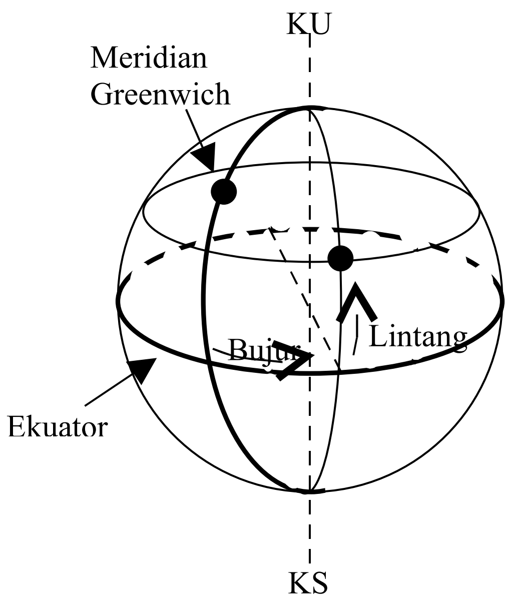
5. TATA KOORDINAT

Dalam astronomi, amatlah penting untuk memetakan posisi bintang atau benda langit lainnya, dan menerapkan system koordinat untuk membakukan posisi tersebut. Prinsip dasarnya sama dengan penentuan posisi suatu tempat di pemukaan bumi.

5.1 KOORDINAT GEOGRAFIS

Dalam pelajaran geografi atau ketika melihat peta atau bola dunia, tentu anda telah sangat familiar dengan kata-kata seperti lintang, bujur, dan kutub. Parameter penting dalam koordinat geografis antara lain:



1. Lintang

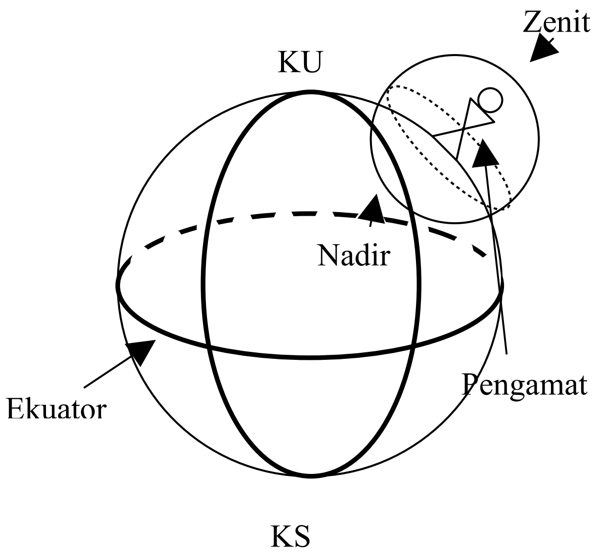
Diukur dari ekuator, ke arah kutub Utara disebut lintang Utara (positif), ke arah sebaliknya disebut lintang selatan (negatif). Lintang Utara maupun Selatan membentang hingga 90^0, dan masing-masing berujung di Kutub rotasi bumi. Garis-garis lintang berupa lingkaran-lingkaran kecil (lingkaran yang mengelilingi permukaan bola dengan diameter bukan diameter bola), kecuali lintang 90 utara maupun selatan yang berupa titik.

2. Bujur

Diukur dari meridian Greenwich, yaitu bujur yang melalui kota Greenwich, ke timur disebut bujur timur, dan ke barat disebut bujur barat, masing-masing membentang sejauh setengah lingkaran, dan garis 180^0 BT berimpit dengan garis 180^0 BB. Garis-garis bujur berupa lingkaran-lingkaran besar (lingkaran yang mengelilingi permukaan bola dengan diameter sama dengan diameter bola, contohnya ekuator)

5.2 KOORDINAT HORIZON

Apabila koordinat geografis melakukan pemetaan pada bola bumi, maka koordinat horizon melakukan pemetaan pada bola horizon. Apa itu bola horizon? Coba lihat gambar berikut.



Terlihat bahwa pengamat di permukaan bola tersebut mempunyai sebuah bola horizon yang menyelubunginya. Dapat disimpulkan bahwa setiap pengamat di tempat berbeda akan memiliki bola horizon yang berbeda pula.

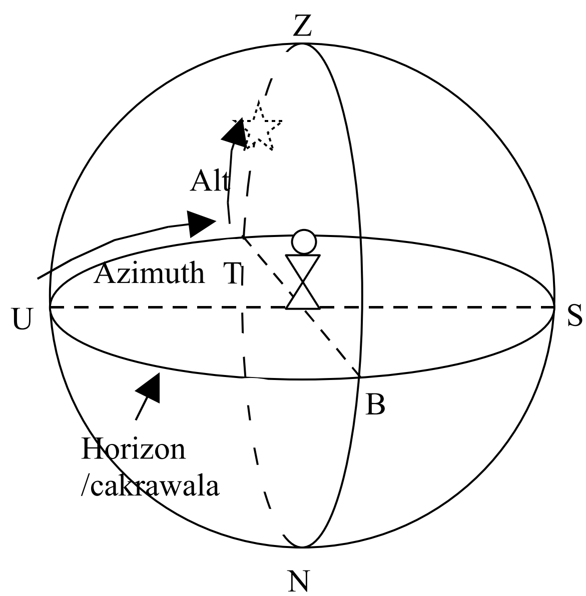
Bola horizon yang sebenarnya jauh lebih besar, bahkan hingga memotong bola langit. Bahkan bola horizon pada dasarnya ialah bola langit yang terlihat dari posisi tertentu.

Sekarang kita tinjau bola langit itu sendiri. Parameter penting dalam koordinat horizon antara lain,

Z = Titik Zenith, titik yang berada tepat diatas pengamat

N=Titik Nadir, titik yang berada tepat dibawah pengamat

U,T,S,B = titik-titik cardinal, atau titik-titik arah mata angin. Berturut-turut ialah arah Utara, Timur, Selatan, dan Barat



Sedangkan koordinat horizon terdiri atas :

1. **Altitude** : Analog dengan lintang. Merupakan ketinggian benda diatas horizon, positif kearah zenith, negative kearah nadir. Rentangnya dari $+90^0$ hingga -90^0. Misalkan benda yang berada tepat di titik Zenith akan mempunyai altitude 90^0, dan benda yang berada tepat di horizon altitudenya 0^0. Perlu diingat bahwa salah satu syarat suatu bintang terlihat (bagi pengamat dengan ketinggian 0 meter) ialah memiliki altitude positif.

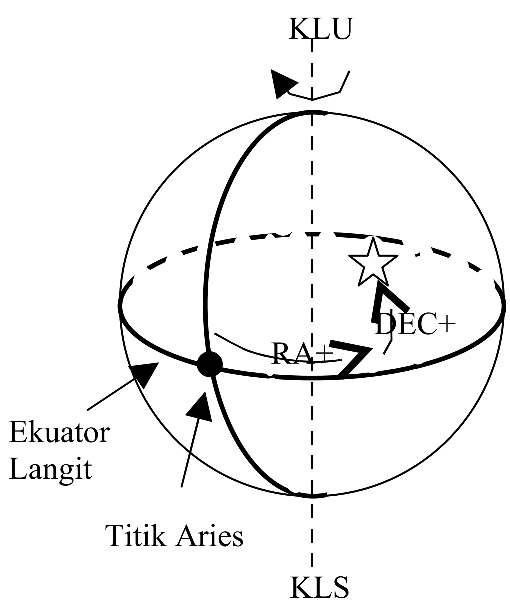
2. **Azimuth**: serupa dengan bujur, yaitu posisi benda diukur dari Utara-Timur-Selatan-Barat. Rentangnya dari 0^0 hingga 360^0, atau dari 0 jam hingga 24 jam. Sebagai contoh titik arah tenggara akan memiliki azimuth 135^0, dan titik barat laut sebesar 315^0. Bintang dalam gambar contoh diatas memiliki koordinat horizon sekitar azimuth 90^0 dan altitude $+45^0$.

5.3 KOORDINAT EKUATORIAL

Koordinat ekuatorial memetakan posisi suatu benda (biasanya suatu benda langit) di bola langit, baik yang terlihat maupun yang tidak terlihat, tanpa memperdulikan posisi pengamat.

A. Sistem RA-DEC

Terdapat dua jenis koordinat ekuatorial, yang pertama ialah system Asensio Recta (RA atau α) dan Deklinasi (DEC), Skema koordinat ekuatorial system pertama ialah :



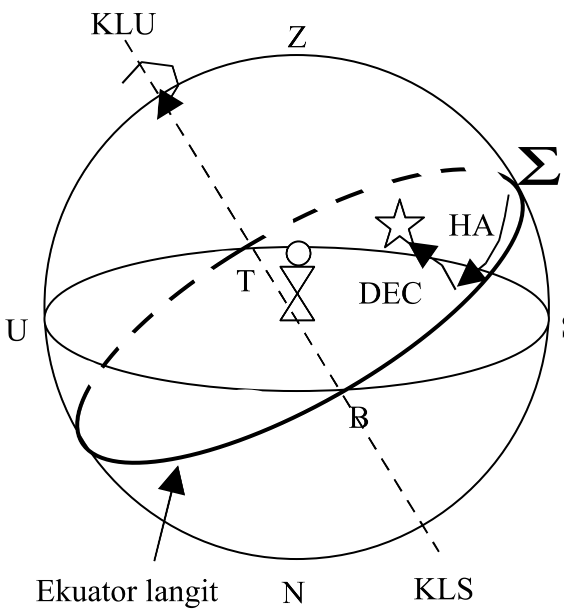
Dari pembahasan bab 1, tentunya anda masih ingat bahwa gambar disamping menunjukkan bola langit. Koordinat ekuatorial terdiri atas:

1. **Deklinasi** : serupa dengan lintang, yaitu ketinggian sebuah benda diukur dari ekuator langit. Ke arah Kutub Langit Utara positif, dan sebaliknya negative. Dari $+90^0$ hinga -90^0.

2. **Asensio Recta :** yaitu posisi bintang diukur sepanjang ekuator langit dari titik Aries (boleh dibilang meridian Greenwichnya Bola langit) positif bila diukur berlawanan arah dengan putaran bola langit dan pergerakan bintang-bintang. Misalnya bila bintang-bintang terbit di timur dan tenggelam di barat, asensio recta diukur dari barat ke timur di langit. Bernilai 0^0 hingga 360^0 atau 0 jam hingga 24 jam.

B. Sistem HA-DEC

Sistem kedua dari koordinat ekuatorial ini lebih merupakan gabungan antara koordinat horizon dan koordinat ekuatorial. Skema yang menunjukkannya ialah :



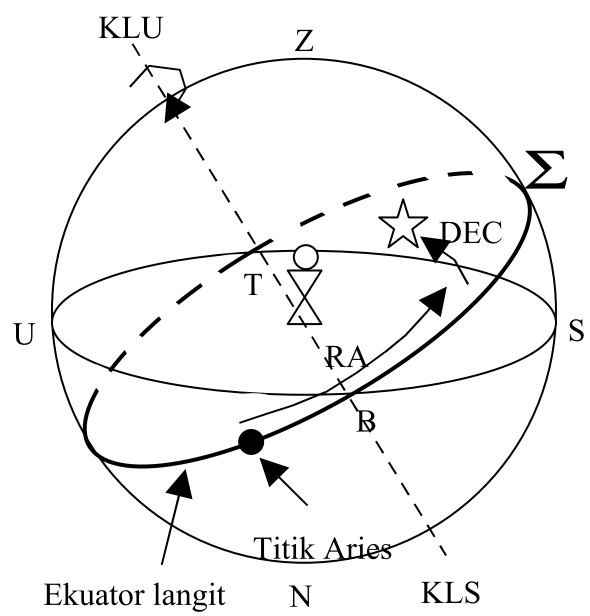
Gambar disamping adalah gambar pengamat di lintang sekitar 60^0, karena altitude KLU dari horizon sebesar 60^0. Maka posisi ekuator langit pun akan tegak lurus terhadap KLU.

Apabila sistem RA-DEC menggunakan titik Aries, maka sistem ini menggunakan **titik sigma (Σ),** yaitu titik perpotongan ekuator langit dengan meridian pengamat/bujur pengamat yaitu lingkaran besar yang melalui titik Utara, Zenit, dan Selatan.

1. **Deklinasi**, persis sama dengan yang digunakan oleh sistem RA-DEC.
2. **Hour Angle,** diukur dari titik sigma sepanjang ekuator langit, positif apabila searah dengan putaran bola langit dan pergerakan bintang (otomatis berlawanan dengan arah asensio rekta). Bernilai 0 sampai 24 jam, atau +12 jam hingga -12 jam.

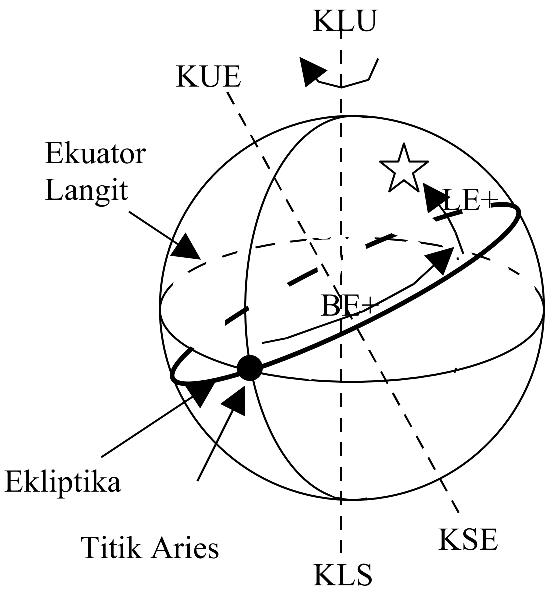
Hour Angle juga merupakan posisi bintang dari titik kulminasinya (mencapai meridian pengamat). Seringkali HA dinyatakan dalam +2 jam, atau -3 jam, yang berturut-turut berarti mencapai kulminasi 2 jam yang lalu, serta membutuhkan 3 jam lagi untuk mencapai kulminasi. Otomatis semua benda yang ada di meridian pengamat akan memiliki hour angle 0 jam.

Apabila bintang digambar atas kita gambar dalam sistem RA-DEC, apabila posisi titik aries (yang berubah-ubah setiap saat) kita tentukan, akan kita dapati seperti gambar disamping



5.4 KOORDINAT EKLIPTIKA

Koordinat ekliptika serupa dengan koordinat ekuatorial sistem RA-DEC, namun hanya berbeda lingkaran besar acuannya saja. Apabila ekuatorial menggunakan lingkaran ekuator langit, maka koordinat ekliptika menggunakan bidang **ekliptika,** yaitu bidang edar bumi mengelilingi matahari, yang memiliki kemiringan $23{,}5^0$ dari ekuator.



Koordinat ekliptika terdiri atas:

1. **Lintang Ekliptika**, diukur dari bidang ekliptika, positif ke arah Kutub utara ekliptika (KUE). Berkisar antara $+90^0$ hingga -90^0. Lintang ekliptika sering disebut juga lintang langit.

2. **Bujur Ekliptika,** diukur dari titik aries sepanjang ekliptika, positif searah dengan asensio rekta positif, atau diukur berlawanan arah putaran bola langit. Diukur dari 0^0 sampai 360^0. Bujur ekliptika sering disebut juga bujur langit. Tanggal 21 Maret bujur ekliptika matahari 0^0, dan semakin hari semakin positif.

Dari pembahasan bab 1 tentu anda masih ingat bahwa Ekliptika dan ekuator langit berpotongan di dua titik, Aries dan Libra. Titik Aries disebut juga sebagai **titik nodal naik** (ascending node) dalam koordinat ekliptika, sebab bila kita mengukur bujur ekliptika secara positif sepanjang ekliptika, kita akan melintasi titik aries dengan arah sedang "naik" atau melintasi belahan bola langit selatan ke belahan bola langit utara. Dengan alasan sebaliknya, titik Libra disebut **titik nodal turun**.

5.5 KONSEP WAKTU

A. Waktu Matahari

Waktu yang kita kenal, misalnya waktu yang ditunjukkan oleh jam tangan kita atau jam dinding, ternyata sesungguhnya mendasarkan perhitungannya pada fenomena astronomi. Waktu yang biasa kita pakai sehari-hari disebut waktu lokal surya rata-rata atau waktu lokal rata-rata saja (Local Mean Time), dan perhitungannya berdasarkan posisi matahari di langit.

Waktu Lokal Rata-rata, dihitung berdasarkan sudut jam dari matahari dilihat dari posisi pengamat, atau dinyatakan

$$\boxed{Local\ Mean\ Time = HA_{sun} + 12\ jam} \quad \text{............................ (5.1)}$$

Dari sini kita mengetahui bahwa jam tangan kita, adalah peralatan astronomi yang cukup canggih, yang (jika presisi) mampu menunjukkan dimana posisi matahari setiap saat. Pukul 24.00 misalnya, menunjukkan matahari ada di kulminasi bawahnya.

Mengapa harus ditambah 12 jam ? Bayangkan apabila kita tidak menambahkan 12 jam pada persamaan tersebut, maka pukul 00.00 akan dicapai saat hour angle matahari 00.00 juga, yang berarti kita akan berganti hari di tengah-tengah aktivitas kita, betapa repotnya? Maka kita sesuaikan persamaan agar pergantian hari terjadi saat kebanyakan orang sedang beristirahat.

Mengapa disebut waktu rata-rata? Ternyata akibat kecepatan orbit bumi yang tidak konstan (dalam orbit elips) maka panjang satu hari juga berbeda-beda, tidak tepat 24 jam. Maka diambillah waktu rata-rata yang dipakai agar lebih simpel.

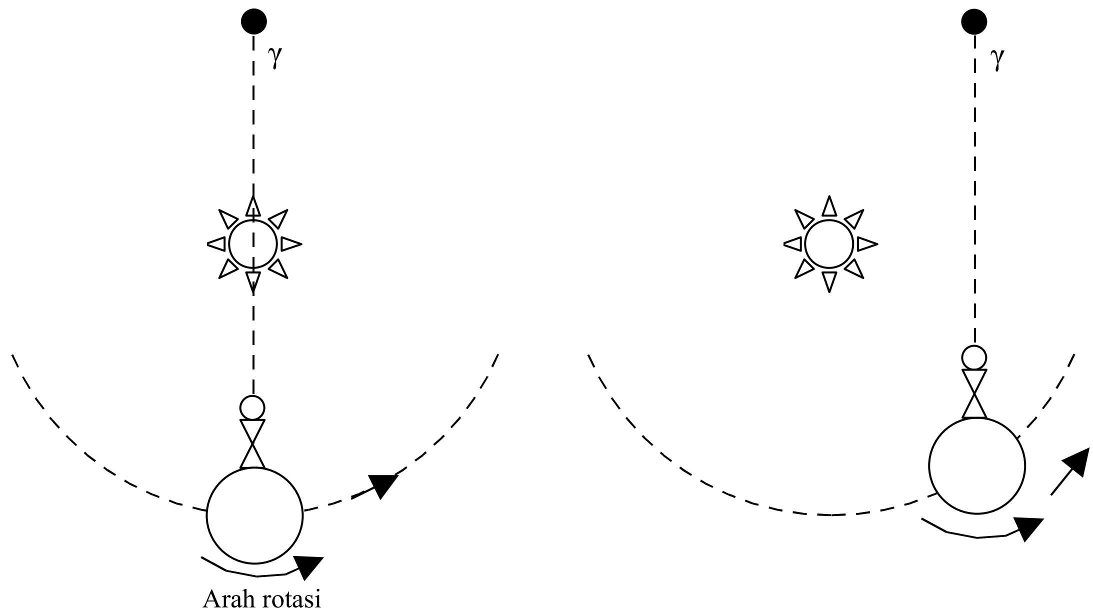
Kita juga tahu bahwa pada bujur yang berbeda, matahari akan mencapai meridian pada waktu yang berbeda-beda pula (bujur lebih timur akan lebih dulu). Maka perlu ada waktu standar yang dipakai sebagai patokan. Maka ditetapkan waktu lokal rata-rata di kota Greenwich atau di bujur 0^0 (Greenwich Mean Time), sebagai waktu standar, disebut Universal Time.

Kemudian bola bumi dibagi menjadi 24 zona waktu, dimana setiap zona memiliki bujur standar untuk menentukan waktu zona (untuk Zona GMT +7 atau zona WIB, bujur acuannya ialah bujur 105^0 BT). Lalu berdasarkan perbedaan waktu zona dengan waktu greenwich setiap zona diberi nama. Misalnya zona GMT +2 artinya waktu zona tersebut 8 jam lebih dulu dari waktu Greenwich.

<u>B. Waktu Sideris</u>

Alkisah seorang astronom bernama Alif berniat mengamati bintang Aldebaran setiap malam minggu di pinggir pantai. Malam minggu pertama Alif mencatat bahwa bintang Aldebaran terbit pukul 19.00 dalam waktu jam tangannya. Seminggu kemudian Alif berencana mengabadikan terbitnya bintang Aldebaran yang tepat di horizon, dan dia datang tepat pukul 19.00. Apa yang akan dia amati? Ternyata Aldebaran tidak tepat di horizon melainkan sudah tinggi di langit, rencananya pun gagal. Dimana letak kesalahannya?

Tentu saja kesalahan Alif ialah dia menggunakan jam yang salah. Jam tangan selalu menggunakan waktu surya sebagai acuannya. Sedangkan semua benda langit lain (termasuk bintang) tidak tunduk pada waktu surya. Perhatikan gambar berikut!



Gambar yang kiri menunjukkan matahari dan salah satu benda bola langit (dalam hal ini diambil contoh titik aries) nampak berimpit dilihat oleh pengamat di bumi. Satu hari kemudian, bumi sudah berpindah posisinya akibat revolusi. Namun titik Aries yang letaknya sangat jauh mendekati tak hingga, hanya akan bergeser sedikit. Peristiwa ini analog dengan apabila anda melihat dua pohon, satu terletak tepat di depan anda dan yang lainnya berada di jarak sangat jauh. Ketika anda berlari ke samping anda akan melihat pohon yang lebih dekat akan seolah-olah bergeser, sementara pohon yang jauh akan nampak relatif diam.

Akibatnya bumi perlu berotasi sedikit lebih jauh agar mendapati matahari berada di atas kepala lagi. Perbedaan ini ternyata sebesar **4 menit perhari**, sehingga bintang-bintang akan terbit 4 menit lebih cepat setiap hari (dalam jam surya).

Lalu waktu apa yang harus kita gunakan untuk mengamati bintang ? Tentunya kita harus membuat sistem waktu dimana acuannya terletak di bola langit, sehingga bergerak bersama-sama bintang-bintang. Maka diputuskan sistem tersebut akan dihitung berdasarkan posisi dari titik Aries di langit, jam tersebut disebut **jam sideris,** atau disebut waktu sideris lokal (Local Sidareal time).

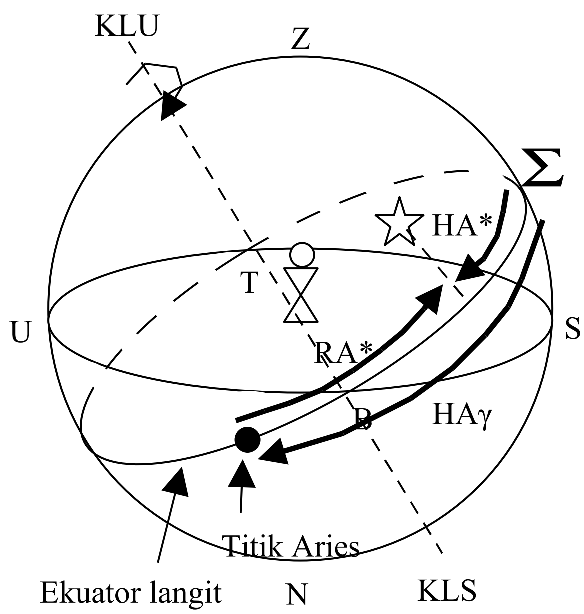
Waktu sideris lokal akan mengikuti persamaan

$$\boxed{Local\ Sidereal\ \ Time = HA\gamma} \text{...(5.2)}$$

Dimana kita tidak perlu menambahkan 12 jam atau berapapun, sebab aktivitas harian kita tidak bergantung pada jam sideris. Jadi apabila kita melihat titik Aries ada di meridian, maka dapat dipastikan saat itu LST = 00.00.

Dapat dipastikan bahwa satu kali putaran bola langit, atau selang waktu suatu bintang dari kulminasi (meridian) kembali ke kulminasi lagi ialah **23 jam 56 menit** (dalam jam tangan kita), yang menunjukkan waktu rotasi bumi yang sebenarnya.

Perhatikan gambar berikut !



Dapat dilihat bahwa ternyata terdapat hubungan

HA titik aries =RA bintang + HA bintang

Gabungkan dengan persamaan 5.2, didapat

$$\boxed{LST=RA+HA} \qquad \text{...(5.3)}$$

Dan persamaan 5.3 ini berlaku untuk semua bintang. Jadi apabila kita mengetahui asensio recta suatu bintang, dan LST saat itu, kita dapat meramalkan Hour angle bintang di langit. Dapat dilihat betapa pentingnya LST bagi pengamatan astronomi. Apabila yang kita kaji adalah titik aries (RA = 0) maka persamaan 5.3 akan menghasilkan persamaan 5.2

Karena Hour Angle setiap benda di meridian adalah nol, maka dari persamaan 5.3 dapat diturunkan

$$\boxed{\text{LST} = \text{RA bintang di meridian}} \quad \text{.......................................(5.4)}$$

Persamaan 5.4 memudahkan kita menghitung RA, sebab titik aries sendiri di langit bukan sebuah bintang, dan hanyalah titik imajiner sehingga tidak bisa ditentukan posisinya dengan pandangan mata. Alternatif penentuan LST ialah dengan melihat bintang apa yang ada di Meridian. Misalkan kita melihat bintang α Centauri (RA = $14^{jam}38^{men}$) berada di meridian, maka dapat dipastikan saat itu LST akan menunjukkan pukul 14.38.

Satu hal yang perlu diingat adalah bintang akan terbit pada waktu yang sama dalam LST, jadi pada kasus pengamat Alif tadi, apabila jam tangannya adalah jam sideris, tentu dia akan berhasil.

Bagaimana hubungan antara LST dan LMT? Apabila kita perhatikan seksama, maka pukul 00.00 LMT akan sesuai dengan pukul 00.00 LST apabila matahari ada di bujur ekliptika 180^0, atau dengan kata lain tepat berseberangan dengan titik aries, atau seperti sudah kita pelajari di Bab I, terjadi pada tanggal 23 September.

Pada tanggal 24 September pukul 00.00, LST sudah berjalan 4 menit lebih cepat sehingga akan menunjukkan pukul 00.04, dan seterusnya perbedaan bertambah 4 menit setiap hari, untuk kembali mencapai 00.00 LMT = 00.00 LST pada tanggal 23 September tahun berikutnya. Hubungan ini memudahkan kita menghitung LST (secara pendekatan) untuk waktu kapan saja.

5.6 SIANG DAN MALAM

Berapa lama sebuah benda akan berada di atas horizon ditentukan oleh dua faktor : **deklinasi benda** tersebut dan **lintang pengamat**. Dalam hal benda tersebut adalah matahari, maka saat matahari berada di atas horizon dinamakan waktu siang, sementara sisanya disebut malam.

Penurunan persamaan waktu membutuhkan pengetahuan terhadap persamaan trigonometri untuk segitiga bola, yang mungkin belum anda pelajari. Adapun persamaan waktu tersebut ialah

$$\boxed{\cos H = -\tan DEC \tan Latitude} \quad \text{....................................(5.5)}$$

Dimana H ialah **setengah** busur siang, atau setengah busur diatas horizon. Persamaan 5.5 berlaku bagi objek bola langit maupun Matahari.

Setelah mendapat nilai H, kita dapat menentukan berapa lama matahari akan berada di atas horizon, dengan persamaan:

$$\boxed{T = \frac{2.H}{180^0} x12\,jam} \quad \text{..(5.6 a)}$$

Dimana 12 jam sesungguhnya ialah setengah hari matahari.

Sehingga apabila benda yang kita tinjau bukan matahari, melainkan benda yang melekat di bola langit, setelah mendapat nilai H, kita gunakan persamaan lain

$$\boxed{T = \frac{2.H}{180^0} x11\,jam58menit} \quad \text{..(5.6 b)}$$

Tentunya 11 jam 58 menit ialah setengah hari sideris.

Dari persamaan matahri bisa kita simpulkan bahwa untuk pengamat di lintang 0^0 (ekuator), kapanpun akan memiliki panjang siang hari 12 jam dan malam 12 jam. Di kutub, persamaan 5.5 tidak akan memberikan hasil. Khusus untuk pengamat di kutub, akan mengalami siang selama 6 bulan lalu berganti dengan malam selama 6 bulan. Daerah-daerah yang bisa mengalami panjang siang/malam lebih dari 24 jam ialah daerah di dalam lingkaran kutub utara maupun selatan, (lintang >+66,5^0 atau < -66,5^0).

Contoh soal :

Bila ada pengamat berada pada lintang +54°, maka berapa lama malam terpendek dan terpanjang yang akan dialami pengamat tersebut ?

Jawab :

a) Malam terpendek (siang terpanjang) bagi tempat di belahan bumi Utara, akan tercapai tanggal 22 Juni saat deklinasi Matahari +23,5^0. Maka,

$$\cos H = -\tan DEC \tan Latitude$$
$$\cos H = -\tan(23,5)\tan(54)$$
$$\cos H = -0,599$$
$$H = 126^0 48'$$

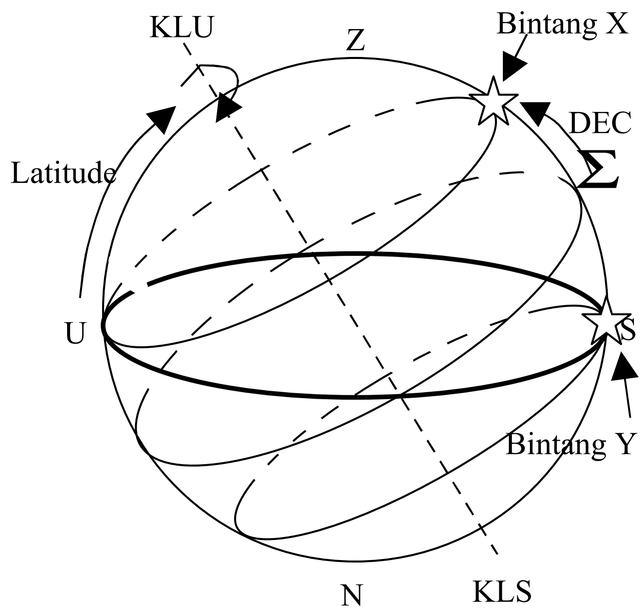
Maka panjang siang terpanjang

$$\frac{2.(126^0 48')}{180^0} x12\,jam = 16 \text{ jam } 54 \text{ menit}$$

Maka panjang malam terpendek ialah 24 jam – 16 jam 54 menit = 7 jam 06 menit

b) Malam terpanjang (siang terpendek) bagi tempat di belahan bumi Utara, akan tercapai tanggal 22 Desember saat deklinasi Matahari +23,5^0. Maka dengan cara yang sama akan didapat panjang malam terpanjang = 16 jam 54 menit.

5.7 BINTANG SIRKUMPOLAR



Gambar diatas menunjukan bola langit bagi pengamat di lintang utara. Apabila diperhatikan bintang X, yang memiliki lintasan harian dengan kulminasi bawah tepat di horizon (titik Utara). Otomatis bintang-bintang yang memiliki deklinasi lebih besar dari bintang X akan memiliki kulminasi bawah di atas horizon. Apabila kulminasi bawah suatu bintang berada di atas atau tepat di horizon, maka bintang tersebut tidak akan pernah tenggelam, atau selalu ada di langit kapanpun, disebut **bintang sirkumpolar** artinya bintang yang mengitari (sirkum) kutub (polar).

Syarat suatu bintang agar tidak pernah tenggelam bagi pengamat di belahan bumi utara ialah

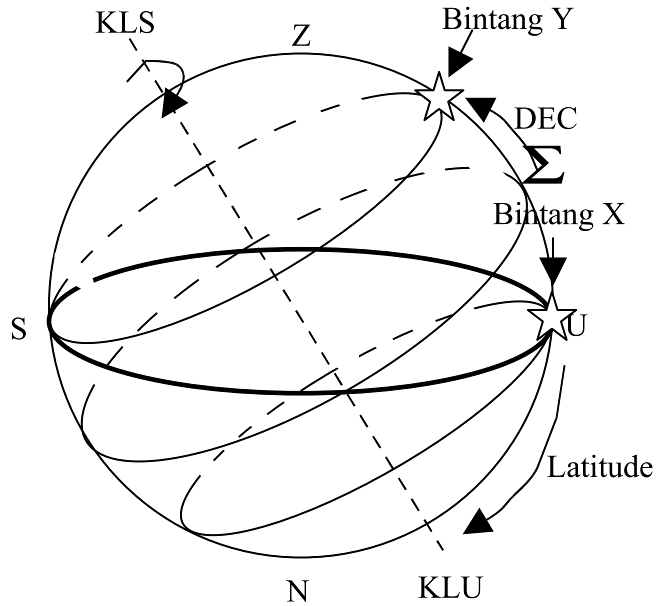
$$\boxed{DEC > 90^0 - Latitude} \quad \text{..(5.7 a)}$$

Sekarang perhatikan bintang Y, dimana kulminasi atasnya berada tepat di horizon (titik selatan). Maka otomatis, bintang-bintang dengan deklinasi lebih kecil dari bintang Y akan memiliki kulminasi atas di bawah horizon, sehingga tidak akan pernah terbit ataupun terlihat di langit.

Syarat suatu bintang agar tidak pernah terbit bagi pengamat di belahan bumi utara ialah

$$\boxed{DEC < -(90^0 - Latitude)} \quad \text{..(5.8 a)}$$

Bagi pengamat di lintang selatan, bola langit akan tampak



Perlu diperhatikan bahwa pengamat di belahan bumi selatan ini memiliki posisi lintang negatif dari posisi pengamat di gambar sebelumnya.

Dengan cara yang sama, maka syarat suatu bintang tidak pernah tenggelam bagi pengamat di belahan bumi selatan ialah

$$\boxed{DEC < -(90^0 + Latitude)} \quad \text{.......................................(5.7 b)}$$

Disini perlu diperhatikan bahwa lintang pengamat dinyatakan dalam negatif, sebab berada di lintang selatan (ketinggian KLU bernilai negatif).

Syarat suatu bintang tidak pernah terbit bagi pengamat di belahan bumi selatan ialah

$$\boxed{DEC > 90^0 + Latitude} \quad \text{.......................................(5.8 b)}$$

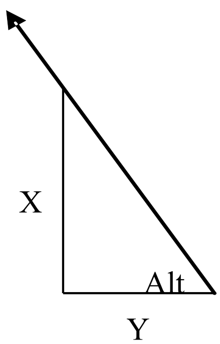
Contoh Soal :
Dapatkah bintang αCentauri (deklinasi = -60^0) dilihat oleh pengamat di kota Moscow, Russia (lintang +60^0) ?

Jawab :
Batas deklinasi bintang yang tidak pernah terlihat di Moscow ialah $DEC < -(90^0 - 60^0)$, yaitu $DEC < -30$. Karena alpha centauri memenuhi syarat tersebut, maka bintang tersebut tidak pernah bisa dilihat dari Moscow.

5.8 TIANG DAN BAYANGAN

Suatu tiang yang berada di lintang tertentu, hanya akan kehilangan bayangannya, apabila matahari berada tepat di zenith. Syarat matahari melintasi zenith (pada pukul 12.00 waktu lokal) ialah **deklinasi matahari = lintang pengamat.** Misalnya tiang yang ditancapkan di lintang +23,5^0, akan kehilangan bayangannya pada pukul 12.00 siang tanggal 22 Juni. Tiang yang berada di lintang lebih besar dari +23,5^0 atau lebih kecil dari -23,5^0 tidak akan pernah kehilangan bayangannya.

Apabila suatu matahari tidak melintasi zenith, maka panjang bayangan tiang pada pukul 12.00 siang waktu lokal hanya akan mencapai keadaan terpendek. Panjang bayangan dan panjang tiang berkorelasi pada ketinggian matahari dari horizon.



Apabila X adalah tinggi tiang, dan Y adalah panjang bayangan terpendek (tercapai pukul 12.00), maka ketinggian matahari dapat dicari dari persamaan sederhana

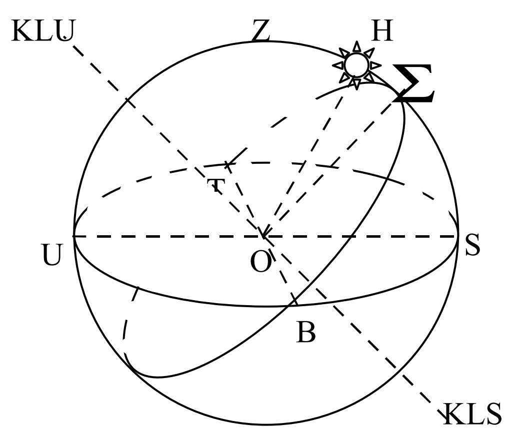
$$\boxed{Tan\ Altitude = \frac{X}{Y}} \quad \text{......................................(5.9)}$$

Contoh Soal :

Seorang ilmuwan Jepang yang tinggi tubuhnya 168 cm sedang survey di Papua, berkomunikasi dengan koleganya di Tokyo melalui telpon genggam untuk mengetahui koordinat geografisnya. Komunikasi dilakukan tepat pada saat bayangan tubuh ilmuwan itu di tanah kira-kira paling pendek dan arahnya ke Selatan, dengan panjang bayangan 70 cm. Tayangan di Tokyo saat itu bayangan benda-benda yang terkena sinar matahari juga terpendek, dan ketinggian matahari saat itu 68^0 koordinat geografis Tokyo adalah 139^0 42′ BT dan 35^{0}37′. Tentukanlah koordinat geografis tempat ilmuwan Jepang itu berada !

Jawab :

Tokyo berada di lintang +35^0 37′, maka bola langit di tokyo pada saat panjang bayangan benda-benda terpendek (matahari di kulminasi atas) seperti disamping.



Perlu diingat bahwa **lintang pengamat = ketinggian KLU**

= $\angle$U.O.KLU = +35^0 37′

Lalu ketinggian matahari dari horizon ($\angle$HOS)= 68^0, saat itu ketinggian matahari pasti diukur dari titik S, mengapa ? karena apabila matahari berada 68^0 diatas U, maka deklinasi matahari akan lebih besar dari +$23{,}5^0$, yang tidak mungkin terjadi.

Maka *deklinasi matahari*,

$\angle HO\Sigma = \angle ZOS - (\angle \Sigma 0S + \angle ZOH)$

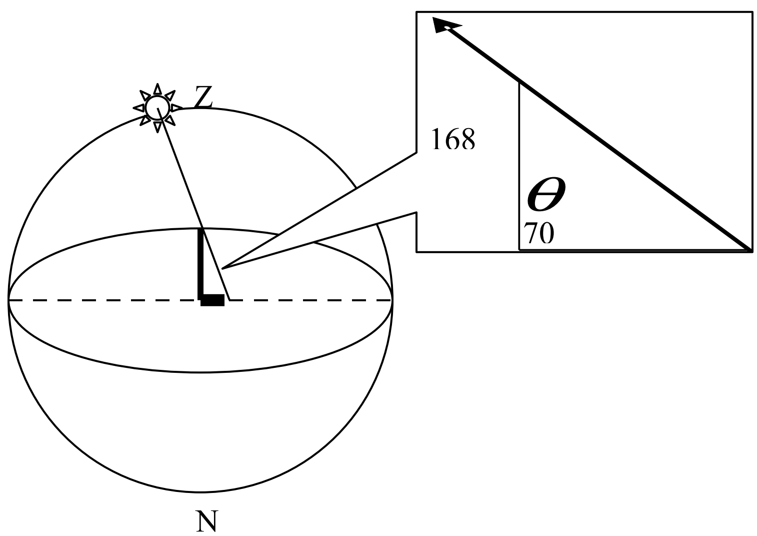
$= 90^0 - ((90^0 - \angle ZO\Sigma) + (90^0 - \angle HOS))$

(ingat bahwa $\angle ZO\Sigma = \angle UO.KLU$)

$= 90^0 - ((90^0 - 35^0 37') + (90^0 - 68^0))$

$= \underline{+13^0\ 37'}$

Lalu perlu kita perhatikan bahwa di posisi ilmuwan Jepang diperoleh informasi bahwa panjang bayangan tubuhnya = 70 cm. Maka dari informasi yang ada, kita dapat menggambarkan bola horizon ilmuwan tersebut :

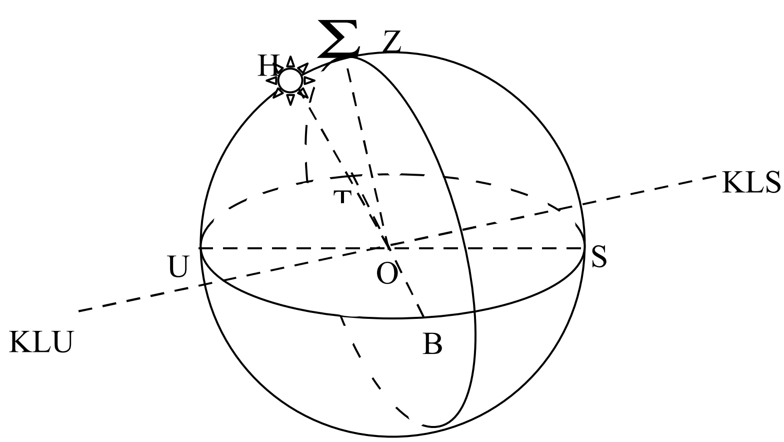


Dapat dilihat bahwa ketinggian matahari dari horizon = θ, Dimana

$$\tan\theta = \frac{168}{70}$$

$$\theta \approx 67^\circ$$

Dari ketinggian matahari, dan deklinasinya yang sudah kita hitung, kita dapat menggambarkan bola langit ilmuwan tersebut dengan lengkap, seperti disamping.



Perlu diingat bahwa karena bayangannya mengarah ke selatan, maka matahari haruslah berada di sebelah utara Zenith, maka $\theta = \angle$ UOH.

Untuk mengetahui posisi ilmuwan, kita harus mencari $\angle$KLU.OU, yang merupakan lintang pengamat, maka

$\angle$ KLU.OU = $\angle$KLU.OΣ - ($\angle$UOH + $\angle$HOΣ)

(Ingat bahwa $\angle$HOΣ = deklinasi matahari)

= 90^0- (67^0+$13^0 37'$)

= $\underline{9^0\ 23'}$

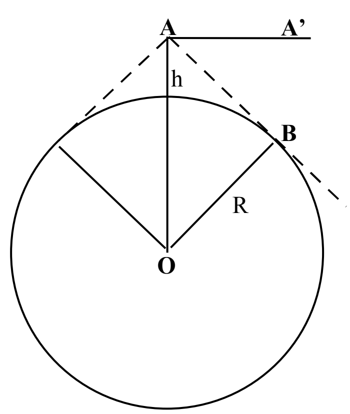
Perlu diingat bahwa karena ketinggian KLU negatif, maka ilmuwan berada di lintang negatif, yaitu lintang 9^0 23′ Lintang Selatan.

Karena panjang bayangan terpendek di Tokyo dan di tempat ilmuwan dicapai pada waktu yang sama, maka keduanya pasti berada pada satu bujur yang sama (karena waktu matahari mencapai kulminasi sama), yaitu $\underline{139^0\ 42'\ \text{BT}}$.

Maka koordinat geografis pengamat ialah **139^0 42′ BT dan 9^0 23′ LS.**

5.9 KOREKSI KETINGGIAN PENGAMAT

Bagi seorang pengamat di tempat yang memiliki suatu ketinggian di atas permukaan laut, maka apa yang akan diamati olehnya tidak akan sama dengan pengamat di ketinggian 0. Dua orang pengamat dengan buJur yang sama, namun yang satu berada di tempat yang lebih tinggi mengamati matahari terbit. Tentunya pengamat yang berada di tempat yang lebih tinggilah yang akan melihat matahari terbit duluan, sebab dia dapat melihat lebih "dalam", atau Jarak ke horizon (jarak terjauh permukaan bumi yang bisa dilihat) semakin jauh.



Gambar di samping menunJukkan seorang pengamat di ketinggian h diatas permukaan bumi. Jarak ke horizon bagi pengamat tersebut ialah jarak AB = d, dimana $\angle$OBA adalah siku-siku.

Maka berlaku hukum phytagoras :

$AB^2 = AO^2 - OB^2$

$$d = \sqrt{AO^2 - OB^2}$$

$$= \sqrt{(R+h)^2 - R^2}$$

$$= \sqrt{2Rh + h^2}$$

$$= \sqrt{h(2R + h)}$$

Karena $h << R$, maka dapat kita nyatakan sebagai

$$= \sqrt{2Rh}$$

Bila kita nyatakan h dan R dalam meter, dan kita masukkan nilai Jari-Jari bumi ke dalam persamaan di atas kita akan mendapatkan

$$\boxed{d = 3570\sqrt{h} \quad (meter)} \qquad \text{...(5.10)}$$

Persamaan 5.10 adalah persamaan umum Jarak pengamat ke horizon laut.

Sudut A'AB, disebut sudut kedalaman (angle of dip) = θ. Dimana berlaku

$$\cos A'AB = \sin OAB$$

$$\cos\theta = \frac{OB}{OA}$$

$$\cos\theta = \frac{R}{R + h}$$

Untuk sudut yang kecil berlaku $\cos\theta = 1 - \frac{\theta^2}{2}$, berlaku bila sudut dinyatakan dalam radian, sehingga menJadi

$$1 - \frac{\theta^2}{2} = \frac{R}{R + h}$$

$$\frac{\theta^2}{2} = \frac{R + h}{R + h} - \frac{R}{R + h}$$

$$\frac{\theta^2}{2} = \frac{h}{R + h}$$

$$\theta(rad) = \sqrt{\frac{2h}{R + h}}$$

Karena $h << R$, maka dapat kita nyatakan sebagai

$$\theta(rad) = \sqrt{\frac{2h}{R}}$$

Bila kita ingin nyatakan θ dalam menit busur, h dan R dalam meter, dan kita masukkan nilai radius bumi ke dalam persamaan kita akan mendapati

$$\boxed{\theta(') = 1930\sqrt{h} \quad \text{(menit busur)}} \qquad \text{...................................(5.11)}$$

Persamaan 5.11 memberikan hubungan yang sederhana antara sudut dengan ketinggian pengamat. Perlu diingat bahwa persamaan 5.10 dan 5.11 tidak memperhitungkan efek refraksi atmosfer. Dimana refraksi bisa menyebabkan bintang-bintang tampak lebih tinggi dari posisi sebenarnya (untuk benda di dekat horizon, altitude akan naik sekitar 34 menit busur, dan pengaruhnya makin kecil ke arah zenith dan bernilai 0 untuk benda yang berada tepat di Zenith).

Contoh Soal :

Pilot sebuah pesawat terbang berada pada ketinggian 10.000 m dari permukaan laut. Berapa jarak ke horizon yang dapat ia lihat ?

Jawab :

Jarak ke horizon d=3570 $\sqrt{h}$, maka

$$d = 3570\sqrt{10000}$$
$$= \underline{357\ \text{km}}$$