

## **BAB 2**

### **KAJIAN LATAR BELAKANG**

Bab ini membincangkan konsep dan teori yang terlibat dalam kajian yang dijalankan. Penghasilan imej oleh kamera peranti cas berganda (*charge coupled device, CCD*) yang baik melibatkan beberapa prosedur atau langkah-langkah yang melibatkan aspek peralatan, pemfokusan dan penentukuran [12].

Aspek peralatan melibatkan spesifikasi kamera CCD, kejituan fokus, lekapan (*mount*) yang baik, kejituan penjajaran kutub (*polar alignment*), optik yang berkualiti dan nisbah fokus (*focal ratio*) [12, 13, 14].

Aspek-aspek utama yang dibincangkan ialah CCD, jenis-jenis imej CCD, nisbah isyarat-hingar, langkah-langkah penghasilan imej dan penentukuran.

#### **2.1 Prinsip kerja CCD**

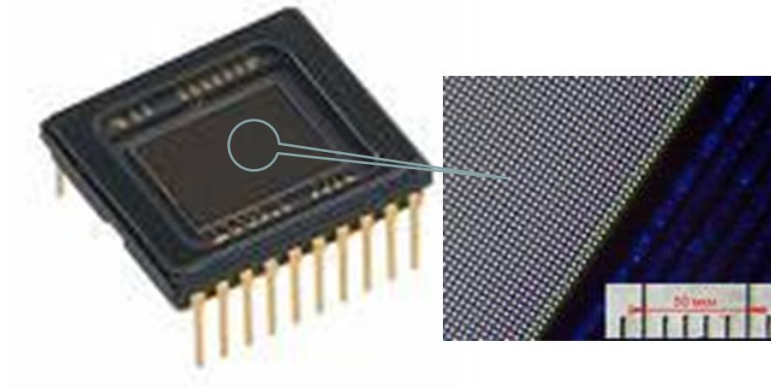
Kamera CCD berfungsi sebagai perakam cas elektrik yang sangat sensitif kepada foton cahaya. Ia mengandungi satu peranti / cip elektronik yang diperbuat dari silikon nipis. Ia terdiri dari satu susunan beribu-ribu piksel / fotodiod mikro yang peka cahaya yang disusun dalam baris dan lajur dan boleh merakamkan imej seperti yang ditunjukkan pada rajah 2.1. Setiap satu darinya adalah identikal berbentuk segiempat tepat dengan saiz

sisinya tidak lebih dari 10 mikrometer. Setiap piksel terdiri dari kapasitor yang boleh menyimpan cas elektrik.

Apabila foton jatuh ke atas piksel, cas elektrik akan dijanakan. Penjana cas elektrik berlaku apabila sejumlah foton cahaya yang tiba akan diserap oleh substrat silikon dan mengujudkan pasangan elektron-lohong. Pasangan tersebut dipisahkan oleh medan elektrik (bias positif), sehingga elektron-elektron terkumpul di perigi keupayaan. Elektron-elektron akan terperangkap di dalam perigi keupayaan sehingga proses pembacaan cas dijalankan [15].

Kelebihan kamera CCD berbanding dengan kamera filem ialah ia memiliki nilai kecekapan kuantum yang tinggi, sambutan yang linear terhadap fluks cahaya dan waktu dedahan, sambutan panjang gelombang yang lebar (ultra lembayung sehingga infra-merah) dan persembahan data dalam bentuk digital yang siap diproses komputer [16].

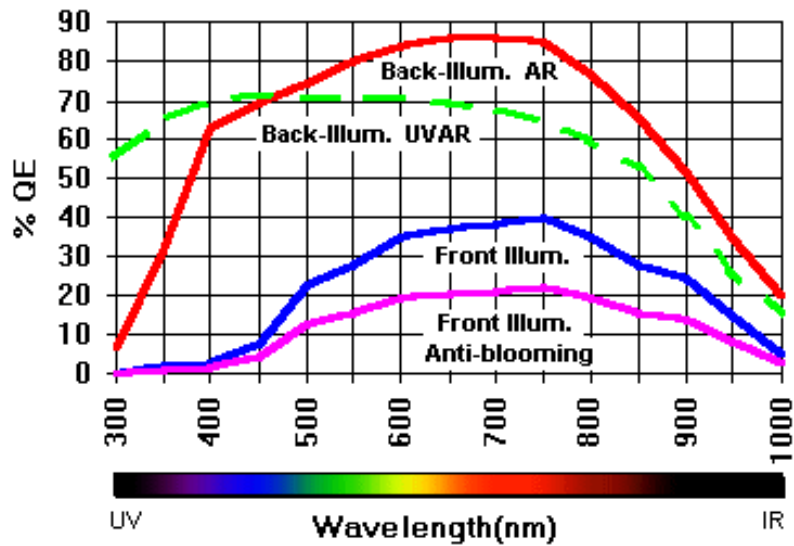
Bagi menghasilkan imej yang baik, memahami ciri-ciri asas kamera CCD yang digunakan dapat membantu kita bagaimana menggunakan kamera tersebut dengan berkesan. Ciri-ciri asas kamera CCD yang perlu diketahui merangkumi kecekapan kuantum, kelinearan CCD, bacaan hingar, sistem gandaan (*gain*), saiz susun atur, saiz satu piksel, medan pandangan, resolusi dan kepekaan spektra CCD [17].



Rajah 2.1 Cip CCD mengandungi beribu-ribu piksel yang peka kepada cahaya dan setiap satu bersaiz kurang dari 10 mikrometer.

### 2.1.1 Kecekapan kuantum

Kecekapan kuantum (*quantum efficiency*, QE) adalah keupayaan cip CCD bergerak balas terhadap panjang gelombang cahaya yang berlainan. Kamera CCD dengan pengesan sinar hadapan (*front illuminated*) lebih sensitif kepada gelombang hijau, merah dan infra-merah (julat panjang gelombang 500 - 800 nm) [18]. Manakala kamera CCD dengan pengesan sinar belakang (*back illuminated*) memiliki kecekapan kuantum yang lebih tinggi. Kecekapan kuantum menggambarkan keupayaan CCD menerima foton cahaya dan menjanakan cas elektrik. Kecekapan kuantum ini di ukur dalam unit peratus iaitu peratus foton yang berjaya dijanakan berbanding dengan jumlah foton yang diterima oleh cip CCD. Rajah 2.2 menunjukkan hubungan di antara nilai kecekapan kuantum dengan panjang gelombang cahaya dan perbandingan di antara pengesan pencahayaan depan (*front illumination*) dan belakang (*back illumination*). Penjanaan cas oleh cip CCD berdasarkan kepada prinsip fotoelektrik iaitu pembebasan elektron bebas oleh foton cahaya. Tenaga yang diperlukan oleh satu foton cahaya untuk membebaskan



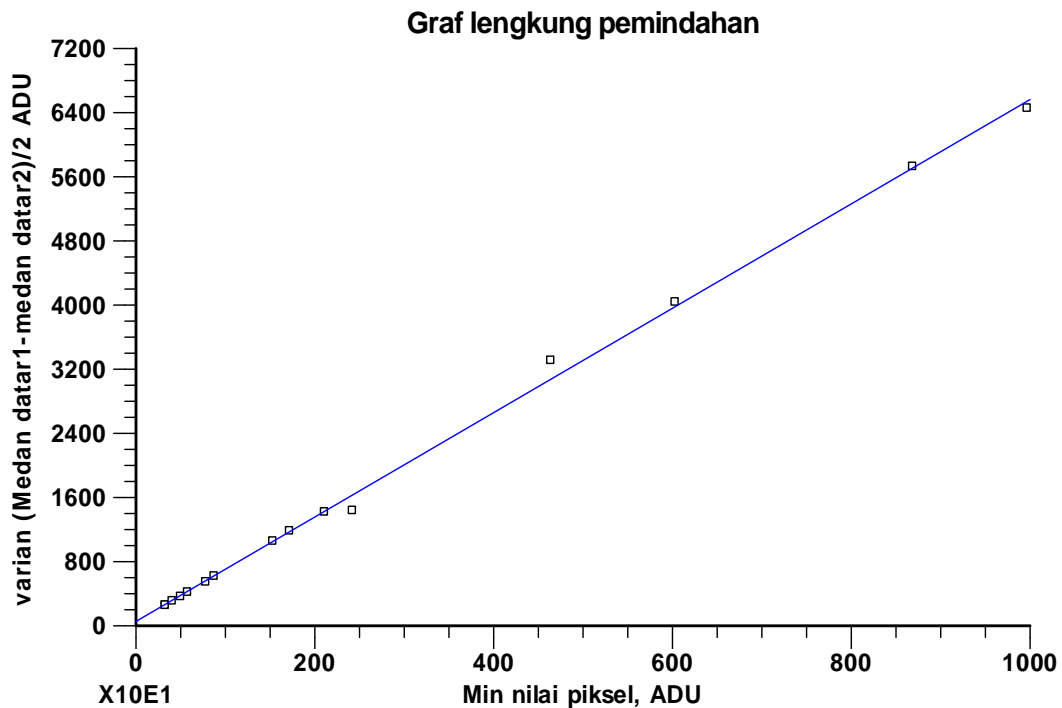
Rajah 2.2 : Perbandingan kecekapan kuantum(QE) antara *front-back illumination*.( Sumber: <http://www.ccd.com/ccd101.html>)

satu elektron di dalam substrat silikon ialah 1.13eV (bagi panjang gelombang infra-merah, 11000 Angstrom).

### 2.1.2 Kelinearan CCD

Kelinearan CCD adalah satu ukuran bagaimana konsistennya CCD bergerakbalas terhadap cahaya. Sebagai contoh jika didedahkan selama 1 saat kepada cahaya yang mantap menghasilkan 1000 elektron, maka 10 saat seharusnya akan menghasilkan 10,000 elektron.

Nilai piksel adalah berkadar terus dengan cahaya yang jatuh ke atas CCD seperti yang ditunjukkan pada rajah 2.3. Bagi kamera bercirikan linear imej mentah CCD boleh di bersihkan hingar dengan menolak bingkai gelap dan medan datar bagi menghasilkan kualiti imej yang baik.



Rajah 2.3 : Graf Menunjukkan kelinearan CCD

### 2.1.3 Hingar bacaan (*readout noise*)

Hingar bacaan merupakan hingar yang paling asas wujud di dalam kamera CCD. Hingar ini berpunca dari sistem elektronik kamera dan merupakan perubahan secara rawak output kamera CCD ketika tiada foton yang jatuh ke atasnya. Ia boleh dinyatakan sebagai punca kuasa dua perubahan bilangan elektron yang dikesan oleh kamera CCD [19].

#### **2.1.4 Gandaan sistem (*System Gain*)**

Setiap piksel CCD apabila terkena foton akan menjana elektron. Elektron-elektron tersebut akan terkumpul dan dihitung seterusnya ditukar kepada nilai digital melalui proses penukaran analog ke digital. Unit pertukaran analog ke digital dinamakan ADU. Gandaan sistem atau faktor pertukaran adalah ukuran menentukan jumlah elektron atau cas bagi setiap pertukaran (ADU). Bagi gandaan sistem 2.5 elektron/ ADU menggambarkan sebanyak 2.5 elektron atau cas ditukar bagi setiap satu ADU. Secara umum, lebih rendah nilai gandaan, lebih baik sistem CCD tersebut.

#### **2.1.5 Keseragaman**

Setiap fotosit atau piksel di dalam cip CCD mempunyai kepekaan berbeza-beza terhadap cahaya. Perbezaan di antara piksel-piksel bersebelahan kurang dari 1 % dan dalam keseluruhan CCD boleh mencapai sehingga 10 % [20].

#### **2.1.6 Arus gelap**

Arus gelap terbentuk akibat penjanaaan cas elektrik secara terma dan penjanaannya berkadar secara linear dengan masa. Penjanaaan cas elektrik tersebut boleh dikurangkan dengan menyejukkan kamera.

### 2.1.7 Paras tepu

Setiap piksel CCD mempunyai nilai muatan elektron yang mampu ditampungnya. Nilai maksimum bilangan elektron yang boleh dikandungi dalam satu piksel dinamakan muatan penuh perigi (*full well capacity*). Muatan ini bergantung kepada saiz piksel dan jenis pengesan CCD. Setiap kamera CCD ada dinyatakan nilai muatan perigi penuh oleh pengeluar bagi kamera SBIG ST-10XME mempunyai sebanyak 77,000 elektron. Apabila elektron yang terhasil oleh CCD mencapai atau melebihi muatan perigi penuh, keadaan ini dinamakan tepu. Paras tepu CCD bergantung kepada muatan perigi penuh dan nilai gandaan.

$$\text{Paras tepu CCD} = \frac{\text{muatan perigi penuh}(\text{elektron})}{\text{gandaan}} \quad (2.1)$$

Apabila CCD melebihi paras tepu akan menyebabkan elektron-elektron yang berlebihan akan melimpah ke piksel yang bersebelahan dan keadaan ini dinamakan *blooming*. Contohnya jika *blooming* berlaku, imej bintang tidak kelihatan bulat tetapi kelihatan mempunyai unjuran memanjang keluar. Bagi mengelakkan CCD menjadi tepu kamera hendaklah didedahkan di bawah paras tepu dengan mengukur nilai piksel setiap kali dedahan dilakukan.

### 2.1.8 Piksel dan saiz susun atur

Bahagian kamera CCD yang sensitif dan berkesan adalah permukaan yang mengandungi piksel-piksel. Bilangan piksel dalam susunan CCD adalah jumlah bilangan piksel dalam

setiap lajur didarab dengan bilangan lajur. Luas bahagian permukaan yang sensitif dapat ditentukan dengan mengetahui jumlah bilangan piksel darab dengan saiz piksel.

Satu kamera CCD dengan saiz piksel 23 x 23  $\mu\text{m}$  dalam susunan 348 x 288 piksel mempunyai luas permukaan yang sensitif bersaiz 8.8 x 6.6 mm.

Lebih banyak bilangan piksel lebih lama bacaan dibuat dan lebih besar ingatan komputer diperlukan.

Saiz piksel dalam susun atur CCD menentukan saiz sudut terkecil yang boleh dilihat dalam imej yang dirakam oleh kamera CCD. Bagi resolusi maksimum secara unggulnya saiz piksel secukup kecilnya dengan sudut terkecil (*smallest angle*) dalam imej meliputi 2 atau lebih piksel bagi setiap sisi.

### 2.1.9 Medan pandangan (*field of view*, FOV)

Medan pandangan ialah saiz luas kawasan langit yang dapat dirakamkan oleh kamera atau dicerap dalam satu-satu masa dan diukur dalam unit darjah, arka minit atau arka saat [22]. Medan pandangan merupakan satu faktor utama dalam pengimejan CCD dan nilainya bergantung kepada panjang fokus sistem optik dan saiz dimensi cip CCD seperti yang ditunjukkan dalam rajah 2.4.

Medan pandangan satu piksel,  $FOV_{\text{piksel}}$  boleh dihitung [21]

$$FOV_{\text{piksel}} = 57.3 \times (d_{\text{piksel}} / F) \text{ (darjah)} \quad (2.2)$$

$$FOV_{\text{piksel}} = 3438 \times (d_{\text{piksel}} / F) \text{ (minit arka)} \quad (2.3)$$

$$FOV_{\text{piksel}} = 206265 \times (d_{\text{piksel}} / F) \text{ (saat arka)} \quad (2.4)$$

di mana  $d_{\text{piksel}}$  - saiz piksel (mm)

F - panjang fokus teleskop (mm)



Medan pandangan keseluruhan CCD boleh dihitung [23] dengan mengetahui dimensi sisi CCD,  $d_{\text{ccd}}$  dan panjang fokus teleskop,  $F$

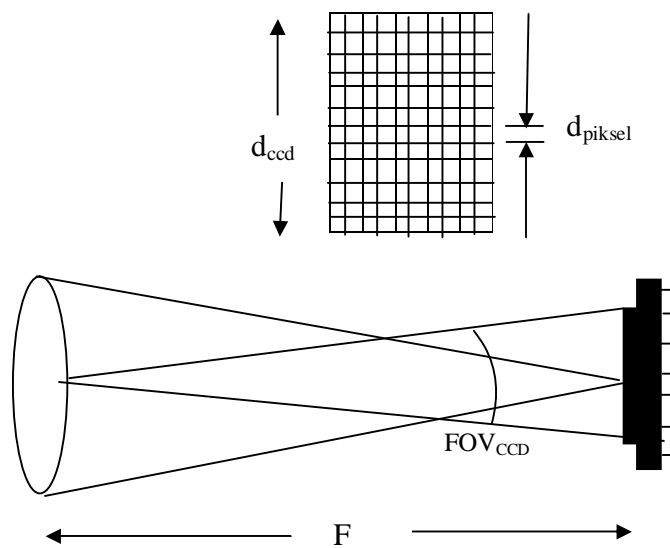
$$\text{FOV}_{\text{ccd}} = 57.3 \times (d_{\text{ccd}} / F) \text{ (darjah)} \quad (2.5)$$

$$\text{FOV}_{\text{ccd}} = 3438 \times (d_{\text{ccd}} / F) \text{ (araka minit)} \quad (2.6)$$

$$\text{FOV}_{\text{ccd}} = 206265 \times (d_{\text{ccd}} / F) \text{ ( arka saat)} \quad (2.7)$$

di mana  $d_{\text{ccd}}$  - saiz CCD (mm)

$F$  - panjang fokus teleskop (mm)



Rajah 2.4 : Medan Pandangan (FOV) CCD adalah dimensi CCD bahagi panjang fokus teleskop,  $F$ . Medan pandangan bertambah dengan pertambahan saiz dimensi CCD dan berkurang dengan pertambahan panjang fokus.

Bagi teleskop Schmitt-Cassegrain 8" f/10 dan kamera CCD dengan sisi empatsegi sama cip 2.5 mm, panjang fokusnya adalah 2000 mm maka medan pandangannya =  $3438 \times 2.5 / 2000 = 4.3$  minit arka.

Kebanyakan nebula dan galaksi mempunyai keratan rentas yang lebih besar dari 4.3 minit arka. Dengan menggunakan kanta pengurang panjang fokus (*focal reducing lens*) boleh menambahkan luas medan pandangan. Dengan kaedah ini nebula dan galaksi dengan keratan rentas yang besar dapat dirakamkan dalam satu medan pandangan.

Selain itu dengan menggunakan teleskop dengan panjang fokus yang kecil atau "fast" teleskop juga dapat menambah medan pandangan.

#### **2.1.10 Bilangan piksel**

Bilangan piksel adalah satu ciri yang penting bagi CCD kerana ia dapat menunjukkan kualiti dan maklumat sesuatu imej. Ia juga menunjukkan hubungan di antara luas kawasan langit yang dapat diliputi oleh CCD dan resolusinya. Sebagai contoh, katakan bagi teleskop dengan panjang fokus tertentu dan kamera CCD dengan setiap 1 piksel meliputi kawasan langit 2 arka saat maka bagi susun atur piksel CCD dengan 208 x 144 piksel dapat meliputi kawasan 6.9' x 4.8'. Bagi CCD dengan susun atur 512 x 512 piksel, kawasan yang dapat diliputi adalah 17.1' x 17.1' manakala bagi CCD dengan susunan 1024 x 1024 piksel, kawasan yang dapat diliputi adalah 34.1' x 34.1'. Ini menunjukkan semakin besar susun atur CCD semakin luas kawasan langit yang dapat diliputi.

Pada asasnya, prinsip kerja CCD adalah menerima dan menukarkan foton cahaya yang jatuh ke atas cip CCD kepada cas elektrik.

Imej yang terbentuk di atas cip CCD tersebut adalah terdiri daripada unit-unit paling kecil yang dipanggil piksel. Setiap piksel membentuk dan mengumpul sejumlah cas elektrik

yang berkadar dengan jumlah cahaya yang diterima. Imej yang dijana adalah menggambarkan bacaan cas-cas yang terkumpul oleh piksel-piksel.

Penjanaan imej oleh CCD melalui 4 proses iaitu

- i. penjanaan cas (*charge generation*)
- ii. pengumpulan cas (*charge collection*)
- iii. pemindahan cas (*charge transfer*)
- iv. pengesanan cas (*charge detection*)

### **2.1.11 Resolusi Imej**

Resolusi atau Persampelan merujuk kepada jumlah piksel dan saiz piksel yang diperlukan untuk menghasilkan imej dengan jelas [24]. Resolusi atau persampelan adalah ukuran keupayaan suatu imej dapat meleraikan atau menunjukkan dengan terperinci atau sudut pisahan (*angular separation*) di antara bintang berganda. Pencerap dapat membezakan di antara dua bintang berganda dengan jelas. Imej CCD terbina dari segiempat sama yang halus. Setiap piksel mempunyai nilai kecerahan yang mewakili warna kelabu. Disebabkan piksel adalah segiempat sama, hujung atau pinggir imej kelihatan bergerigi. Imej yang kelihatan pinggirnya seperti bersegi-segi atau segiempat dikatakan terkurang sampel (*undersampling*) iaitu tidak cukup piksel untuk imej yang dicerap. Jika bilangan piksel lebih banyak maka pinggir imej kelihatan tidak tajam, imej individu bintang tidak kelihatan dengan jelas, imej ini dikatakan terlebih sampel (*over sampling*). Perbandingan di antara kedua-dua imej tersebut seperti yang ditunjukkan pada rajah 2.5.

Untuk mendapatkan resolusi imej bagi satu teleskop, panjang fokus teleskop mesti dapat menghasilkan cakera tengah Airy (bahagian yang cerah) merentasi sekurang-kurangnya dua piksel [25].

Resolusi imej teleskop adalah berdasarkan kepada teori persampelan Nyquist iaitu dua ukuran diskrit bagi setiap unit resolusi yang hendak dirakam. Berdasarkan teori Nyquist sampel tompok tengah yang cerah Airy suatu imej dapat memenuhi dua piksel. Diameter Cakera Airy dihitung dengan formula [26], [27].

$$\text{Diameter Cakera Airy} = \text{panjang gelombang} \times \text{nisbah fokus} \quad (2.8)$$

Di mana nisbah fokus yang berkesan yang memenuhi diameter cakera Airy ;

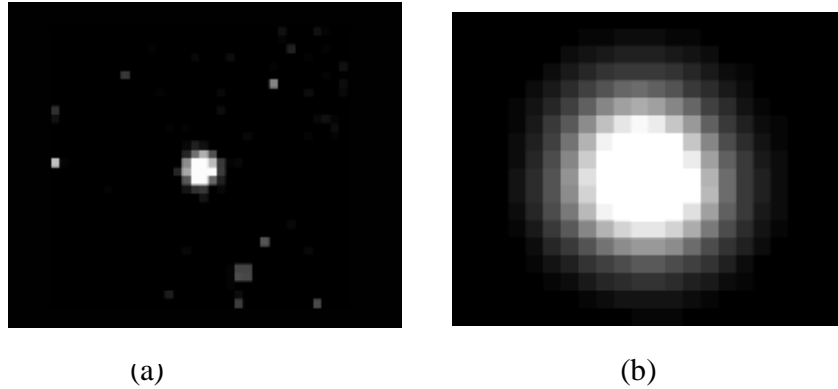
$$\text{Nisbah fokus} = 2 \times \text{saiz piksel} / \text{panjang gelombang}$$

Sebagai contoh, bagi kamera CCD dengan saiz piksel 14 mikron dan sensitif dengan panjang gelombang merah (0.7 mikron), maka

$$\begin{aligned} \text{nisbah fokus} &= 2 \times 14 / 0.7 = 40 \\ &= 40 \end{aligned}$$

Maka resolusi bagi setiap piksel diberi oleh ;

$$\text{Resolusi} = \frac{206265 \times \text{saiz piksel}}{\text{panjang fokus}} \quad (\text{saat arka}) \quad (2.9)$$



Rajah 2.5 Menunjukkan imej (a) terkurang sampel dan (b) terlebih sampel

## 2.2 Jenis-jenis imej CCD

Imej CCD berasal dari penjumlahan cas dalam cip kamera CCD yang terdedah kepada foton sebagai penjana cas luaran. Cas yang dijanakan apabila foton menghentam permukaan cip CCD akan dihantar ke komputer. Imej yang dipaparkan oleh komputer sebenarnya adalah dalam bentuk digit nombor yang mewakili keamatan cahaya yang jatuh ke atas piksel. Selain punca luar terdapat juga punca dalaman sebagai penjana cas iaitu tenaga termal dari cip CCD sebagai punca utama.

Dalam proses pengimejan CCD akan melibatkan enam jenis imej [28] iaitu;

### 2.2.1 Imej mentah

Imej mentah suatu objek yang dirakam oleh kamera CCD mengandungi isyarat-isyarat yang berpunca dari foton cahaya objek yang dicerap dan hingar dari pelbagai sumber.

Foton cahaya objek langit yang sampai ke permukaan fotosit CCD adalah isyarat sebenar yang hendak dikaji. Selain memiliki isyarat sebenar, imej mentah yang dihasilkan oleh kamera CCD turut mengandungi hingar dari dalaman kamera terutamanya hingar pincang, hingar terma dan ketakseragaman kepekaan fotosit-fotosit.

### **2.2.2. Imej Pincang (*Bias*)**

Imej Pincang berlaku ketika waktu dedahan adalah sifar dan tidak didedahkan kepada sebarang cahaya . Nilai setiap piksel seharusnya adalah tetap dari satu imej ke satu imej yang lain tetapi disebabkan terdapat sedikit hingar piksel-piksel akan memberikan perbezaan nilai yang kecil walaupun tiada foton cahaya yang jatuh ke atas fotosit. Imej pincang mengandungi sejumlah kecil hingar rawak yang terbentuk akibat dari bacaan secara rawak amplifiaer dan elektronik kamera [29]. Dalam kamera CCD yang canggih hingar ini mungkin sangat kecil tetapi tidak sifar. Hingar ini boleh disingkirkan dengan menggabungkan beberapa imej pincang. Imej pincang bagi setengah kamera CCD yang tertentu secara umumnya adalah malar bagi tempoh yang tertentu, bermakna imej pincang boleh digunakan untuk penentuan imej-imej untuk tempoh beberapa bulan berikutnya [30].

### **2.2.3. Imej Terma**

Imej terma terbentuk akibat terma dari cip kamera semasa dedahan. Jumlah cas yang dijanakan adalah berkadar dengan suhu cip dan waktu dedahan.

#### **2.2.4. Imej medan datar**

Imej medan datar adalah imej yang dihasilkan apabila Kamera CCD didedahkan kepada sumber cahaya yang seragam. Ia memetakan kepekaan fotosit-fotosit iaitu berapa jumlah foton yang jatuh ke atas cip CCD. Ia dikatakan sebagai peta kepekaan CCD.

#### **2.2.5. Imej tertentukuran**

Imej tertentukuran adalah imej yang hanya menggambarkan cahaya yang jatuh ke atas cip CCD dan bebas dari hingar terma dan pincang.

$$\text{Imej tertentukur} = (\text{imej mentah} - \text{imej pincang} - \text{imej terma}) / \text{imej medan datar} \quad (2.10)$$

Bagi sesetengah kamera CCD tiada kemudahan mengukur imej pincang tetapi boleh mengukur imej gelap, di mana imej gelap adalah jumlah imej terma dan imej pincang, maka;

$$\text{Imej tertentukur} = (\text{imej mentah} - \text{imej gelap}) / \text{imej medan datar} \quad (2.11)$$

### **2.3 Punca-punca hingar**

Hingar dalam suatu imej adalah ketaktentuan dalam paras kecerahan imej. Menurut Newberry (1994), isyarat CCD adalah merujuk kepada jumlah foton yang diterima oleh piksel. Sedangkan hingar adalah suatu perubahan jumlah foton yang tidak dapat

dijangkakan. Hingar adalah lebih kepada konsep matematik. Untuk mengukur hingar perlu kepada pengukuran yang berulang kali dan menganalisanya secara statistik [31].

Kamera CCD mampu merekodkan imej objek langit jauh yang malap dalam tempoh dedahan yang singkat. Tetapi dalam tempoh dedahan tersebut imej kelihatan lebih malap dari yang sepatutnya direkodkan. Ini disebabkan kehadiran hingar ke atas objek tersebut. Kehadiran hingar ke atas imej menyebabkan nilai paras kecerahan imej berubah secara rawak. Sebagai contoh, satu objek langit dirakamkan sebanyak 10 kali dedahan dengan kamera CCD akan menghasilkan 10 imej yang serupa. Tetapi jika diteliti, kecerahan satu piksel dari setiap imej tersebut akan memberi bacaan paras kecerahan imej yang berubah-ubah secara rawak seperti 993, 989, 1002, 1005, 991, 979, 1007, 1012, 999, 1023. Nilai purata bacaan tersebut ialah 1000. Nilai paras kecerahan imej tersebut berada dalam julat nilai yang tertentu. Perubahan secara rawak paras kecerahan dalam julat tertentu ini dinamakan hingar.

Hingar adalah parameter yang sentiasa wujud dalam pengimejan CCD. Kewujudan hingar akan mengganggu kualiti imej.

Punca-punca hingar dalam imej CCD berpunca dari sumber-sumber [32] berikut

- Hingar foton
- Hingar terma
- Hingar bacaan
- Hingar pengkuantuman



### 2.3.1 Hingar foton

Hingar ini berpunca dari partikel cahaya yang dipanggil foton yang datang dan menghentam pengesan CCD. Sinar cahaya yang sampai ke pengesan CCD tidak seragam. Jumlah foton yang tiba ke atas pengesan CCD berubah-ubah semasa dedahan dilakukan.

Untuk jumlah foton yang besar perubahan jumlah foton yang diterima boleh diramalkan dan nilai purata perubahan ini adalah hingar bersamaan dengan punca kuasa dua isyarat yang diterima. Katakan jumlah isyarat yang diterima ialah  $S$ , maka hingar,  $N = \sqrt{S}$ .

Hingar jenis ini adalah asas dalam pengimejan CCD.

Hingar jenis ini boleh dikurangkan dengan melakukan dedahan yang lebih panjang. Ini kerana isyarat bertambah lebih cepat dari hingar. Sebagai contoh, jika dedahan 1 saat katakan purata foton yang diterima ialah 1000 maka hingarnya adalah  $\sqrt{1000} = 31$ .

Jika dedahan 10 saat katakan purata foton yang diterima ialah 10000 maka hingarnya adalah  $\sqrt{10000} = 100$ , walaupun bilangan hingar 100 tetapi hanya 1% berbanding hingar sebelumnya 3%. Ini menunjukkan dedahan yang lebih panjang dapat mengurangkan hingar.

### 2.3.2 Hingar Terma

Hingar ini berpunca dari fotosit dalam cip CCD yang menjanakan isyaratnya sendiri sama ada foton terkena atau tidak ke atasnya. Sekiranya suhu CCD meningkat hingar akan bertambah dan jika sejuk hingar terma akan berkurang. Untuk CCD amatur pada suhu -30 darjah celsius memadai untuk melakukan pengimejan walau bagaimanapun tidak dapat menyingkirkan hingar terma sepenuhnya.

Hingar ini dapat disingkirkan dari imej dengan menutup bukaan kamera CCD dengan masa dedahan yang sama seperti masa dedahan untuk cahaya dari objek yang dirakam.

Imej ini dinamakan imej gelap.

### **2.3.3 Hingar Bacaan**

Hingar ini berpunca dari akibat perubahan rawak dalam amplifier dan komponen elektronik dalam kamera CCD itu sendiri. Amplifier kamera CCD akan memberi bacaan dari setiap fotosit di cip sebagai isyarat yang diterima oleh CCD. Amplifier sebenarnya tidak dapat memberi nilai bacaan dengan tepat. Pembuat kamera CCD akan memberi spesifikasi perubahan bilangan elektron yang boleh dibaca oleh kamera sebagai contoh 70 punca min kuasa dua (*root mean squared*, r.m.s). Nilai ini bermaksud perubahan bacaan isyarat ialah 70 elektron. Jika isyarat maksimum yang boleh diterima oleh kamera ini ialah 200,000 elektron bermakna 70 elektron adalah selisih bacaan yang diberikan.

Hingar jenis ini boleh diatasi dengan mengambil bacaan bagi dua dedahan dengan menutup bukaan kamera, pertama, dedahan paling singkat yang dipanggil bingkai pincang (*bias frame*) bagi merekodkan hingar amplifier dan kedua, dedahan panjang yang dipanggil bingkai terma (*thermal frame*) yang merekodkan hingar terma. Terdapat kamera yang menggabungkan kedua-dua bingkai ini menjadi satu bingkai yang dipanggil bingkai gelap (*dark frame*).

### 2.3.4 Hingar pengkuantuman/ pendigitan

Hingar ini adalah akibat dari proses pendigitan data output kamera CCD. Semasa proses pendigitan output kamera CCD, isyarat akan diubah ke bentuk paras digital. Kamera 8-bit akan mengubah isyarat menjadi 256 paras kecerahan. Kamera 12-bit akan menukar isyarat menjadi 4,096 paras kecerahan dan kamera 16-bit menukar isyarat menjadi 65,536 paras kecerahan. Hingar pendigitan kamera 8-bit lebih besar dari kamera 12 bit.

### 2.4. Nisbah Isyarat / hingar

Isyarat yang diterima oleh kamera CCD mengandungi hingar dari foton cahaya objek yang dicerap dan gemerlapan langit (*sky glow*) di sekitar objek itu. Untuk satu teleskop dan kamera yang sempurna dan unggul boleh mengesan kesemua foton yang datang dan tiada hingar yang terjelma.

Bilangan foton yang diterima oleh kamera CCD yang baik bergantung kepada

- i. Fluks objek
- ii Saiz bukaan
- iii. Waktu dedahan

$$\text{Isyarat} \quad S = \text{Flux objek} \times \text{Masa} \times \text{Bukaan} \quad (2.12)$$

$$\text{Hingar} \quad N = \sqrt{(\text{Foton objek} + \text{kecerahan langit } (sky \ glow))} \quad (2.13)$$

Tetapi kamera dalam keadaan yang sebenar

$$\text{Isyarat} = \text{Flux objek} \times \text{QE} \times \text{Masa} \times \text{dedahan} \times \text{kecekapan teleskop.} \quad (2.14)$$

$$\text{Hingar} = \sqrt{(\text{Foton objek} + \text{Kecerahan langit (sky glow)} + (\text{Hingar Piksel}^2 \times \text{Bil Piksel}))} \quad (2.15)$$

QE : Kecekapan kuantum

Kualiti imej CCD boleh ditentukan kepada nisbah isyarat/ hingar, jika nilai nisbahnya tinggi menunjukkan kualiti imej yang baik dan jika rendah kualiti imej kurang baik.

Nisbah isyarat / hingar ini ditentukan berdasarkan persamaan [33];

$$\frac{S}{N} = \frac{N_i}{\sqrt{N_i + n_{pix}(N_s + N_D + N_R^2)}} \quad (2.16)$$

- di mana
- $N_i$  - Jumlah bilangan foton yang diterima dari objek
  - $n_{pix}$  - Jumlah bilangan piksel
  - $N_s$  - Jumlah bilangan foton dari langit per piksel
  - $N_D$  - Jumlah bilangan elektron gelap per piksel
  - $N_R$  - Jumlah bilangan elektron bacaan hingar per piksel

Persamaan ini dinamakan persamaan CCD [34].

Mengikut Newberry (1994), nisbah isyarat kepada hingar berdasarkan kepada statistik taburan Poissons seperti berikut

$$\frac{S}{N} = \frac{S}{\sqrt{S}} = \sqrt{S} \quad (2.17)$$

- dimana
- S - kuantiti isyarat
  - N - kuantiti hingar

Dari persamaan di atas memberi maksud nisbah S/N bergantung kepada bilangan foton yang dapat dikumpulkan dalam setiap piksel dan nilainya tidak akan mungkin melebihi

punca kuasa dua isyarat atau  $S$ . Ini tidak mengira apakah objek yang dicerap terang atau malap dan apakah menggunakan waktu dedahan yang lama atau singkat [35].

#### 2.4.1 Hingar dalam imej mentah

Imej yang dirakam oleh pengesan kamera CCD yang didedahkan untuk rakaman objek langit mengandungi hingar dari foton objek yang dikaji, langit latar belakang, arus gelap, bacaan dan elektronik. Hingar yang berpunca dari foton objek yang dikaji, langit latar belakang dan isyarat yang dijana oleh arus gelap bersifat rawak dan memenuhi taburan Poisson. Hingar yang berpunca dari bacaan dan elektronik tidak bersifat rawak dan tidak bergantung kepada waktu dedahan dan sentiasa wujud dalam sebarang imej CCD.

Setiap piksel yang merakamkan isyarat imej mentah mengandungi hingar. Jika  $S$  isyarat imej mentah dari objek langit, maka

$$S = S_O + S_D + S_B + S_S \quad (2.18)$$

dimana  $S_O$  adalah isyarat objek langit

$S_D$  adalah isyarat arus gelap

$S_B$  adalah isyarat pincang

$S_S$  adalah isyarat kecerahan langit

dan hingar yang terkandung dalam imej tersebut adalah

$$N^2 = N_R^2 + N_D^2 + N_O^2 + N_S^2 \quad (2.19)$$

di mana  $N_R$  adalah hingar bacaan

$N_D$  adalah hingar arus gelap

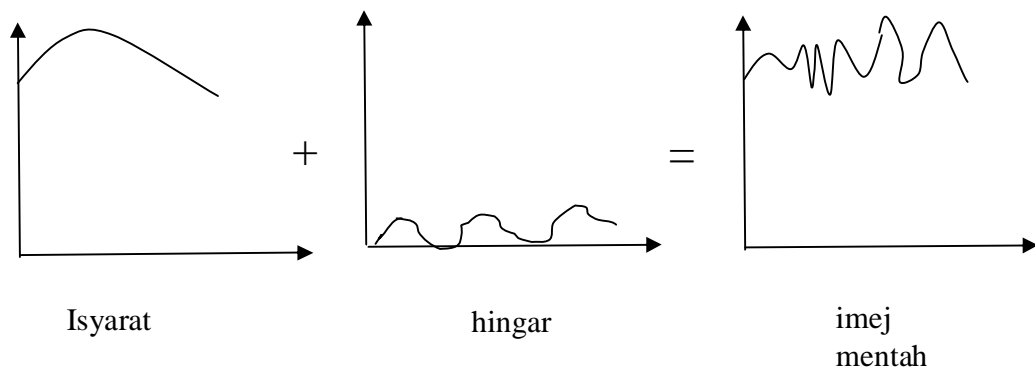
$N_O$  adalah hingar objek langit

$N_S$  adalah hingar kecerahan langit

maka nisbah S/N

$$\frac{S}{N} = \frac{S_O + S_D + S_R + S_S}{\sqrt{N_O^2 + N_D^2 + N_R^2 + N_S^2}} \quad (2.20)$$

Imej mentah yang dirakamkan oleh setiap piksel kamera CCD mengandungi isyarat dari objek langit dan juga mengandungi hingar seperti yang ditunjukkan pada rajah 2.6. Jika  $S$  isyarat imej mentah dari objek langit



Rajah 2.6: Menunjukkkan imej mentah yang dirakam atau diukur terdiri dari isyarat dan hingar. Nilai isyarat biasanya lebih tinggi dari hingar, melalui proses penentukuran hingar boleh ditolak imej mentah.

## 2.5 Aspek-aspek penghasilan imej CCD

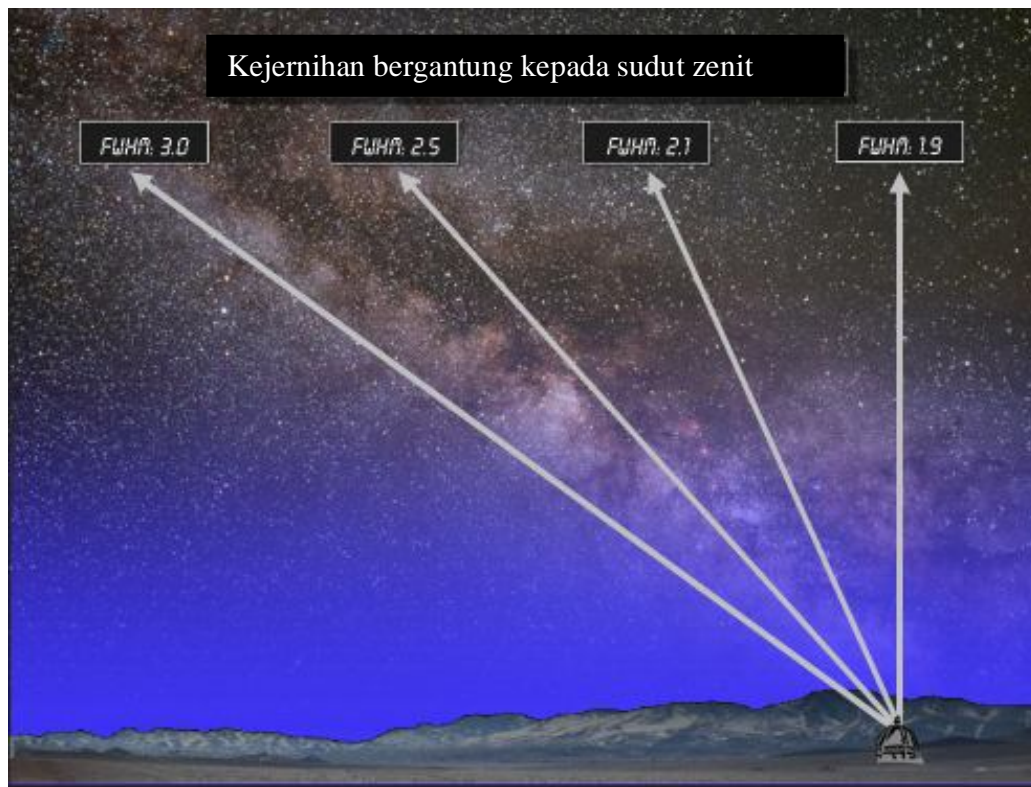
Penghasilan imej CCD yang baik bergantung kepada aspek-aspek [36].

- i. Kejernihan langit (*seeing*)
- ii. Kejituan fokus
- iii. Lekapan yang baik
- iv. Ketepatan penjajaran kutub
- v. Optik yang berkualiti dan
- vi. Nisbah fokus teleskop.

### 2.5.1 Kejernihan langit

Pencerapan dengan teleskop di Bumi akan dipengaruhi oleh keadaan gelora atmosfera. Dalam keadaan gelora atmosfera bintang kelihatan berkerlipan dan kabur. Imej akan mengalami herotan dan kabur akibat gelora atmosfera. Keadaan kegeloraan dan kestabilan atmosfera dinamakan kejernihan langit (*seeing*). Kesan ini akan bertambah buruk apabila sudut zenit bertambah besar. Sudut zenit ialah jarak sudut dari titik zenit (0 darjah), di ufuk sudut zenit bersamaan 90 darjah. Ini disebabkan indeks pembiasan berubah dengan pertambahan sudut zenit. Nilai kejernihan langit semakin berkurangan apabila nilai sudut zenith bertambah. Rajah 2.7 menunjukkan nilai kejernihan langit dinyatakan dengan nilai lebar penuh pada separuh maksimum (*Full width at half maximum*, FWHM, lihat penjelasan di 2.5.3.2.b ). FWHM merujuk kepada paras kecerahan objek langit, semakin besar sudut zenith, nilai FWHM bertambah. Nilai FWHM yang kecil menunjukkan kejernihan langit adalah baik.

Keadaan langit yang mantap atau atmosfera yang stabil akan memberikan hasil pengimejan yang lebih baik. Nilai kejernihan menunjukkan kualiti keadaan gelora atmosfera bumi semasa cerapan dilakukan dan biasanya diukur dalam unit saat arka. Faktor kejernihan berubah bergantung kepada lokasi, keadaan cuaca dan waktu cerapan. Faktor kejernihan juga menjadi pengukur pemilihan lokasi sesebuah balai cerap. Contohnya balai cerap di Mauna Kea Hawaii mempunyai purata kejernihan adalah 0.5 saat arka dan balai cerap Mount Wilson ialah 1 saat arka.

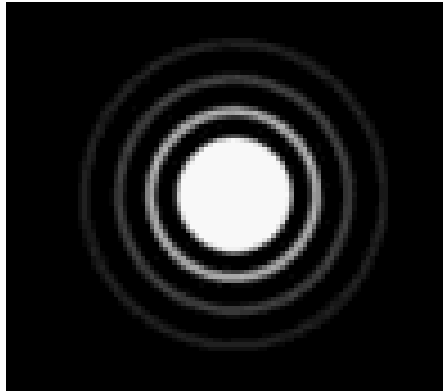


Rajah 2.7 : Menunjukkan hubungan kejernihan dengan sudut zenit (Sumber : Bennion, 2006)

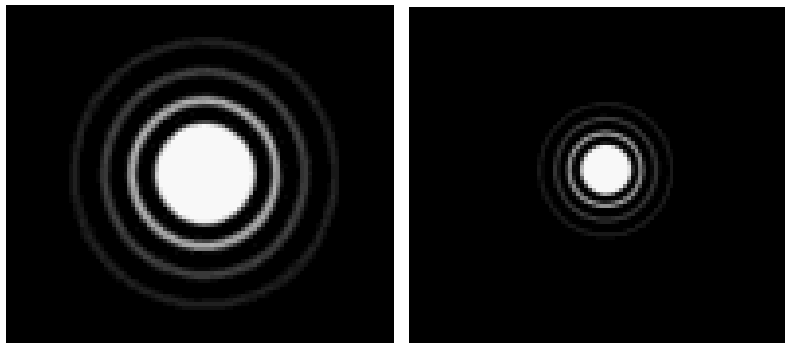


Walaupun keadaan kerjenihan atmosfera yang baik, imej bintang yang sebenarnya terbentuk di atas cip CCD bukanlah satu titik cahaya sebaliknya merupakan satu cakera kecil cahaya. Keadaan kesan cakera cahaya ini disebabkan oleh kesan belauan cahaya. Kesan ini akan menghasilkan pinggir terang dan gelap di sekeliling tompok cerah atau cakera belauan (*diffraction disks*) di tengah. Pinggir-pinggir terang dan gelap di sekeliling tompok yang cerah dinamakan gelang belauan (*diffraction rings*). Corak yang dihasilkan dari kesan belauan ini dinamakan cakera Airy (*Airy disks*) sempena nama ahli astronomi British George Airy (1835 -1892). Corak cakera Airy seperti yang ditunjukkan pada rajah 2.8. Saiz cakera Airy bergantung kepada saiz bukaan teleskop, semakin besar bukaan teleskop semakin kecil corak cakera Airy seperti yang ditunjukkan pada rajah 2.9.

Nilai saiz cakera Airy dapat ditentukan dengan hitungan iaitu panjang gelombang cahaya x nisbah fokus teleskop [37].



Rajah 2.8 : Cakera Airy menunjukkan cakera belauan yang cerah di tengah di kelilingi oleh gelang-gelang terang dan gelap. Gelang cerah pertama lebih cerah dari gelang cerah kedua dan seterusnya. Diameter cakera Airy adalah tompok cerah di tengah.

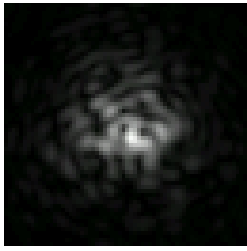


Rajah 2.9 : Cakera Airy yang sempurna menunjukkan pusat yang cerah dengan di kelilingi gelang-gelang terang dan gelap yang tajam. Saiz cakera Airy bergantung kepada saiz bukaan teleskop. Semakin besar saiz bukaan teleskop, semakin kecil saiz cakera Airy (rajah kanan).

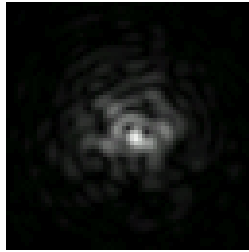
Nilai kejernihan dianggarkan dengan kaedah yang dicadangkan oleh William H. Pickering (1858-1938) di Harvard College Observatory. Skala kejernihan yang digunakannya bergantung kepada corak cakera Airy iaitu corak cakera belauan (*diffraction disks*) dan gelang-gelang (*rings*) belauan imej bintang.

- Skala 1 : Imej bintang sentiasa dua kali ganda diameter gelang belauan jika gelangya boleh dilihat. Diameter imej bintang ialah 13".
- Skala 2 : Imej bintang kadang-kadang dua kali ganda diameter gelang ketiga (13")
- Skala 3: Imej bintang sama dengan diameter gelang ketiga (6.7") dan pusat imej yang cerah.
- Skala 4 : Pusat cakera belauan Airy sentiasa kelihatan, lengkuk gelang belauan kadang-kadang kelihatan cerah.
- Skala 5 : Cakera Airy selalu kelihatan, lengkuk gelang belauan kadang-kadang kelihatan.
- Skala 6 : Cakera Airy selalu kelihatan, lengkuk gelang belauan selalu kelihatan.
- Skala 7 : Cakera Airy kadang-kadang kelihatan tajam, gelang belauan kelihatan seperti lengkuk panjang atau satu bulatan.
- Skala 8: Cakera Airy selalu kelihatan tajam, gelang kelihatan satu bulatan tetapi selalu bergerak-gerak.
- Skala 9 : Gelang belauan dalaman pegun manakala gelang luaran bergerak-gerak.
- Skala 10: Gelang belauan dalaman dan luaran sempurna dan pegun.

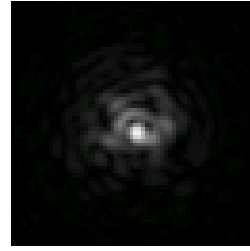
Skala Peking seperti yang ditunjukkan dalam rajah 2.10, dalam rajah tersebut menunjukkan cakera Airy bagi imej bintang dengan kejernihan langit dari yang sangat baik hingga yang sangat buruk.



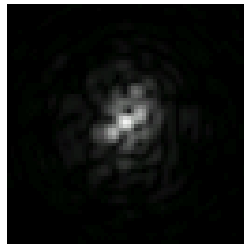
Skala 1



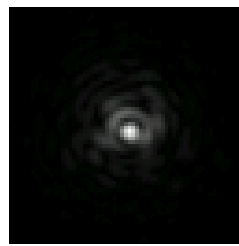
Skala 2



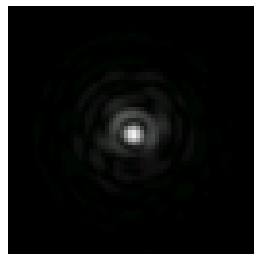
Skala 3



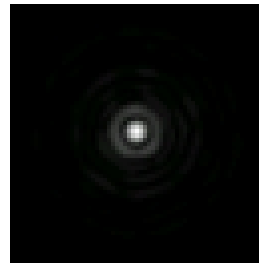
Skala 4



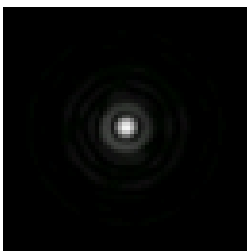
Skala 5



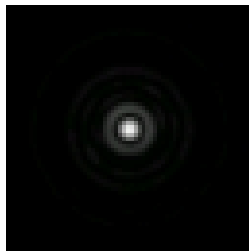
Skala 6



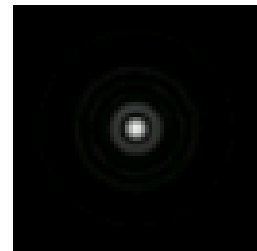
Skala 7



Skala 8



Skala 9

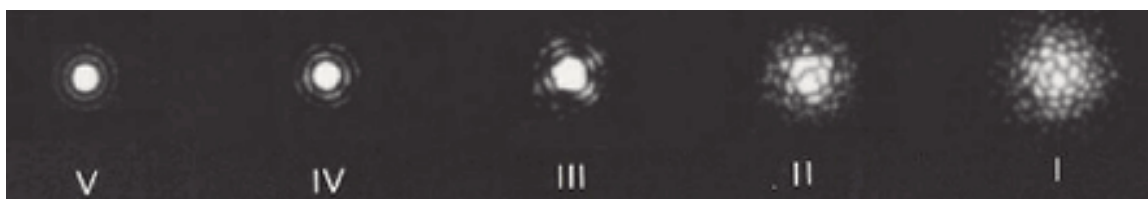


Skala 10

Rajah 2.10 : Menunjukkan imej bintang dengan nilai kejernihan menurut Skala Peking; Skala 1-3 : Sangat buruk, Skala 4-5 : Lemah , Skala 6-7 : Baik dan Skala 8-10 Sangat Baik.

Skala Pekering hanya memberikan anggaran nilai kejernihan langit secara kualitatif sahaja iaitu dari kejernihan yang paling baik hingga yang paling buruk

Nilai kejernihan juga boleh dianggarkan secara kuantitatif dengan menggunakan kaedah cerapan bintang di zenith dengan magnitudnya di antara 2-3. Nilai kejernihan langit diukur dalam unit arka saat. Nilai ini boleh diukur dengan menggunakan teleskop dan kanta mata dengan pembesaran di antara 30-40 kali per inci diameter. Sebagai contoh, jika teleskop dengan 10 inci diameter, maka kuasa kanta pembesar yang perlu digunakan ialah di antara 300-400 kali pembesaran. Corak cakera Airy imej bintang melalui kanta pembesar teleskop yang diperhatikan boleh memberikan anggaran nilai kejernihan langit. Bennion (2006) telah membuat hubungan di antara skala kejernihan dengan nilai kejernihan dalam unit saat arka. Rajah 2.11 dan jadual 2.1 menunjukkan hubungan skala kejernihan dan nilai kejernihan, terdapat lima skala dengan nilai kejernihan langit masing-masing. Skala I dengan nilai kejernihan melebihi 4 saat arka, menunjukkan kejernihan langit bergelora manalaka skala V dengan kejernihan kurang dari 0.4 saat arka, menunjukkan kejernihan langit adalah baik.



Rajah 10 : Corak cakera Airy dan skala-skala kejernihan

Skala	Imej bintang	Nilai kejenihan (saat arka)
I	Imej bintang sentiasa berolak dan tiada corak gelang belauan	> 4"
II	Pusat cakera berolak dan gelang belauan tak kelihatan	3.0 - 4.0"
III	Pusat cakera tidak bulat sempurna dan gelang belauan terputus	1.0 - 2.0"
IV	Corak pinggir jelas tapi bergerak-gerak	0.4 - 0.9 "
V	Corak pinggir sempurna, mantap dan pegun	<0.4"

Jadual 2.1

Nilai kerjenihan langit boleh diukur dengan mengetahui nilai FWHM dan nilai resolusi piksel,  $P$ , kamera CCD dengan teleskop melalui rumus Newberry dalam Ridwan(2000)

$$\text{Kejernihan (Seeing), } S = \text{purata FWHM} \times P \quad (2.21)$$

di mana FWHM ialah nilai *Full-width at half maximum*

$$\text{Resolusi } p = \frac{206265}{1000} \frac{\mu}{f} \text{ (saat arka)} \quad (2.22)$$

dimana  $\mu$  ( $\mu\text{m}$ ) adalah saiz piksel dan  $f$  adalah panjang fokus teleskop (mm)

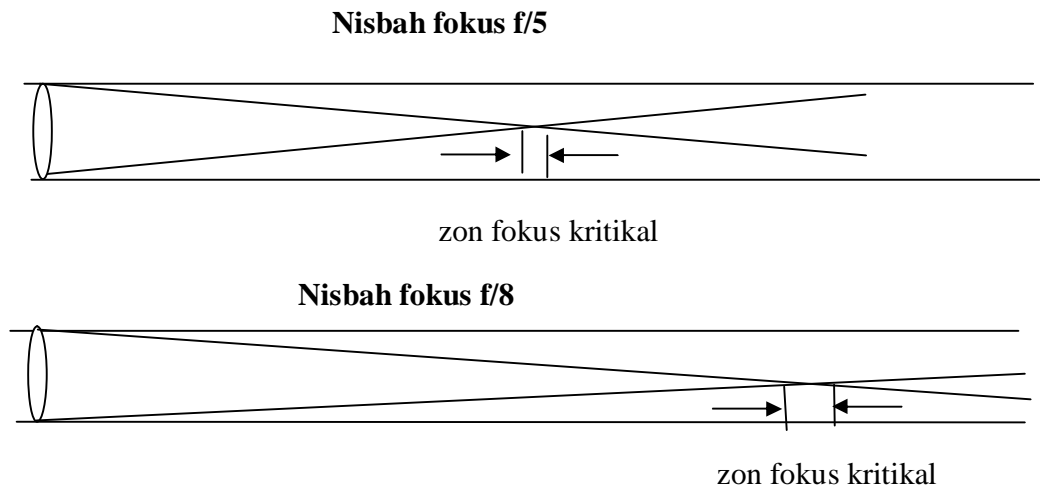
### 2.5.2 Kejituan fokus

Fokus adalah antara kunci utama yang mempengaruhi penghasilan imej CCD. Fokus yang baik akan menghasilkan imej yang baik.

Bintang adalah sumber titik cahaya oleh itu fokus yang baik secara unggul akan menghasilkan imej bintang sebagai satu titik cahaya. Bintang-bintang akan kelihatan seperti titik-titik cahaya individu dan ruang di antara bintang kelihatan gelap dengan jelas. Bintang-bintang yang terang dan malap juga jelas. Sebaliknya fokus yang kurang baik, bintang yang cerah akan kelihatan lebih besar dan tidak tajam manakala bintang malap akan hilang atau tidak kelihatan.

Untuk mendapatkan fokus yang optimum adalah bergantung kepada ciri-ciri teleskop, jenis pemfokus dan nisbah fokus teleskop. Bagi teleskop jenis pembias yang menggunakan pemfokus "*rack and pinion*" agak sukar bagi mendapatkan fokus. Manakala teleskop pemantul mengalami masalah cermin utama yang bergerak. Pengimejan CCD memerlukan pemfokusan yang halus.

Fokus yang optimum adalah merupakan satu julat fokus bukannya satu titik fokus (Wondaski, 2002). Ia merupakan satu zon fokus dan saiz zon ini bergantung kepada nisbah fokus teleskop. Semakin pantas nisbah fokus, semakin pendek zon fokus. Teleskop dengan nisbah fokus yang pantas lebih sukar mencapai fokus berbanding nisbah fokus perlahan. Nisbah fokus  $f/5$  atau lebih kecil adalah ditakrifkan sebagai teleskop pantas manakala nisbah fokus  $f/8$  atau lebih besar adalah dinamakan teleskop perlahan seperti yang ditunjukkan di rajah 2.12.



Rajah 2.12 : Nisbah fokus menentukan julat zon fokus kritikal

Bagi sistem optikal yang telah dikolimasikan dengan sempurna zon fokus kritikal (ZFK) boleh ditentukan dengan rumus [39]

$$\text{Zon fokus Kritikal, ZFK} = (\text{Nisbah fokus})^2 \times 2.2 \mu\text{m} \quad (2.23)$$

Sebagai contoh bagi perbandingan ZFK di antara teleskop dengan nisbah fokus f/11 dan f/5.5

$$f/11 \quad : \quad \text{ZFK} = 11^2 \times 2.2 = 226 \mu\text{m}$$

$$f/5.5 \quad : \quad \text{ZFK} = 5.5^2 \times 2.2 = 66.5 \mu\text{m}$$

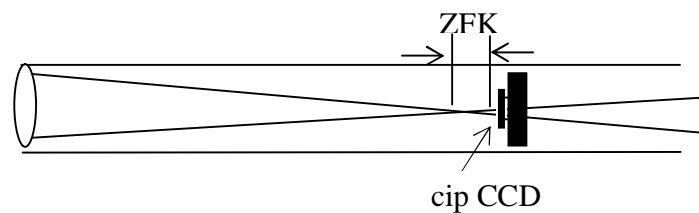
Ini menunjukkan zon fokus kritikal (ZFK) bagi teleskop dengan nisbah f/5.5 adalah seperempat dari f/11. Ini bermakna jika nisbah fokus dikurangkan separuh zon fokus kritikal akan berkurang seperempat.

Apabila permukaan cip CCD terletak di dalam satah zon fokus kritikal teleskop, keadaan ini dinamakan imej dalam fokus, maka imej yang tajam akan terbentuk di



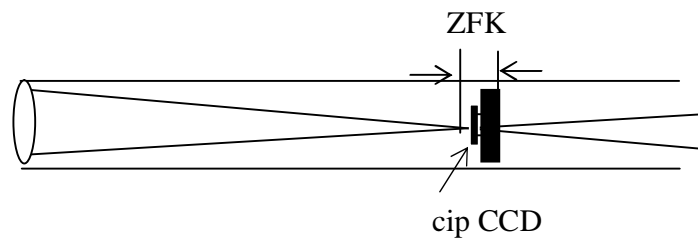
zon fokus. Sebaliknya jika permukaan cip CCD terletak di luar satah zon fokus kritikal, keadaan ini dinamakan imej luar fokus, maka imej yang kabur yang akan terbentuk di zon fokus [40]. Kedua-dua keadaan ini seperti yang ditunjukkan pada rajah 2.13 dan 2.14.

### Luar fokus



Rajah 2.13 : Imej luar fokus apabila cip CCD berada di luar zon fokus kritikal.

### Dalam fokus



Rajah 2.14 : Imej dalam fokus apabila cip CCD berada dalam zon fokus kritikal.

Imej bintang yang sebenarnya terbentuk di atas cip CCD bukan satu titik cahaya sebaliknya merupakan satu cakera kecil cahaya. Keadaan kesan cakera cahaya ini disebabkan oleh kesan belauan cahaya. Kesan ini akan menghasilkan pinggir terang dan gelap disekeliling tompok cerah ditengah. Selain itu gelora atmosfera dan

*collomation* juga menyebabkan keadaan ini berlaku. Gelora atmosfera akan menyebabkan penyerakan cahaya. Keadaan ini akan berubah dari satu malam ke satu malam. Manakala *collomation* yang tidak sempurna juga akan menyebabkan fokus yang tidak sempurna.

Bagi mencapai fokus yang baik kita memerlukan sistem optik yang baik yang mempunyai pemfokus yang berkualiti. Sistem optik yang baik mesti mampu menampung berat kamera dan tidak mengalami kesan gegaran apabila teleskop bergerak semasa cerapan [41]

### **2.5.3 Kaedah-kaedah memfokus**

Terdapat beberapa kaedah untuk menentukan fokus [42].

- i. memfokus secara visual
- ii. memfokus dengan bantuan perisian
- iii. memfokus dengan bantuan perkakasan

#### **2.5.3.1 Memfokus secara visual**

Kaedah memfokus secara visual boleh dicapai dengan cepat tetapi kaedah ini kurang tepat. Kaedah menentukan fokus ini adalah suatu yang mencabar. Kaedah ini menggunakan satu bintang yang cerah. Ciri yang digunakan untuk menentukan fokus ialah saiz imej bintang dan pinggir cakera imej bintang.

Semakin pemfokus menghampiri fokus, saiz imej bintang semakin mengecil. Fokus dicapai apabila saiz imej bintang yang terkecil dan paling jelas dicapai. Walau

bagaimanapun saiz imej bintang tidak akan menjadi satu titik cahaya walaupun fokus yang tepat dicapai ini disebabkan kesan belauan cahaya. Bintang yang lebih cerah, kelihatan lebih besar saiz imejnya.

Saiz imej bintang turut dipengaruhi oleh pergerakan udara. Jika pergerakan udara stabil, saiz imej bintang lebih kecil dan jika udara bergelora saiz imej bintang kelihatan lebih besar.

Untuk mendapat fokus dengan lebih tepat kesan gelora atmosfera hendaklah diambilkira. Jika pemfokus telah digerakkan dalam julat yang besar tetapi saiz imej tidak bertambah baik fokusnya, menunjukkan ada kesan gelora atmosfera dan saiz imej bintang kelihatan lebih besar dari normal. Sebaliknya jika pemfokus digerakkan dalam julat yang kecil dan menunjukkan fokus bertambah baik maka ini menunjukkan udara adalah lebih stabil. Saiz imej bintang akan lebih kecil dan pengimejan menjadi lebih baik.

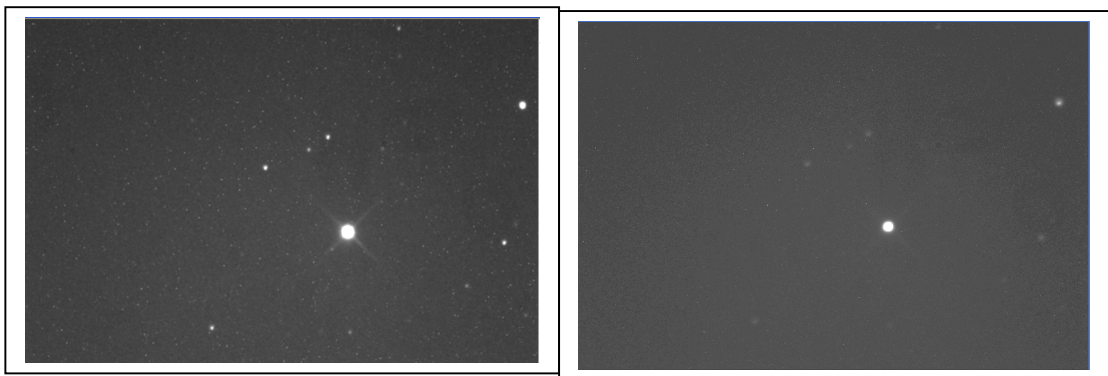
Jika imej bintang tidak terfokus, rantau di sekeliling atau pinggir imej bintang akan kabur, ia akan kelihatan seperti berawan. Pinggir bintang tidak kelihatan tajam dan imej bintang yang malap pula tidak akan kelihatan. Jika imej pinggir bintang dibesarkan tidak dapat perbezaan yang jelas. Bagi imej bintang yang terfokus, pinggir imej akan kelihatan tajam. Imej bintang yang malap juga akan kelihatan. Rajah 2.15 menunjukkan perbezaan di antara imej bintang yang terfokus dan tidak terfokus. Selain dari itu imej bintang yang terfokus akan kelihatan lebih kontras. Kontras adalah bergantung kepada optik teleskop, jika optik teleskop yang baik akan memberikan kontras yang baik.

### 2.5.3.2 Memfokus dengan bantuan perisian

Ciri imej yang kerap digunakan dalam kaedah memfokus dengan bantuan perisian ialah kecerahan piksel dan lebar penuh pada separuh maksimum (*Full width at half Maksimum*, FWHM).

#### 2.5.3.2.a Kecerahan piksel

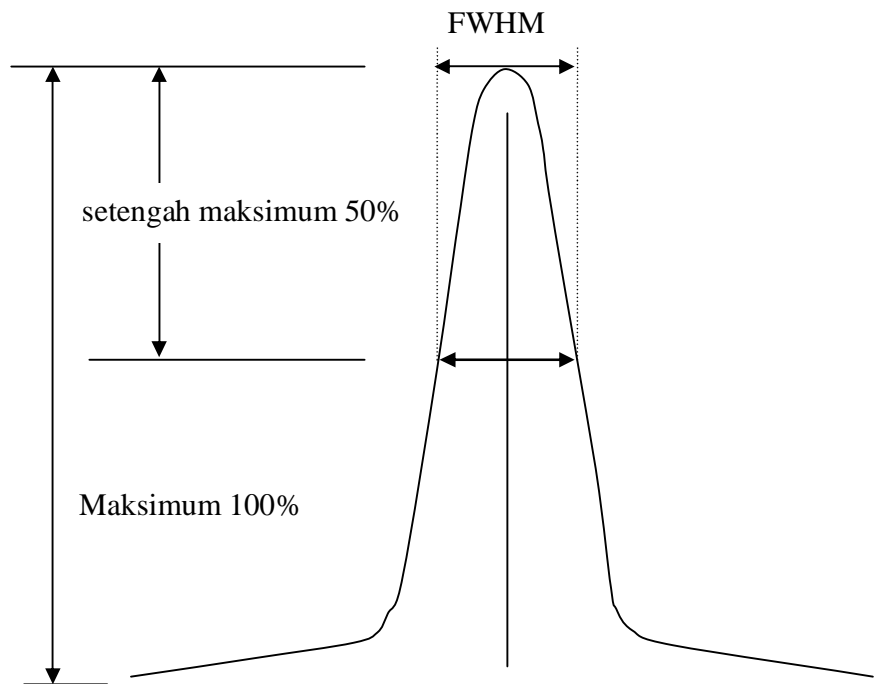
Semakin imej bintang menghampiri fokus, saiz imej bintang semakin kecil dan semakin cerah imej. Apabila imej semakin bertambah cerah nilai piksel juga akan bertambah sehingga mencapai nilai piksel yang paling tinggi boleh dicapai. Apabila dalam keadaan fokus lebih banyak foton menghentam permukaan CCD pada kawasan yang kecil, ini menyebabkan ia menjadi cerah. Apabila kecerahan piksel yang paling tinggi telah dicapai menunjukkan teleskop telah mencapai fokus yang terbaik. Imej bintang yang dipilih mestilah tidak menyebabkan nilai piksel menjadi tepu. Nilai piksel dikatakan tepu apabila mencapai paras tepu (lihat 2.1.7).



Rajah 2.15: (a) Imej bintang yang terfokus, lebih banyak bintang yang kelihatan.  
(b) imej bintang yang tak terfokus hanya dua bintang kelihatan dalam medan penglihatan yang sama dengan rajah kanan

### 2.5.3.2.b Lebar penuh pada separuh maksimum

Imej suatu bintang memiliki profil kecerahan. Paras kecerahan piksel-piksel bagi satu imej bintang boleh digambarkan oleh satu lengkung kecerahan. Puncak lengkung menunjukkan paras kecerahan yang tinggi. Nilai paras kecerahan kebanyakannya berada hampir di tengah lengkung yang panggil sentroid imej bintang. Bagi menentukan lebar imej bintang ialah dengan mengukur lebar lengkung di paras separuh dari nilai maksimum paras kecerahan. Lebar lengkung di paras separuh dari nilai maksimum ini dinamakan lebar penuh pada separuh maksimum (*Full Width at Half Maksimum, FWHM*) seperti yang ditunjukkan pada rajah 2.16 dan 2.17.



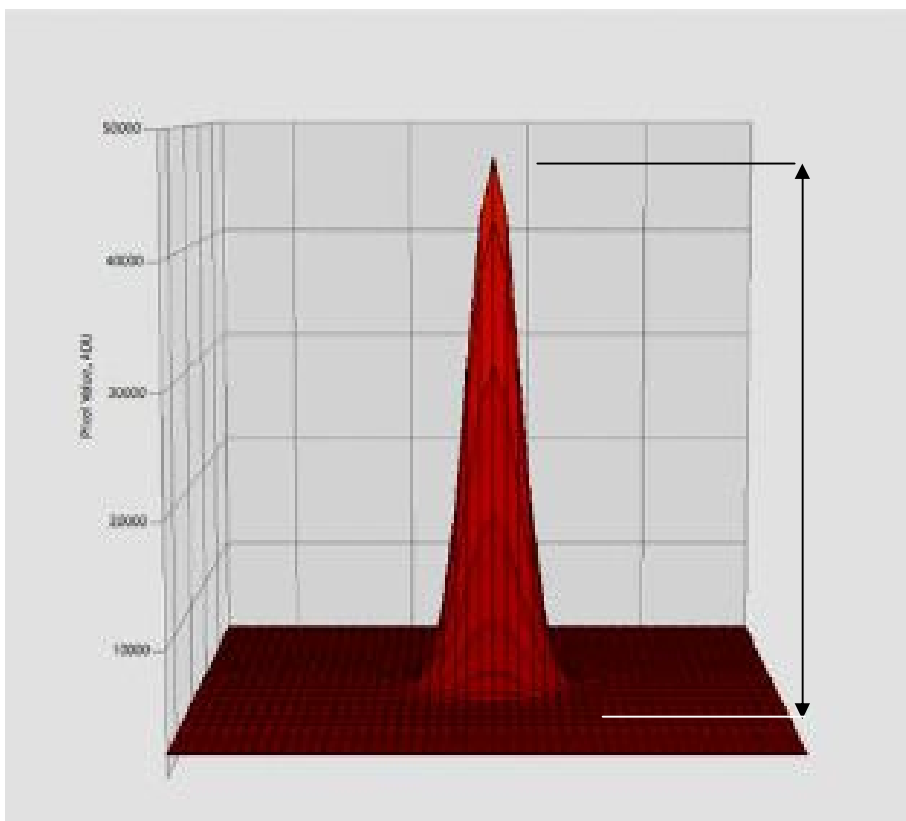
Rajah 2.16 : Nilai Lebar penuh pada separuh maksimum (*Full Width Half at Maximum, FWHM*)

FWHM merupakan graf yang menunjukkan aras kecerahan satu bintang yang dapat menggambarkan keadaan fokus. FWHM dengan nilai kecerahan piksel yang tinggi

dengan puncak yang tajam menunjukkan fokus yang baik manakala puncak yang membulat menunjukkan fokus yang kurang baik.

Nilai FWHM boleh dijadikan kaedah memfokus yang baik kerana ia memberi nilai yang sama bagi bintang yang cerah dan malap dalam satu imej yang sama. Untuk mendapat satu nilai FWHM yang tepat bagi suatu imej, aspek berikut perlu diambil kira [43];

- i. Imej yang diukur mestilah imej bintang
- ii. Bintang yang dicerap mestilah cukup cerah dan boleh dibezakan dengan latar belakang.
- iii. Kecerahan bintang tidak menyebabkan nilai piksel menjadi tepu.



Rajah 2.17 : FWHM dalam 3 dimensi.

## 2.6 Lekapan yang baik

Sistem teleskop terdiri dari sistem optik teleskop dan lekapan. Lekapan teleskop adalah struktur mekanikal yang menyokong sistem optik teleskop. Ia bertujuan menyokong berat teleskop, menjejak dan menghalakan (*pointing*) teleskop dengan tepat ke arah objek langit. Lekapan membolehkan teleskop digerakkan sama ada mengikut koordinat altazimuth (altitud dan azimuth) atau khatulistiwa (*equatorial*).

Lekapan yang baik adalah di antara kunci kejayaan pengimejan. Lekapan yang baik dapat menghala dan menjejaki bintang dengan tepat bagi membolehkan pengimejan dengan dedahan yang lama dapat dilakukan. Contohnya lekapan Khatulistiwa (*equatorial mount*) yang baik mempunyai paksi yang selari dengan paksi putaran Bumi dan mempunyai motor yang dapat menjejaki gerakan bintang. Motor menggerakkan lekapan dengan berputar mengelilingi paksi ini iaitu paksi awal Hamal atau kenaikan-kanan (*Right Ascension, RA*). Motor menggerakkan gear pada kadar kelajuan sidereal. Kelajuan pergerakan bintang merentasi langit dinamakan kadar gerakan sidereal iaitu hampir satu putaran sehari. Paksi RA sentiasa bergerak supaya dapat menjejaki pergerakan bintang. Kadar gerakan paksi RA boleh diubah untuk mengatasi punca ralat seperti 0.5x sidereal (memperlahankan gerakan lekapan ke timur relatif kepada gerakan bintang) atau 1.5 x sidereal (mempercepatkan gerakan lekapan ke barat relatif kepada gerakan bintang). Paksi kedua dalam lekapan khatulistiwa ialah paksi deklinasi (*Declination, Dec*) dan bersudut tepat dengan paksi RA. Jika paksi RA sebaliknya paksi deklinasi pegun. Gabungan kedua-dua paksi ini membolehkan teleskop menghala ke arah bintang.

Suatu lekapan yang baik mempunyai keupayaan penunjukkan yang sangat tepat (*high pointing accuracy*), nilai ralat berkala (*periodic error*) yang rendah dan pembetulan ralat yang kecil dalam ukuran minit.

Bagi mencapai penjejakan yang baik, lekapan mesti dijajarkan dengan kutub samawi (*celestial pole*). Kaedah ini dinamakan penjajaran kutub (*polar alignment*). Penjajaran kutub yang tidak tepat akan menyebabkan medan pandangan (*field of view*) hanyut dan berputar secara perlahan-lahan. Penjajaran kutub yang tidak tepat akan menyebabkan imej bintang-bintang membentuk garisan-garisan seperti yang ditunjukkan pada rajah 2.18.

Penjejakan yang baik akan menyebabkan bintang kelihatan pegun di dalam medan pandangan untuk beberapa minit, bergantung kepada keupayaan sesuatu lekapan. Lekapan yang sangat baik boleh mencapai penjejakan sehingga 10 minit.

### **2.6.1 Penjajaran kutub**

Penjajaran kutub boleh dilakukan dengan beberapa cara antaranya kaedah hanyutan (*Drift method*), kaedah CCD dan perisian.

#### **2.6.1.1 Kaedah hanyutan (*drift method*)**

Kaedah ini boleh mencapai penjajaran kutub yang baik dengan menjajarkan setiap paksi. Penyelarasan dibuat dengan menggunakan bintang berhampiran meridian dan khatulistiwa samawi dengan menyelaraskan azimut dan deklinasi.

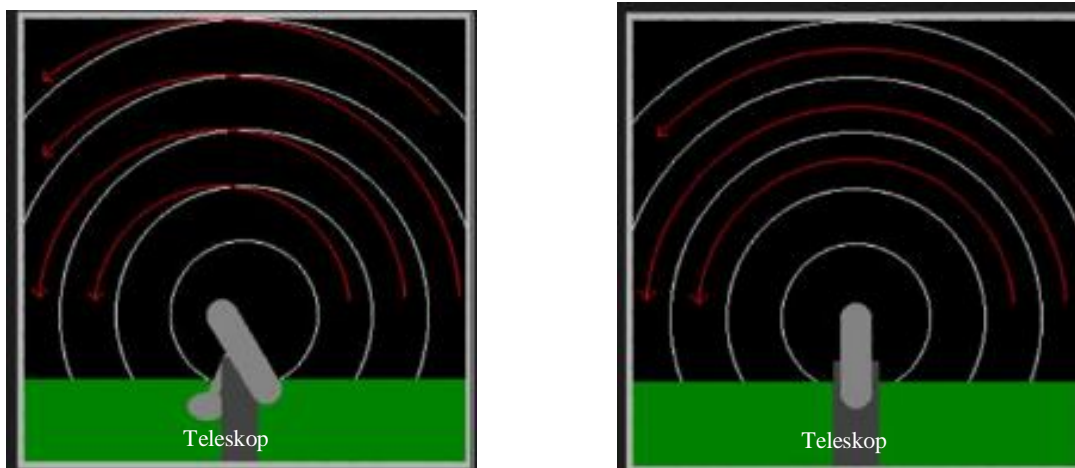


### 2.6.1.2 Kaedah CCD

Kaedah ini merakamkan imej bintang menggunakan CCD dan dengan memantau pergerakan imej bintang di monitor.

### 2.6.1.3 Kaedah Perisian

Kaedah ini menggunakan perisian TPoint model. Kaedah ini memetakan titik-titik kedudukan bintang-bintang. Nilai yang dihitung oleh TPoint bagi elevasi paksi kutub (*polar axis elevation*) dan azimuth paksi kutub (*polar axis azimuth*) untuk melaraskan penjajaran kutub.



Rajah 2.18 : Teleskop dengan penjajaran kutub yang tidak tepat menghala ke kutub(kiri). Penjajaran kutub yang hampir tepat (kanan) penjejakan teleskop (garis merah) hampir sama dengan pergerakan bintang-bintang (garis putih).

Lekapan juga mengalami ralat yang dinamakan ralat berkala (*periodic error, PE*). Akibat dari ralat ini akan menyebabkan imej bintang kelihatan membujur (*elongated*). Ralat ini diakibatkan dari sistem gear. Kebanyakan lekapan mengalami ralat berkala tetapi bagi lekapan yang baik memberikan nilai ralat berkala yang licin (*smooth*) dan

gerakan lancar. Kebanyakan lekapan mempunyai pembedaan ralat berkala (*periodic error correction*, PEC). Hasil imej yang sangat baik diperolehi jika ralat lekapan dengan nilai PEC tidak melebihi  $\pm 2$  piksel [45].

Lekapan juga mengalami ralat rawak (*random error*) akibat dari variasi gear, kotoran gear dan permukaan yang bergerak. Akibat dari ralat ini, menyebabkan imej bintang kelihatan tidak bulat [46].

Kejituan lekapan yang tinggi membolehkan kamera CCD merakamkan imej objek langit yang lebih jauh (*deep sky objects*) dengan dedahan yang lebih lama dan menghasilkan imej yang lebih terperinci dan lebih bersih. Kejituan lekapan ini diukur dengan ukuran saat arka. Kejituan lekapan paling baik di antara 1 -3 saat arka. Kejituan yang baik di antara 5 -6 saat arka. Kejituan yang sederhana di antara 15 - 20 saat arka. Lekapan yang kurang dari kejituan tersebut tidak sesuai untuk tujuan pengimejan melainkan menggunakan teleskop dengan nisbah fokus yang pendek [51].

Kunci kejayaan pengimejan adalah bergantung kepada kejituan lekapan dan juga panjang fokus teleskop. Sudut langit yang dapat diliputi oleh setiap piksel CCD bergantung kepada panjang fokus. Sebagai contoh kamera CCD dengan saiz pikselnya ialah 9 mikron dan teleskop dengan panjang fokus 500 mm setiap pikselnya dapat meliputi sudut kawasan langit 3.7 saat arka. Dan bagi teleskop pembias yang panjang fokusnya 1100 mm dapat meliputi sudut langit 1.7 saat arka, ini memerlukan kejituan penjejakan hampir dua kali lebih tinggi. Faktor saiz piksel juga mempengaruhi sudut kawasan langit yang diliputi. Piksel yang lebih besar dapat

meliputi sudut kawasan langit yang lebih besar dari piksel yang kecil bagi panjang fokus yang tertentu.

**Sudut kawasan langit yang dapat diliputi**

$$= 206 X (\text{Saiz piksel (mikron)} / \text{panjang fokus (mm)}) \quad (2.24)$$

Untuk mendapat hasil imej yang baik ralat lekapan mesti tidak melebihi +/- 2 piksel. Bagi imej yang lebih baik ralat lekapan 1.5 saat arka per piksel. Bagi kejituan yang sangat tinggi ralat lekapan adalah satu piksel. Kebanyakannya bagi kualiti imej yang tinggi, lekapan sepatutnya boleh memandu di antara 2.25 dan 6 saat arka bergantung kepada panjang fokus teleskop.

## **2.7 Penentuan imej**

Penentuan imej bertujuan untuk membersihkan imej mentah dari hingar. Hingar adalah ralat paras kecerahan dalam imej. Terdapat beberapa punca yang menghasilkan hingar ada yang berlaku secara rawak dan ada yang tidak dapat diramalkan. Hingar ada yang disebabkan oleh perkakasan yang dinamakan hingar sistem, ia terjadi semasa rakaman imej dan semasa pembacaan imej oleh pengesan CCD. Hingar jenis ini dapat dikurangkan dengan menyejukkan pengesan CCD. Dengan menyingkirkan atau menghadkan hingar, suatu imej yang berkualiti boleh dihasilkan.

Beberapa punca hingar sistem [40]

- Hingar bacaan - berpunca semasa mengumpul, menguatkan (*amplifying*) dan menukarkan data piksel ke elektron dalam kamera CCD.
- Arus gelap - berpunca dari elektron yang terkumpul dalam piksel ketika ketidakhadiran cahaya.
- Habuk optik - Habuk yang terdapat di laluan optik akan menyebabkan terjadinya bayang dalam pengesan CCD.
- Hingar latar belakang - berpunca dari gemerlapan langit.
- Pemmantulan - Cahaya yang dibalikkan dari beberapa bahagian teleskop, pemfokus atau kamera CCD.
- Hingar pemprosesan - Akibat dari proses pemprosesan imej.

Imej yang telah ditentukur adalah imej yang bebas dari hingar dan hanya mengandungi isyarat dari objek yang dirakam oleh cip CCD.

Imej ditenturkan yang baik mempunyai ciri-ciri

- bebas dari piksel panas. Piksel panas bermaksud piksel kamera CCD yang mempunyai nilai piksel lebih tinggi dari nilai piksel purata arus gelap ketika dalam keadaan tiada cahaya.
- bebas dari cahaya penguat (*amplifier*) - ada cahaya di tepi atau penjuru imej.
- latar belakang yang seragam bagi imej langit jauh.
- hingar rawak yang rendah pada keseluruhan imej.

Hingar rawak yang rendah boleh dicapai dengan kaedah purata [41].

## **2.7.1 Proses penenturan**

Bagi meningkatkan kualiti imej, hingar yang terjadi di dalam imej mentah perlu disingkirkan. Penyingkiran hingar boleh dilakukan dengan penolakan bingkai gelap (*dark frame*), pincang (*bias frame*) dan medan datar (*flat frame*).

### **2.7.1.1 Bingkai gelap (*dark frame*)**

Bingkai gelap adalah hingar yang terjadi ketika tiada cahaya yang jatuh ke atas piksel. Hingar yang biasanya wujud walaupun tanpa kehadiran cahaya ialah piksel panas dan hingar terma. Hingar ini akan memberikan piksel dengan nilai kecerahan yang tertentu. Kelakuan setiap piksel-piksel ketika ketiadaan cahaya boleh direkodkan dengan satu dedahan waktu tertentu dengan pengatup tertutup. Imej yang dirakamkan ini dinamakan bingkai gelap. Bingkai gelap menggambarkan kelakuan piksel pada suhu dan dedahan yang tertentu. Untuk mengurangkan hingar terma dengan cara menyejukkan kamera. Suhu yang rendah dapat mengurangkan hingar terma. Secara umumnya bingkai gelap menyingkirkan hingar terma.

Satu bingkai gelap yang baik memaparkan latar belakang gelap yang seragam seperti butiran halus garam pada keseluruhan bingkai seperti rajah 2.19. Titik-titik putih merupakan titik panas yang mempunyai nilai piksel melebihi dari nilai purata. Taburan titik panas dan piksel hingar bertabur di dalam medan gelap, ada bahagian yang lebih tumpat dari bahagian yang lain.



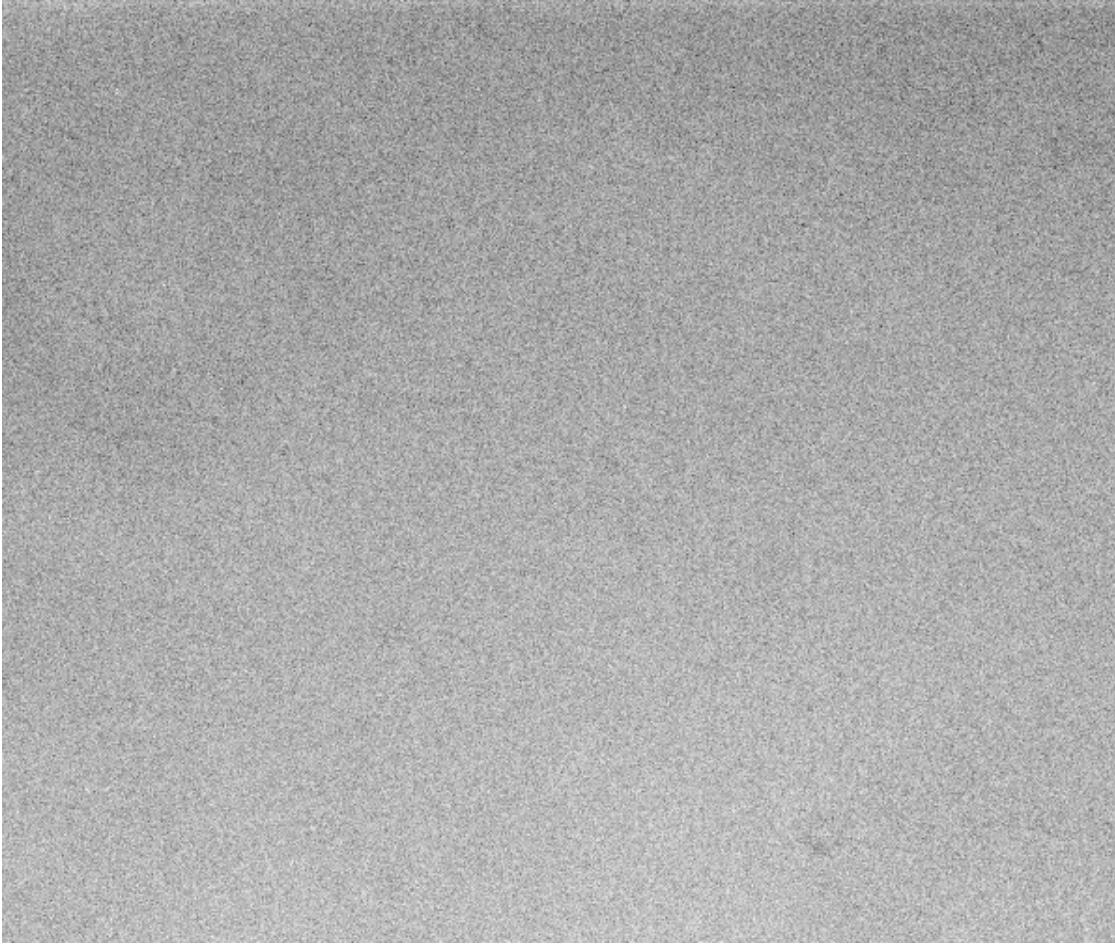
*Rajah 2.19 : Bingkai gelap (dark frame) kamera SBIG ST10XME*

### **2.7.1.2 Bingkai medan datar (*flat field frame*)**

Bingkai medan datar ialah imej CCD yang dihasilkan dengan mendedahkan kamera CCD kepada sumber cahaya datar dengan keamatan malar dan seragam. Medan datar bermaksud objek yang disinari secara sekata atau seragam (secara mendatar). Bagi menghasilkan bingkai medan datar dengan merakamkan imej objek yang disinari secara

seragam seperti kad putih, langit *twilight*, kubah balai cerap). Satu bingkai medan datar yang baik menunjukkan penyinaran yang seragam atau sekata dan latar belakang yang sekata manakala yang tidak baik menunjukkan tompok-tompok yang cerah, tompok-tompok gelap atau latar belakang yang tidak seragam. Rajah 2.20 menunjukkan imej medan datar yang telah diperolehi dengan kamera SBIG ST-10XME dengan teleskop RCOS 16”.

Mungkin sistem optik teleskop boleh menyebabkan pinggir imej lebih gelap dari bahagian tengah, ini disebabkan medan penglihatan (FOV) tidak disinari dengan sempurna, masalah ini dinamakan "*vignetting*" [42]. Masalah lain boleh disebabkan oleh zarah-zarah atau habuk yang melekat di permukaan optik boleh menghasilkan bayang-bayang ke atas cip CCD. Selain itu pemantulan dari permukaan dalam tiub teleskop atau permukaan bahagian optik seperti pemfokus (*focuser*) boleh menghasilkan bayang ke atas cip CCD. Masalah-masalah ini boleh dihindarkan secara matematik dari imej mentah dengan menggunakan bingkai medan datar [43]. Secara umumnya penyingkiran hingar dengan medan datar ialah penyingkiran imej mentah yang mempunyai kecerahan yang berubah dan bayang-bayang habuk atau debu.



*Rajah 2.20 : Medan datar (flat field) kamera SBIG ST10XME dengan teleskop RCOS 16"*

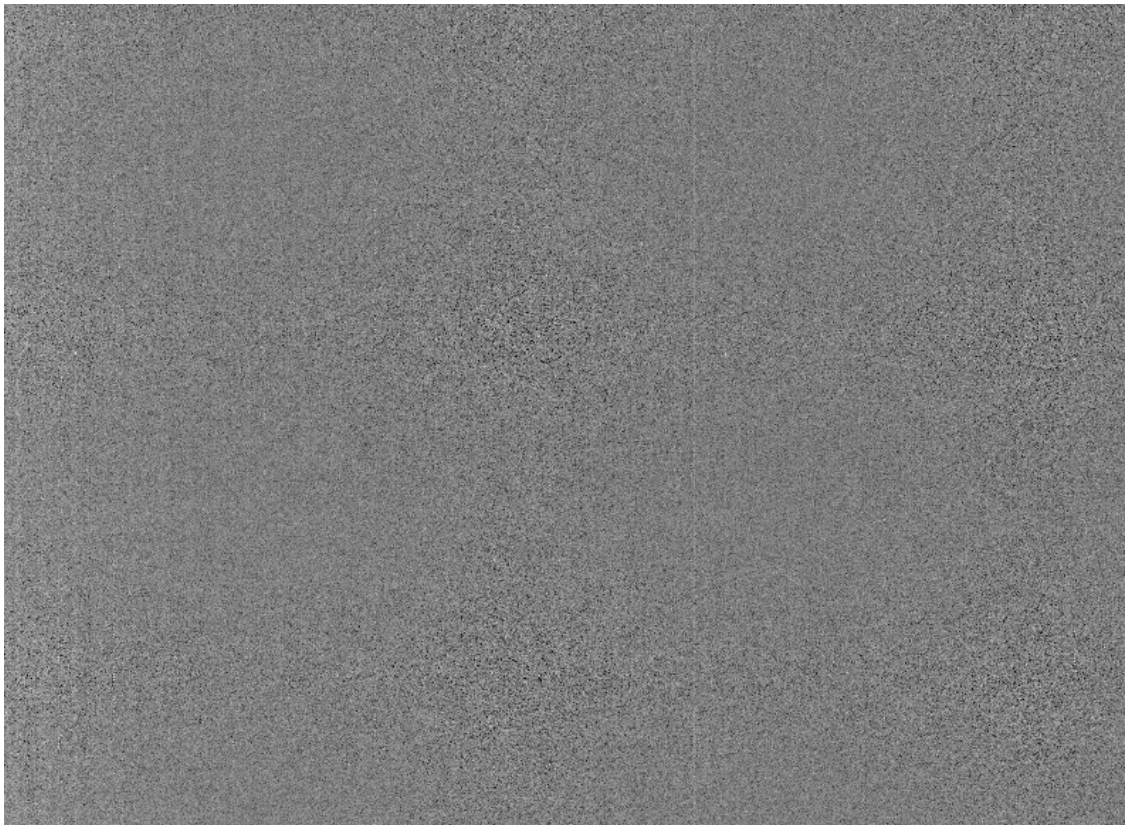
### **2.7.1.3 Bingkai imej pincang**

Bingkai imej pincang ialah imej CCD yang mengandungi cas-cas yang dijanakan oleh sistem elektronik kamera CCD untuk mengaktifkan keupayaan pengumpulan foton. Imej ini dihasilkan dengan waktu dedahan sifar dan tidak didedahkan kepada sebarang cahaya. Imej pincang secara teori sepatutnya memberikan nilai piksel yang sekata bagi setiap piksel kerana CCD tidak didedahkan kepada sebarang cahaya dan waktu dedahan adalah sifar. Tetapi paras pincang selalu berubah disebabkan hingar bacaan dari penguat



(*amplifier*) dan gangguan dari sistem elektronik kamera. Kebanyakan kamera CCD pengimejan saintifik mampu untuk membaca bingkai pincang. Bingkai pincang boleh memberikan keadaan kamera sama ada berfungsi dalam keadaan baik atau sebaliknya, jika terdapat garis yang berombak atau bercorak menunjukkan kamera tidak berfungsi dengan baik.

Pincang adalah kesan hingar yang harus disingkirkan dahulu. Imej pincang sebaiknya diambil sebaik sahaja imej mentah dirakamkan kerana paras pincang berubah dengan masa disebabkan perubahan suhu sistem elektronik kamera. Rajah 2.21 menunjukkan bingkai imej pincang yang diperolehi dari kamera SBIG ST-10XME dengan teleskop RCOS 16" di Balai Cerap Al-Khawarizmi Melaka.



*Rajah 2.21 : Bingkai Pincang (Bias frame) kamera SBIG ST10XME*

Imej mentah adalah imej CCD yang didedahkan kepada suatu objek cahaya dan mengandungi hingar .

Imej mentah sebelum ditentukan mengandungi hingar [44];

$$(\text{Imej Mentah})_{x,y} = 1/g ( (tV_{x,y} Q_{x,y} I_{x,y}) + (\text{Gelap})) \quad (2.25)$$

di mana  $g$  adalah gandaan

$t$  adalah masa dedahan

$I_{x,y}$  adalah flux foton

$Q_{x,y}$  adalah kecekapan quantum

$V_{x,y}$  adalah faktor *Vignetting*

Gelap adalah bingkai gelap (hingar terma)

Langkah-langkah pengtentukuran yang dicadangkan;

- i. Ambil purata atau median bingkai gelap untuk menghasilkan satu bingkai gelap utama. Masa intergrasi untuk bingkai gelap mesti sama dengan masa intergrasi bingkai imej mentah.
- ii. Ambil purata atau median bingkai medan datar mentah (*raw flat field*) untuk menghasilkan satu bingkai medan datar mentah utama.
- iii. Ambil purata atau median bingkai gelap medan datar untuk menghasilkan satu bingkai gelap medan datar utama.
- iv. Tolak : Medan datar mentah utama - gelap medan datar utama. Hasilnya ialah Medan datar utama.

Dari langkah-langkah diatas telah diperolehi satu bingkai gelap dan medan datar utama (*master dark* dan *master flat field*).

- v. Tolak : Imej Mentah - Bingkai gelap utama.
  - vi. Hitung purata nilai piksel bingkai medan datar utama (*master flat frame*)
  - vii. Bahagi : purata medan datar utama / medan datar utama
- Imej tertentukur = {(purata medan datar utama / medan datar utama) x imej mentah} - (Bingkai gelap) [45].**

Jika medan datar adalah sempurna nisbah purata medan datar utama / medan datar adalah satu. Jika photosit kurang sensitif atau dibayangi oleh debu maka nilai piksel utama akan rendah, dengan itu nisbah tersebut melebihi satu dan piksel imej mentah akan meningkat (dengan pembetulan kepada nilai imej mentah).