setelah enam data pemetaan bintang yang berhampiran antara sama lain dilakukan, dapatkan 15-20 data pemetaan bagi bintang di kawasan langit yang lebih luas. Setelah itu penambahan "*terms*" kepada model TPoint boleh dilakukan, supaya nilai RMS adalah kecil.
- v. Dari analisis model TPoint, kita akan perolehi nilai pembetulan penjajaran kutub . Seterusnya lekapan dibetulkan dari segi nilai altitud dan azimuth.
- vi. Langkah ii. hingga v. diulangi sehingga penjajaran kutub yang tepat dicapai. Terlebih dahulu model TPoint yang lama hendaklah dihapus (*delete*), kemudian baru mulakan TPoint yang baru.

3.2.3.6 Pemanduan (*guiding*)

Pemanduan membolehkan waktu dedahan lebih lama dapat dilakukan terutamanya untuk rakaman imej bagi objek langit jauh. Tujuan pemanduan adalah untuk melakukan pembetulan yang kecil terhadap ralat gerakan lekapan supaya ia sentiasa dapat menjejak objek langit dengan tepat. Dengan kata lain membetulkan pemanduan sebelum ralat penjejakan menjadi terlalu besar. Menurut Wondaski (2001), jika ralat penjejakan menjadi sebesar saiz satu piksel sudah dianggap besar. Pemanduan akan membetulkan ralat kecil penjajaran kutub, ralat berkala disebabkan oleh gear, ralat bukan berkala yang disebabkan oleh perbezaan kecil (*minor variation*) gear. Ralat-ralat tersebut akan menyebabkan lekapan bergerak terlalu jauh atau terlalu pantas akibatnya imej bintang yang dirakam oleh CCD akan kelihatan seperti garisan atau menjadi herot. Langkah-langkah untuk pemanduan-auto (*auto-guiding*)

- i. Untuk pemanduan, lekapan ditentukan dengan menggunakan perisian CCDops dan CCDsoft. Perisian ini akan mengukur berapa laju lekapan bergerak dan arah gerakan.
- ii. Satu bintang pemandu dipilih. Bintang yang terang relatif dengan latar belakang dipilih dan tiada bintang yang sama cerah berhampiran bintang pemandu dalam medan pandangan pengesan CCD pemandu (*CCD autoguider detector*).
- iii. Bintang pemandu yang dipilih tidak hampir tepu, tidak melebihi dari 50% paras tepu kamera CCD.

Paras tepu dihitung terlebih dahulu dengan rumus;

$$\text{Paras Tepu} = \text{muatan perigi penuh (elektron)} / \text{gandaan} \quad (3.11)$$

- iv. Satu imej bintang pemandu diambil dengan dedahan di antara 1-10saat. Imej ini sebagai rujukan dan mestilah sentiasa jelas sebagai satu bintang sepanjang penentukuran. Waktu dedahan bergantung kepada skala imej (*image scale*) dan saiz piksel.

$$\text{Skala imej} = (\text{saiz piksel} / \text{panjang fokus}) \times 206 \quad (3.12)$$

di mana saiz piksel dan panjang fokus dalam unit mikron dan mm masing-masing.

$$\text{Waktu dedahan} = \frac{(\text{bilangan piksel untuk bergerak} \times \text{skala imej})}{(15 \times \text{kadar pemanduan})} \quad (3.13)$$

di mana kadar pemanduan jika 1X kadar sideral (bermakna 15 darjah / jam). Teleskop akan bergerak 15 arka minit dalam masa satu minit.

Sebelum pemanduan dilakukan, lekapan hendaklah ditentukuran terlebih dahulu. Penentukuran bertujuan untuk menentukan berapa lama masa diambil untuk menggerakkan lekapan bagi membuat pembetulan pemanduan. Bagi mencapai pemanduan yang tepat penentukuran dibuat setiap kali berubah deklinasi sasaran objek, lebih-lebih lagi jika panjang fokus teleskop adalah besar [36].

Langkah-langkah penentukuran untuk pemanduan-auto;

- i. Sambungkan kabel di antara kamera CCD dengan lekapan
- ii. Teleskop dihala ke satu bintang yang sesuai kecerahannya dan berada di atas pengesan CCD pemandu
- iii. Klik bintang pemandu dan lakukan penentukuran.

Semasa penentukuran, imej bintang pemandu pada kedudukan awal dirakam, kemudian lekapan akan bergerak dalam satu tempoh masa, imej objek dirakam, kemudian dibandingkan dengan imej yang pertama, berapa jauh lekapan telah bergerak. Perisian akan mengukur jumlah pergerakan dari satu dedahan ke dedahan berikutnya. Turutan pergerakan lekapan seperti berikut;

- i. Bergerak dalam arah X-positif
- ii. Bergerak dalam arah X-negatif, pergerakan diukur.
- iii. Bergerak dalam arah Y-positif
- iv. Bergerak dalam arah Y-negatif, pergerakan diukur.

Lekapan yang ideal bintang pemandu akan kembali tepat kepada kedudukan awal penentukuran. Dalam keadaan sebenar, terdapat perubahan kecil kedudukan awal dan akhir disebabkan oleh faktor seperti kamera tidak bersudut tepat dengan paksi lekapan-paksi R.A dan deklinasi.

3.2.3.7 Penentukuran (*calibration*) imej CCD

Imej mentah yang dirakam oleh kamera CCD mengandungi hingar yang berpunca dari punca yang menghasilkan hingar secara rawak dan yang tidak dapat diramalkan. Jenis-jenis hingar seperti yang telah dibincangkan di dalam bahagian 2.3. Penyingkiran hingar dari imej mentah dapat dilakukan melalui proses penentukuran imej. Proses penentukuran imej melibatkan bingkai pincang, bingkai gelap dan bingkai medan datar yang telah diterangkan di 2.7.1

Langkah-langkah penentukuran melibatkan membina bingkai pincang utama, bingkai gelap utama dan bingkai medan datar utama.

Langkah-langkah membina bingkai pincang utama

- i. Kamera CCD disejukkan terlebih dahulu hingga stabil secara normal.
- ii. Teleskop ditutup atau penutup kamera di tutup.
- vii. Masa dedahan diletakkan pada nilai minimum yang dibenarkan oleh perisian yang digunakan.
- iv. Dedahan dilakukan dengan sekurang-kurangnya tujuh bingkai pincang.
- v. Dari tujuh bingkai pincang dapatkan bingkai pincang utama sama ada secara purata atau median dengan menggunakan perisian.

Bingkai pincang utama dihasilkan dengan mendapatkan purata dari beberapa bingkai pincang. Ada dua kaedah untuk menggabungkan beberapa bingkai pincang iaitu dengan cara

- i. mendapatkan purata beberapa bingkai pincang.
- ii. mendapatkan median dari beberapa bingkai pincang. Kaedah ini digunakan jika persekitaran terdedah kepada hingar elektronik seperti perkakasan elektronik, motor elektrik, interferensi frekuensi radio dari komputer dan monitor. Litar kamera CCD juga menghasilkan hingar yang berpunca dari seperti LED, litar jam dalam litar kawalan [47].

Langkah-langkah membina bingkai gelap utama (*master dark frames*)

- i. Kamera CCD disejukkan terlebih dahulu hingga stabil secara normal.
 - ii. Teleskop ditutup atau penutup kamera di tutup.
 - iii. Masa dedahan diletakkan sama seperti masa dedahan untuk imej mentah yang digunakan.
 - iv. Dedahan dilakukan dengan sekurang-kurangnya tujuh bingkai gelap
 - v. Dari tujuh bingkai gelap dapatkan bingkai gelap utama sama ada secara purata atau median. Median bingkai gelap digunakan jika terdapat hingar sinar kosmik. Satu sinar komik menghasilkan nilai piksel yang melampau dan boleh disingkirkan dengan median bingkai gelap.
- [48].

Langkah-langkah membina bingkai medan datar utama (*master flat field*).

Secara idealnya medan datar harus mempunyai nilai piksel setengah dari nilai tepu cip CCD. Medan datar tidak menghampiri tepu supaya CCD bergerakbalas secara linear terhadap cahaya. Oleh kerana kecekapan kuantum CCD bergantung kepada panjang gelombang cahaya, jika cahaya yang digunakan bukan cahaya langit, cahaya tiruan untuk menghasilkan medan datar perlulah mempunyai taburan tenaga spektra yang sama seperti cahaya langit malam.

Setiap komponen sistem optik, teleskop, kamera CCD, fokus dikekalkan seperti melakukan dedahan untuk imej mentah.

- i. Sebuah projektor slaid dan skrin putih digunakan sebagai punca cahaya

dan permukaan yang sekata. Cahaya projektor dipancarkan ke skrin yang diletakkan di hadapan teleskop. Cahaya yang dipantul dari skrin putih bertindak sebagai cahaya yang seragam untuk menghasilkan medan datar.

- ii. Dipastikan tiada cahaya luar masuk ke dalam balai cerap. Hanya cahaya halogen dari projektor slaid sebagai punca cahaya tiruan yang digunakan untuk menghasilkan bingkai medan datar.
- iii. Kamera CCD digabungkan dengan teleskop, kemudian dihalakan ke skrin. Kamera CCD didedahkan dengan masa dedahan di antara 2 hingga 10 saat supaya medan datar mencapai nilai piksel di antara 35% - 50% dari nilai tepu kamera CCD.

Paras Nilai Tepu kamera CCD dihitung dengan rumus;

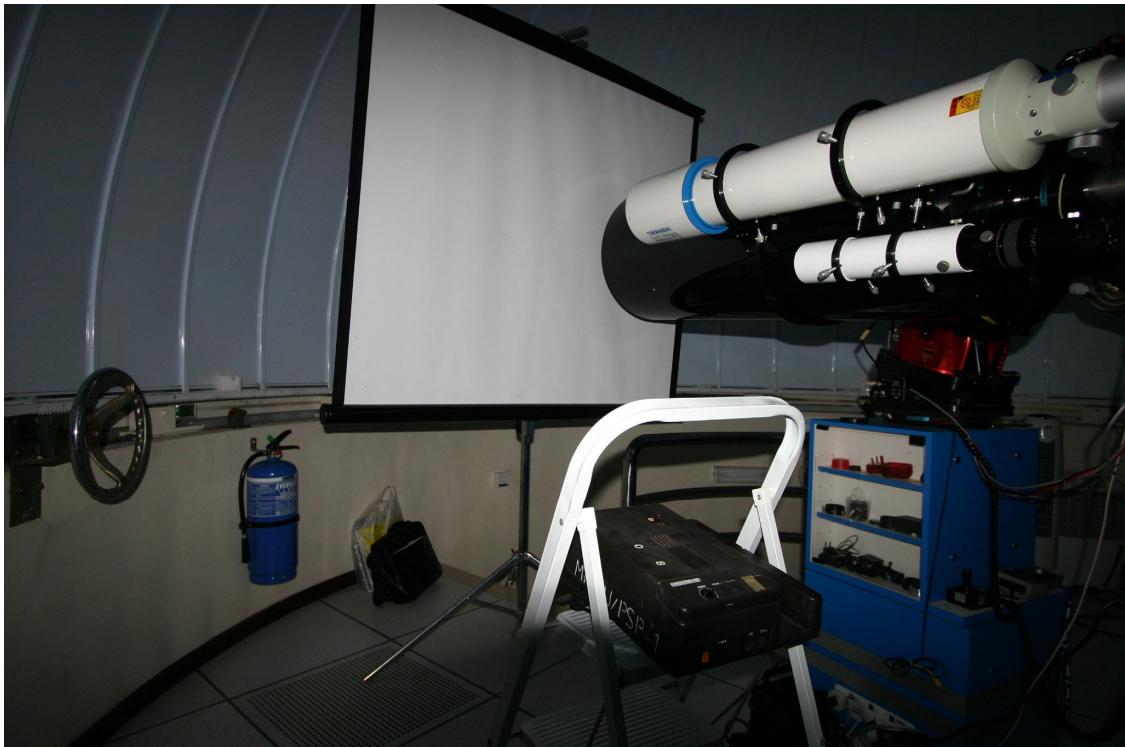
$$\text{Paras Nilai Tepu} = \frac{\text{Muatan perigi penuh CCD}}{\text{gandaan CCD}}$$

- iv. Kamera CCD didedahkan seberapa banyak yang mungkin untuk merakamkan medan datar. Untuk kajian ini sebanyak tujuh medan datar dirakamkan.
- vi. Dari tujuh medan datar dapatkan purata atau median medan datar dengan menggunakan perisian.
- v. Dapatkan bingkai gelap bagi setiap bingkai medan datar dan dapatkan bingkai gelap utama (bagi medan datar). Waktu dedahan medan gelap sama dengan waktu dedahan medan datar.
- vi. Bagi mendapatkan bingkai medan datar utama, bingkai purata atau median medan datar utama ditolak dengan bingkai gelap utama (medan datar).

Setelah membina satu bingkai gelap utama dan medan datar utama, kedua-duanya boleh digunakan untuk proses penentuan bagi semua imej mentah yang sama waktu dedahan dan diri-siap (*set-up*) optikal yang sama.

Dengan bingkai gelap utama dan medan datar utama yang telah dibina boleh dilakukan tentukur terhadap imej mentah yang dirakam.

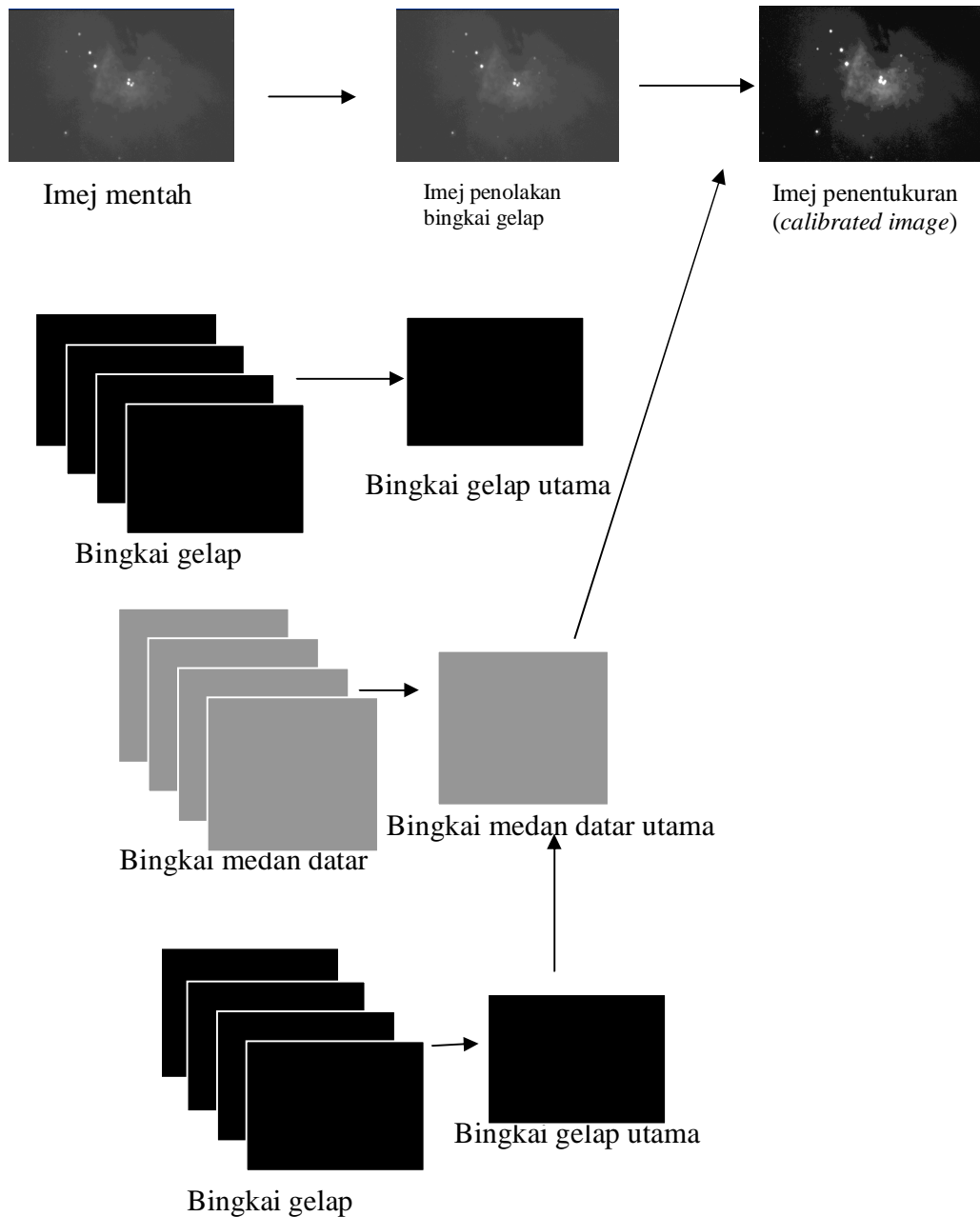
- i. imej mentah ditolakkan dengan medan gelap utama.
- ii. Dihitung purata nilai piksel bingkai medan datar utama.
- iii. Dibahagi imej yang ditolak dengan medan gelap dengan purata medan datar.



Rajah 3.5

Slaid projektor dan skrin putih digunakan bagi menghasilkan medan datar

Rajah 3.5 menunjukkan susunan teleskop, kamera CCD, projektor slaid dan skrin disusun untuk menghasilkan bingkai gelap dan medan datar. Rajah 3.6 menunjukkan ringkasan langkah-langkah proses penentukuran yang melibatkan imej mentah, bingkai gelap, bingkai medan datar dan imej penentukuran.



Rajah 3.6 Langkah-langkah penentukuran

3.2.3.8 Peningkatan kualiti imej dalam pengimejan objek langit jauh

Kualiti sesuatu imej boleh diketahui dari nisbah isyarat/hingar (*signal/noise ratio*, S/N). Jika nilai nisbah ini tinggi kualiti imej adalah baik, jika rendah kualiti imej kurang baik. Nisbah isyarat-hingar adalah nisbah isyarat di dalam imej berbanding hingar di dalam imej. Bagi memeriksa nisbah isyarat-hingar dalam imej dengan mengukur min nilai piksel dan sisihan piawai di sebahagian kecil kawasan yang seragam.

$$\text{Nisbah isyarat hingar (S/N)} = \frac{\text{min nilai piksel}}{\text{sisihan piawai nilai piksel}} \quad (3.14)$$

Katakan bagi kawasan langit latar belakang dalam imej CCD yang dirakamkan, min nilai piksel adalah 600 dan sisihan piawainya 20 maka nisbah isyarat-hingar adalah 30 (600/20). Terdapat beberapa kaedah pengurangan hingar dalam pengimejan objek langit jauh bagi meninggikan kualiti imej. Di dalam kajian ini meneliti kaedah tindihan beberapa imej dengan dedahan singkat dan dedahan tunggal yang panjang. Serta melakukan perbandingan nisbah isyarat/hingar (S/N) di antara imej mentah sebelum ditentukan dan selepas ditentukan.

Dedahan tunggal yang panjang dapat meningkatkan S/N kerana isyarat bertambah secara meningkat dengan cepat berbanding dengan hingar. Tindihan beberapa imej dengan dedahan singkat juga boleh meningkatkan kualiti imej kerana dengan gabungan isyarat

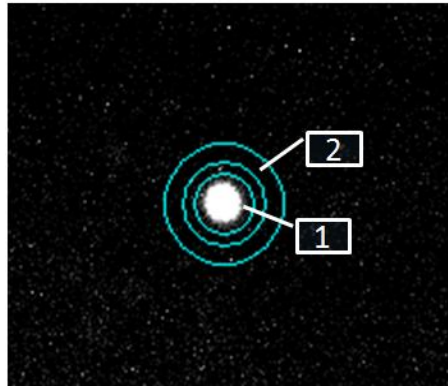
meningkat dengan cepat berbanding dengan hingar. Isyarat bertambah secara linear dengan gabungan imej manakala hingar bertambah secara kuardartik iaitu punca kuasa dua bilangan dedahan [55].

3.2.3.8.a Langkah-langkah pertindihan (*stacking*) beberapa imej dengan dedahan singkat

- i. Penentukuran dilakukan terhadap lekapan, pemanduan dan CCD. Kamera CCD dipastikan disejukkan pada -30°C dari suhu bilik dan suhu CCD menjadi stabil.
- ii. Objek yang hendak dirakam dikenalpasti yang terletak berhampiran meridian yang jauh dari ufuk bagi mengelakkan biasan cahaya
- iii. Medan pandangan ditentukan dengan dipastikan seluruh imej berada di dalam medan pandangan dan waktu dedahan.
- iv. Teleskop difokus dengan menggunakan perisian program pemrosesan imej MaxIM DLver.4.0
- v. Teleskop dihala ke objek dan kamera didedahkan selama 40s, kemudian diulangi dedahan selama 40s sebanyak 7 kali dedahan, kemudian imej ditindihkan mengikut dedahan 2x40s, 3x40s, 4x40s, 5x40s, 6x40s, 7x40s dan 8x40s. Setiap set pertindihan imej, satu bintang rujukan dipilih untuk hitungan nisbah isyarat/hingar (S/N) dengan menggunakan perisian MaxIM DLver.4.0 dan direkodkan.

- vi. Bingkai gelap dan bingkai medan datar yang sepadan dirakam dengan perisian program perolehan imej MaxIM DLver.4.0 bagi setiap imej mentah dirakam dan disimpan dalam fail.
- vii. Proses penolakkan imej mentah masing-masing dengan bingkai gelap dan medan datar dilakukan dengan menggunakan perisian program pemprosesan imej MaxIM DLver.4.0.
- viii. Imej yang telah ditentukan, ditindihkan mengikut dedahan 2x40s, 3x40s, 4x40s, 5x40s, 6x40s, 7x40s dan 8x40s. Pertindihan imej dilakukan menggunakan perisian MaxIM DLver.4.0. Sebelum ditindih imej penentuan di jajarkan terlebih dahulu menggunakan perisian MaxIM DLver.4.0 dengan kaedah "*Auto- star matching*" atau "*manual 2 stars*".
- ix. Satu bintang rujukan dipilih bagi setiap set imej yang ditindih untuk pengukuran nisbah isyarat/hingar, S/N. Perisian MaxIM DLver.4.0 digunakan dengan mod bukaan (*aperture*) untuk hitungan S/N.
- x. Nisbah isyarat/hingar (S/N) dibandingkan di antara imej mentah sebelum dan selepas ditentukan.

Bintang rujukan yang dipilih bagi setiap set imej yang ditindihkan berdasarkan tidak terdapat bintang lain yang berdekatnya dan latar belakang yang seragam. Mod bukaan terdiri dari dua bulatan sepusat dengan jejari dalaman dan luaran yang boleh disesuaikan. Bulatan disebelah dalam mengukur keamatan (*intensity*) piksel-piksel dan bulatan luar mengukur sisihan piawai piksel-piksel latar belakang seperti yang ditunjukkan pada rajah 3.7. Hitungan nisbah isyarat/hingar ialah nisbah keamatan piksel-piksel terhadap hingar.



Rajah 3.7: Nilai Nisbah isyarat/hingar (S/N) keamatan piksel bintang rujukan di tengah bulatan 1, dengan piksel langit latar belakang didalam bulatan 2. Analisa dengan perisian MaxIM DLver.4.0 mod bukaan.

3.2.3.8.b Langkah-langkah dedahan tunggal dengan dedahan panjang

- i Langkah-langkah i hingga iv dalam 3.2.3.7.a diulangi.
- ii. Teleskop dihala ke objek dan kamera didedahkan selama 30s, kemudian diulangi dengan dedahan 40s, 60s,120s dan 180s dengan sekali dedahan kemudian disimpan dalam fail masing-masing dengan perisian program perolehan imej MaxIm DL ver 4.0. Setiap set imej, satu bintang rujukan dipilih untuk hitungan nisbah isyarat/hingar (S/N) dengan menggunakan perisian MaxIM DLver.4.0 dan direkodkan.
- xi. Bingkai gelap dan bingkai medan datar yang sepadan dirakam bagi setiap imej mentah dirakam dan disimpan dalam fail masing-masing.
- xii. Proses penolakkan imej mentah masing-masing dengan bingkai gelap dan medan datar dilakukan
- xiii. Satu bintang rujukan dipilih bagi setiap set imej untuk pengukuran nisbah isyarat/hingar,S/N. Perisian MaxIM DLver.4.0 digunakan

dengan mod bukaan (*aperture*) untuk hitungan S/N.

- xiv. Nisbah isyarat/hingar (S/N) dibandingkan di antara imej mentah sebelum dan selepas ditentukan

3.2.3.9 Perbandingan kualiti imej di antara imej monokrom dengan imej warna

Imej monokrom adalah imej hitam putih sahaja manakala imej warna terdiri dari komponen warna utama iaitu merah, hijau dan biru. Kajian ini cuba membuat perbandingan dari segi kualiti imej di antara imej monokrom dengan imej warna.

Kaedah mengambil imej monokrom seperti yang telah dibincangkan di atas.

Kaedah yang biasa digunakan untuk mengambil warna imej ialah mengambil warna imej mengikut komponen warna merah, hijau dan biru. Kemudian komponen ini digabungkan menghasilkan satu imej warna. Kamera CCD menggunakan penapis warna yang dicantumkan di bahagian depan kamera. Terdapat tiga penapis warna iaitu merah, hijau dan biru terpasang di dalam penapis warna (*filter wheels*). Penapis-penapis warna ini merupakan penapis interferens yang hanya membenarkan cahaya dengan panjang gelombang tertentu sahaja dibenarkan lalu. Penapis warna ini juga dilapisi lapisan penghalang gelombang infra merah (IR) bagi menghalang gelombang dari sampai kepada CCD. Cip CCD sangat sensitif terhadap IR. Jika gelombang infra merah melepasi penapis ini ia akan merosakkan warna imej.

3.2.3.9.a Langkah-langkah merakam imej warna dengan beberapa dedahan

- i. Penentuan dilakukan terhadap lekapan, pemanduan dan CCD. Kamera CCD dipastikan disejukkan pada suhu -30°C di bawah suhu bilik dan suhu CCD menjadi stabil.
- ii. Objek yang hendak dirakam dikenalpasti yang terletak berhampiran meridian yang jauh dari ufuk bagi mengelakkan kesan biasan cahaya.
- iii. Medan pandangan ditentukan dengan dipastikan seluruh imej berada di dalam medan pandangan dan waktu dedahan.
- iv. Teleskop difokus dengan menggunakan perisian program pemprosesan imej.
- v. Penuras warna merah dipilih dan waktu dedahan ditentukan berdasarkan kepada nisbah waktu dedahan merah, hijau dan biru (RGB); 1.0 : 1.0 : 1.50.
- vii. Teleskop dihala ke objek dan kamera didedahkan berdasarkan nisbah penuras warna merah sebanyak 6, 9 dan 18 dedahan kemudian disimpan dalam fail masing-masing dengan perisian program pemprosesan imej seperti CCDSOFT.
- viii. Langkah v dan vii diulang untuk penapis warna hijau dan biru.
- ix. Bingkai gelap dan bingkai medan datar yang sepadan bagi setiap penapis warna dirakam dengan perisian program perolehan imej seperti CCDSOFT bagi setiap imej mentah dirakam dan disimpan dalam fail.
- x. Proses penolakan imej mentah masing-masing dengan bingkai gelap dan medan datar dilakukan dengan menggunakan perisian program pemprosesan imej seperti AIP4win 1.4.

- xi. Imej tertentu bagi beberapa dedahan digabungkan. Gabungan imej dilakukan menggunakan perisian MaxIM DLver.4.0. Sebelum digabungkan, imej tertentu di jajarkan terlebih dahulu menggunakan perisian MaxIM DLver.4.0 dengan kaedah "*Auto- star matching*" atau "*manual 2 stars*".
- xii. Kawasan sub frame ditentukan untuk menentukan min nilai piksel, sisihan piawai dan nisbah isyarat-hingar.

3.2.3.9.b Langkah-langkah merakam imej warna dengan dedahan tunggal

- i. Langkah-langkah i hingga viii dalam 3.2.3.8.a diulangi.
- ii. Teleskop dihala ke objek dan kamera didedahkan mengikut nisbah penapis warna dengan sekali dedahan kemudian disimpan dalam fail masing-masing dengan perisian program pemprosesan imej seperti CCDSOFT.
- vi. Bingkai gelap dan bingkai medan datar yang sepadan dirakam dengan perisian program perolehan imej seperti CCDSOFT bagi setiap imej mentah dirakam dan disimpan dalam fail masing-masing.
- vii. Proses penolakan imej mentah masing-masing dengan bingkai gelap dan medan datar dilakukan dengan menggunakan perisian program pemprosesan imej seperti AIP4win 1.4.
- viii. Kawasan sub bingkai ditentukan untuk menentukan min nilai piksel, sisihan piawai dan nisbah isyarat-hingar.
- ix. Dari nilai S/N yang dihitung dengan perisian AIP4win 1.4 dilakukan perbandingan di antara imej monokrom dan warna.