

BAB III
RUBU' AL-MUJAYYAB SEBAGAI ALAT DALAM PENENTUAN
GERHANA

A. Gambaran Umum *Rubu'al-Mujayyab*

Kata *rubu' al-mujayyab* yang dalam bahasa Inggris disebut *sine quadrant*, berasal dari dua kata dalam bahasa Arab yaitu ربع yang berarti seperempat dan مجيب yang berarti diberi sin (sebagai *isim maf'ul* kata جيب mengikuti wazan فعل-تفعيل-مفعول).¹ Penggunaan kata ربع karena bentuk *rubu' al-mujayyab* memang seperempat lingkaran dan مجيب karena dalam bentuk seperempat lingkaran tersebut diberi suatu konstruksi yang dalam tataran praktis teoritis digunakan untuk menghitung nilai sinus.² Sehingga secara bahasa, *rubu' al-mujayyab* adalah suatu benda yang berbentuk seperempat lingkaran yang diberi suatu konstruksi untuk menghitung nilai sinus.

Kata *jiba* dalam bahasa Arab sendiri sebenarnya berasal dari bahasa sanssakerta *jy -a-ardha* atau *jy -a*. Kata ini digunakan oleh orang India untuk menyebut sebuah *actuale length of half chord*, atau yang sekarang ilmuwan matematika menyebutnya *opposite*, sebagai sebuah penjelasan untuk menafsirkan istilah sin. Penafsiran ini berbeda dengan penafsiran

¹ Ahmad Warson Munawir, *Kamus al-Munawir Arab-Indonesia Terlengkap*, Surabaya : Pustaka Prograssif, cet. XIV, 1997, hal. 227.

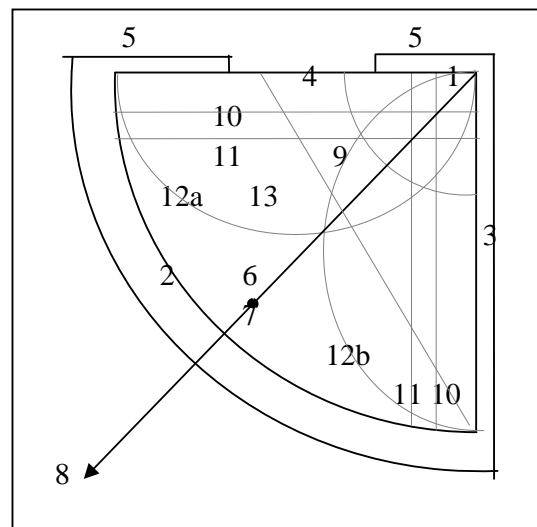
² Sinus adalah istilah pertama kali muncul dalam kajian trigonometri. Sinus juga merupakan acuan perhitungan bentuk trigonometri yang lain seperti cosinus dan tangen. Cosinus adalah singkatan dari complementary sinus (pelengkap sinus) dan tangen adalah hasil bagi antara sinus dengan cosinus. Lihat Steven G. Krantz (ed), *Dictionary of Algebra, Arithmetic, and Trigonometry*, New York : CRC Press, 2001, hal. 39

matematikawan sekarang yang mendefinisikan sin sebagai sebuah hasil bagi antara *half-chord* dengan jari-jari lingkaran.³

Penggunaan kata *Jiba* dalam bahasa Arab untuk menterjemahkan kata *Jya* dalam bahasa Sansakerta dikarenakan ilmuan Arab tidak menemukan padanan katanya dalam bahasa Arab dan menulis kata *Jiba* sebagai kata yang paling dekat dengan kata *Jya*.⁴

Secara lengkap konstruksi *rubu' al-mujayyab* yang sekarang beredar di Indonesia dan menjadi objek penelitian kali ini adalah sebagai berikut:⁵

1. *Al-markaz* (pusat): lubang kecil tempat menempelnya *khaith* .
2. *qausal-irtifa'* (busur berdiri): busur yang melingkar pada *rubu'* dan terbagi kedalam 90 bagian. Masing-masing bagian tersebut bernilai 1 derajat.
3. *Jaib al-tamam* (cosinus): bagian kanan dari *rubu' al-mujayyab* sebagai



Gambar 7 : *Rubu' al-mujayyab*

³length of half chord atau *opposite* adalah setengah garis penghubung antara dua titik dalam sebuah lingkaran atau dalam theorama pythagoras menyebutnya garis depan. Lihat James Tanton, *Encyclopedia of Mathematics*, New York : Facts on File, 2005, hal. 510 – 511.

⁴ Ibid.

⁵ Disarikan dari Maksun bin ali, *al-Durus al-Falakiyah*, Jombang : Sa'id bin Nashir Nabhan wa Auladihi, 1992, hal. 2 dan David A. King, *Islamic Mathematical Astronomy*, London : Varium Reprint, 1986, hal 545 dengan berbagai perubahan.

penghubung *markaz* dengan titik awal *qaus*. Garis-garis menyamping dari *jaib al-tamam* hingga *qausal-irtifa'* disebut *jaib al-mankusat* (garis vertikal).

4. *Al-sittini* (60) bagiankiri dari *rubu' al-mujayyab* sebagai penghubung *markaz* dengan akhir *qaus*. Garis-garis menurun dari *al-sittini* hingga *qausal-irtifa'* disebut *jaib al-mabsuthah* (garis horizontal).
5. *Al-Hadapatain* (2 lubang): dua lubang yang terdapat dalam 2 kotak diatas atas *al-sittini*.
6. *khait* (benang): benang pada *rubu' al-mujayyab* dan menempel pada *markaz*. *Khait* berfungsi sebagai alat bantu perhitungan menggunakan *rubu' al-mujayyab*.
7. *Muri* (penanda): benang pendek yang disusun dan diikatkan pada *khait*.
8. *Syaqul* (Bandul): Bandul yang digunakan sebagai pemberat dan tidak dibutuhkan dalam perhitungan. *Syaqul* berfungsi ketika *rubu' al-mujayyab* dijadikan alat observasi.
9. *Mail al-A'dhom* (deklinasi terjauh): lingkaran kecil pada *Jaib al-tamam*. Tepatnya pada 23,45 pada *al-sittini* dan *jaib al-tamam*. *Mail al-a'dhom* berfungsi sebagai acuan deklinasi terjauh dalam penentuan deklinasi dengan *rubu' al-mujayyab*.
10. *Qamah al-Aqdam* (jari kaki tegak): garis lurus dari *al-sittini* dan *jaib al-tamam* menuju *qausal-irtifa'*. Nilainya pada *al-sittini* dan *jaib al-tamam* adalah 6. Sedangkan nilainya pada *qausal-irtifa'* adalah 6,7. *Qamah al-Aqdam* ini berfungsi untuk menghitung tinggi Matahari waktu ashar.

11. *Qamah al-ashabi'* (Jari tangan tegak): garis lurus dari *al-sittini* dan *jaib al-tamam* menuju *qaus al-irtifa'*. Nilainya pada *al-sittini* dan *jaib al-tamam* adalah 7. Sedangkan nilainya pada *jaib al-tamam* adalah 11,55. *Qamah al-ashabi'* berfungsi dalam penentuan ketinggian suatu benda.
12. *Al-tajib al-Awal* (12a) dan *al-tajib al-tsani* (12b) adalah bentuk setengah lingkaran dari *rubu'* dengan sekala yang lebih kecil, yaitu $\frac{1}{2}$ besar *rubu'* biasa. Perhatikan busur dan nilainya baik pada *al-sittini*. Alat ini berfungsi untuk mempermudah dan mempercepat perhitungan dengan *rubu' al-mujayyab*.
13. *qaus al-Ashr*: secara harfiyah artinya adalah busur waktu. Namun secara penggunaan, penulis belum mengetahuinya.

B. *Rubu' al-Mujayyab* dalam Lintasan Sejarah

Rubu' sebagai alat observasi benda langit, sebelum muncul *rubu' al-mujayyab*, telah dilakukan sejak sekitar abad ke-2 masehi oleh Ptolomeus dan astronom Yunani lainnya. *Rubu'* Ptolomeus terbuat dari papan kayu atau batu dan berbentuk seperempat lingkaran yang terbagi kedalam 90 derajat. Selanjutnya, pada bagian tengah *rubu'* tersedia konstruksi yang memberikan informasi jarak Matahari dihitung dari *zenit* pada garis *meridian*. Dari obeservasi ini, Ptolomeus mampu menentukan waktu dan menentukan ketinggian Matahari pada musim panas maupun dingin. Dari observasi ini juga kemiringan garis edar Matahari dan lintang suatu tempat bisa diketahui.⁶

⁶ R. Darren Stanley, *Quadrant Construction and Application in Western Europe During the Early Renaissance*, Kanada: National Library, 1994, hal.15. baca juga Ahmad Izzuddin, *Ilmu Falak Praktis*, Komala Grafika: Semarang, hal. 32 – 33.

Perkembangan *rubu'* mengalami perkembangan yang cukup pesat pada masa pemerintahan Islam (Abad 5 M – 13 M). Setidaknya, berdasarkan pernyataan David A. King, ada 4 jenis *rubu'*, King lebih sering menyebutnya *quadrant*, yang sangat terkenal di dunia dan kesemuanya adalah penemuan astronom muslim.⁷ Berikut adalah penjelasan singkat mengenai keempat *quadrant* tersebut:

1. *Sine quadrant* atau *sinecal quadrant* atau *rubu' al-mujayyab*. Abu Abdillah Mohammad al-Khwarizmi (w. 840 M) adalah orang yang pertama kali mengetahui deskripsi *sine quadrant* dan mengembangkannya. *Quadrant* ini memuat tabel kecil yang berfungsi menunjukkan waktu dan bujur Matahari.⁸ *Quadrant* jenis ini banyak digunakan oleh astronom muslim dan diletakkan dibelakang atau dikombinasikan dengan astrolabe.

Pada tahun 1333-an Masehi, Muhammad ibn Muhammad al-Mizzi, teman sejawatnya ibn al-Shatir, menciptakan *quadrant* yang bentuknya sama persis dengan *quadrant* yang beredar di Indonesia sekarang. Hanya saja, *quadrant* ini belum dilengkapi dengan قوس العصر.⁹ Menurut Hendro Setyanto, *rubu' al-mujayyab* yang sekarang beredar di Indonesia adalah *rubu' al-mujayyab* buatan ibn al-Shatir (1304-1375 M)¹⁰

⁷ Selanjutnya kata *quadrant* akan lebih sering digunakan dalam klasifikasi ini.

⁸ David A. King, *Astronomy in The Servis of Islam*, London : Varioum, hal. 125 dan 155. Lihat juga M. Viladric, *Medieval Islamic Horary Quadrant for Specific Latitudes and Their Influence on European Tradition*, hal. 287, Usd.proves.ub.edu/.../paper 8.pdf.

⁹ David A. King, *op. cit.*, hal. 109.

¹⁰ Lihat juga Hendro Setyanto, *Petunjuk Penggunaan Rubu' al-mujayyab*, Bandung : Pundak Scientific, hal. 1. Dalam bukunya, Hendro menyebutkan bahwa *rubu'* yang beredar sekarang di Indonesia adalah buatan ibn al-Shatir (abad ke-11). Dalam kebanyakan referensi yang didapat penulis, ibnu al-Shatir hidup pada awal ke-14, yaitu 1300-an. Lihat misalkan W. Hazmy (eds),

2. *Astrolabe quadrant*, nama lainnya *almucantar quadrant* atau *quadrant novus* (sebutan oleh orang Eropa), telah ditemukan astronom Mesir pada abad ke-11 atau ke-12 Masehi. Salah satu orang yang berjasa dalam perkembangan *Astrolabe quadrant* adalah Abu Ali al-Hasan al-Marrakushi (1281-an) di daerah Maroko. Meskipun *quadrant* miliknya memiliki bentuk yang sama dengan astrolabe, namun sedikit lebih sederhana dengan adanya lapisan berisi garis-garis trigonometri dan tabel bujur kalender Matahari di salah satu sisinya dan rangkaian lingkaran yang merepresentasikan altitude. Karya – karya al-Marakushi yang luar biasa sekarang tersimpan di Museum of the History of Science di Oxford, Inggris.¹¹

Ibnu al-Sarraj (1325-an M) juga merupakan salah seorang astronom yang berjasa dalam pengembangan *astrolabe quadrant*. *Quadrant* ini merupakan penyederhanaan dari bentuk astrolabe dan hanya menyediakan data-data untuk lintang tertentu. Di belakang astrolabe *quadrant* sering disediakan *sine quadrant* dan *horary quadrant*. *Quadrant* ini juga mampu memecahkan semua permasalahan yang mampu dipecahkan oleh astrolabe. Astronom Mamluk mengembangkan astrolabe *quadrant* untuk memecahkan berbagai permasalahan astronomi. Hal ini menyebabkan *quadrant* beberapa kali hampir menggantikan astrolabe di Syria, Mamluk (Mesir) , dan Ottoman (Turki).

Biography- Muslim Scholars and Scientist, Negara Sembilan : Islamic Medical Association, hal. vi.

¹¹ David A. King, *Islamic Mathematical Astronomy*, *op. cit.*, hal. 533-540. Informasi selengkapnya mengenai *horary quadrant* bisa di lihat pada M. Viladrich, *op. cit.*

3. *Horary quadrant* atau *quadrant vetus* (sebutan oleh Orang Eropa).
 Quadrant ini berfungsi untuk menunjukkan waktu, terutama waktu shalat. Tulisan mengenai *horary quadrant* pernah muncul pada abad ke-9 Masehi di Bagdad dan dipelihara di Cairo. *Horary quadrant*, seperti halnya *sine quadrant*, sering ditemukan dibelakang astrolabe. Misalnya di belakang astrolabe milik ibn al-Sarraj.¹²
4. *Sakkaziya quadrant* atau *universal quadrant*. *Quadrant* ini sebenarnya pengembangan dari *universal quadrant* yang ditemukan pertama kali oleh Ali Ibn Khalaf al-Shakkaz (abad ke-11) dan ditemukan kembali oleh ibn al-Sarraj (1325-an). *Sakkaziya quadrant* ditemukan oleh Jamal al-Din al-Maridini sekitar tahun 1400 M dan bisa digunakan untuk menyelesaikan berbagai permasalahan astronomi bola di semua tempat. Hal ini menyebabkan *sakkaziya quadrant* disebut juga *universal quadrant*. Adapun nama *sakkaziya* sendiri berasal dari nama penemunya, Ali Ibn Khalaf al-Shakkaz. Tibugha al-Baklamshi adalah salah seorang astronom yang menulis tentang *sakkaziya quadrant*.¹³

Selain berkembang pada masa peradaban Islam, *rubu'* juga berkembang di negara latin bagian barat termasuk Eropa. Millas Vallicrosa pernah menulis mengenai sejarah *quadrant vetus*. Dia juga membuktikan keberadaan *quadrant* tertua di negara latin bagian barat, yang mirip dengan *quadrant vetus*, dan dia menyebutnya *quadrant vetustissimus*.

¹² David A. King, *Astronomy in The Service of Islam*, *op. cit.* hal. 125.

¹³ David A. King, *op. cit.*, *Islamic Mathematical Astronomy*, hal. 544-545 dan David A. King, *Astronomy in The Servis of Islam*, *op. cit.* hal. 125.

Pada *quadrant vetus*, terdapat rangkaian garis parallel (parallel dengan salah satu sisi *quadrant*) yang disusun pada ujung instrument, pada suatu bagian yang berbentuk seperempat lingkaran, dibawah bagian tepi, pada cursor dan pada gambaran ekliptic. Garis-garis ini, menurut Millas Vallicrosa, menunjukkan penggunaan 2 fungsi trigonometri, sinus dan cosinus, untuk beberapa sudut yang berhubungan.

Ada beberapa hal yang membuat *quadrant vetus* menjadi alat yang penting selama abad pertengahan. Kemungkinan terbesarnya adalah bahwa tulisan mengenai *quadrant vetus* digunakan di berbagai universitas sebagai alat pendidikan untuk mengajar matematika, astronomi dan astrologi.

Berbagai tulisan mengenai *quadrant* telah ditulis oleh berbagai astronom di Eropa. Buku pertama muncul sekitar tahun 1140 dengan judul *Practica Geometri*. Buku yang dikarang oleh Hugh ini berisi hal-hal yang berhubungan dengan pengerjaan geometri dan pernyataan bahwa gambaran mengenai bagian paling mendasar *rubu* adalah susunan *rubu'* pada bagian belakang astrolabe, dan aplikasi praktisnya adalah untuk menghasilkan pengukuran altimetri, planimetry, dan stereometry.¹⁴

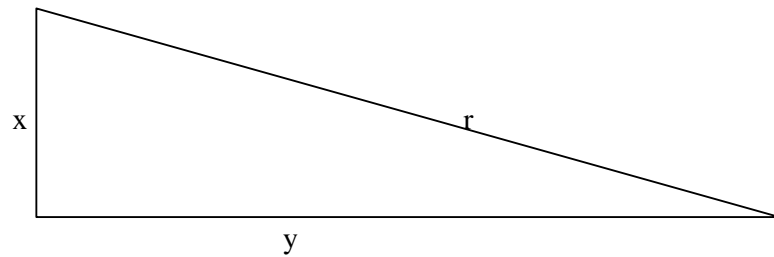
C. Teori Perhitungan *Rubu' al-mujayyab*

Sebagaimana disebutkan sebelumnya bahwa *rubu' al-mujayyab* adalah jenis *rubu'* yang memiliki sebuah konstruksi yang salah satu fungsinya, fungsi utama, adalah membantu perhitungan trigonometri. Oleh karenanya, agar mampu memahami *rubu' al-mujayyab*, maka pertama kali yang harus

¹⁴Selengkapnya bisa dibaca pada Darren Stanlay, *op. cit.*, hal. 14-24.

difahami adalah konsep trigonometri. Berikut adalah pengetahuan paling dasar tentang trigonometri:¹⁵

1. Sin adalah hasil pembagian antara sisi depan (*opposite*) dan sisi miring (*hypotenuse*) $\frac{x}{r}$.
2. Cos adalah hasil pembagian antara sisi samping (*adjacent*) dan sisi miring (*hypotenuse*) $\frac{y}{r}$.
3. Tan adalah hasil pembagian antara sisi depan (*opposite*) dan sisi samping (*adjacent*) $\frac{x}{y}$ atau hasil pembagian dari $\sin \alpha$ dan $\cos \alpha$. Perhatikan gambar berikut:



Gambar 8 : Segitiga *Rubu' al-mujayyab*

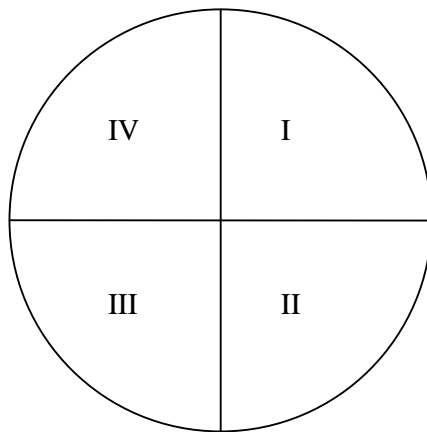
4. Jika dihubungkan dengan struktur *rubu' al-mujayyab*, maka bisa dikatakan x adalah *al-sittini*, y adalah *jaib al-tamam* dan r adalah *khait* jika yang dijadikan awal adalah *awal al-qaus madar al-i'tidalain*.
5. *Rubu'* berbentuk $\frac{1}{4}$ lingkaran, sehingga nilai sudut maksimalnya adalah 90° . Sehingga jika besar sudut = θ , maka berlaku:
 - a. Jika besar sudut antara 0 dan 90, maka besar sudutnya θ .

¹⁵John Bird, *Engineering Mathematics*, Oxford : Elsevier, 2007, hal. 187 - 190. Lihat juga ST. Negoro dan B. Harahap, *Ensiklopedia Matematika*, Bogor Selatan: Ghalia Indonesia, cet. V, 2005, hal. 381-382.

- b. Jika besar sudut antara 90 dan 180, maka besar sudutnya $180 - \theta$.
- c. Jika besar sudut antara 180 dan 270, maka besar sudutnya $180 + \theta$.
- d. Jika besar sudut antara 270 dan 360, maka besar sudutnya $360 - \theta$.

Kemudian jika dikaitkan dengan nilai positif dan negatif pada trigonometri, maka berlaku:

- a. Nilai sin, cos, dan tan yang positif nilainya tetap.
 - b. Nilai $\sin -\theta$ sama dengan $-\sin \theta$.
 - c. Nilai $\cos -\theta$ sama dengan $\cos \theta$.
 - d. Nilai $\tan -\theta$ sama dengan $-\tan \theta$.
6. Dalam trigonometri dikenal juga 4 quadrant yang menunjukkan nilai positif-negatif terhadap sin, cos, dan tan. Perhatikan gambar berikut:



Gambar 9 : Quadrant Lingkaran

- a. Quadrant I ($0-90^\circ$), semua bernilai positif.
- b. Quadrant II ($90, \dots^\circ - 180^\circ$), hanya sin yang bernilai positif
- c. Quadrant III ($180, \dots^\circ - 270^\circ$), hanya tan yang bernilai positif
- d. Quadrant IV ($270, \dots^\circ - 360^\circ$), hanya cos yang bernilai positif.

Perlu dijelaskan di sini bahwa angka pada *qausal-irtifa'* menggunakan derajat, sedangkan pada *al-sittini* dan *jaib al-tamam* menggunakan angka desimal. Namun hal tersebut tidak akan berpengaruh apapun pada perhitungan.

Selanjutnya, perhitungan menggunakan *rubu'* tidak bisa mencakup bilangan sudut yang kurang dari 1 derajat (sangat sulit). Oleh karena itu, perlu diperhatikan juga beberapa hal berikut:

- a. Jika semua bilangan terkait dalam perhitungan < 1 , maka bisa dengan dikalikan angka 10.
- b. Jika dalam perhitungan terdapat campuran antara < 1 dengan ≥ 1 , maka jikasin $\leq 1^\circ = a$ atau $\cos \geq 89^\circ = b$, maka nilai dari kedua sudut tersebut adalah a atau $1 - b$.

Setelah mengetahui pengetahuan dasar diatas, maka berikut adalah aplikasi praktis penggunaan *rubu' al-mujayyab* dalam bidang trigonometri. Adapun metode perhitungan trigonometri dengan *rubu' al-mujayyab* adalah sebagai berikut:¹⁶

1. Mencari nilai trigonometri
 - a. Untuk mencari nilai sin dengan menggunakan *rubu'*, caranya adalah:
 - 1) Letakkan *khaith* pada *qausal-irtifa'* pada nilai derajat yang ingin dicari, misal 30.
 - 2) Lihat nilainya pada *al-sittini*, dalam hal ini adalah 30.

¹⁶ Rumus-rumus ini merupakan rumus-rumus dasar yang akan digunakan dalam perhitungan gerhana pada sub-bab selanjutnya. Sehingga pada praktiknya ketika menghitung gerhana, akan ditemukan beberapa modifikasi rumus menjadi lebih sederhana atau lebih kompleks. Gambar dari beberapa metode ini tersedia di lampiran I.

3) Bagi nilai yang didapat dari *as-sittini*, 30, dengan angka 60.
Hasilnya adalah 0,5.

b. Untuk mencari nilai cos adalah:

1) Letakkan *khaith* pada *qausal-irtifa'* pada nilai derajat yang ingin dicari, misal 30.

2) Lihat nilainya pada *jaib al-tamam*, dalam hal ini adalah 52.

3) Bagi nilai yang didapat dari *as-sittini*, 50, dengan angka 60.
Hasilnya adalah 0,866667

c. Untuk mencari nilai tan adalah:

1) Letakan *khaith* pada *qausal-irtifa'* pada nilai derajat yang ingin dicari, misal 30.

2) Lihat nilainya pada *al-sittini* (30) dan pada *jaib al-tamam* (52).

3) Bagi nilai yang dihasilkan dari *al-sittini* dengan *jaib al-tamam* ($\frac{30}{52}$),
hasilnya adalah 0,576923.

2. Mencari besar sudut dari nilainya

a. $\sin \alpha = 0,65$

$\frac{x}{r} = 0,65$, sedangkan r dalam *rubu'* selalu bernilai 60, maka $\frac{x}{60} = 0,65$.

$$x = 0,65 \cdot 60 = 39.$$

Lihat ujung *jaib al-mabsuthah* ke-39 pada *qausal-irtifa'*, hasilnya 41. Jadi nilai α adalah 41.

b. $\cos \beta = 0,9$

$\frac{y}{r} = \frac{y}{60} = 0,9$. Maka $y = 0,9 \cdot 60 = 54$.

Lihat ujung *jaib al-mankusat* ke-54 pada *jaib al-tamam*, hasilnya 26.

Jadi nilai β adalah 26.

c. $\tan \theta = 0,333333$

$\frac{x}{y} = 0,333333$. Karena x dan y belum diketahui, maka kita misalkan x adalah 10.

$\frac{10}{y} = 0,333333$., maka $y = 10 ; 0,333333 = 30,0003$. Jika dibulatkan hasilnya adalah 30.

Setelah x dan y diketahui, selanjutnya, cari perpotongan antara *jaib al-mabsuthah* ke-10 dengan *jaib al-mankusat* ke-30. Kemudian letakkan *khaith* pada titik perpotongan tersebut dan tarik *khaith* sampai *jaib al-tamam*. Lihat berapa nilai *khaith* tersebut pada *jaib al-tamam*, hasilnya 18,5. Jadi, nilai θ adalah 18,5.

3. Penjumlahan Trigonometri

a. Penjumlahan sinus

Misalkan penjumlahan $\sin 40$ dengan $\sin 70$

1) Lihat nilai *jaib* dari sudut 40 dan 70 yang dihitung dari awal *qaus* pada *al-sittini* (38,37 dan 56,38).

2) Jumlahkan kedua *jaib* tersebut, $38,37 + 56,38 = 94,75$, kemudian bagi hasilnya dengan angka 60, $94,75:60 = 1,579$.

b. Penjumlahan cosinus

Misalkan penjumlahan $\cos 30$ dengan $\cos 30$

1) Lihat nilai *jaib* dari sudut 30 dan 30 yang dihitung dari awal *qaus* pada *jaib al-tamam* (52 dan 52).

- 2) Jumlahkan kedua *jaib* tersebut, $52 + 52 = 104$, kemudian bagi hasilnya dengan angka 60, $104:60 = 1,7333$.

c. Penjumlahan sinus dengan cosinus

Misalkan penjumlahan $\sin 30$ dengan $\cos 40$

- 1) Lihat nilai *jaib* dari sudut 30 dihitung dari awal *qaus* pada *al-sittini* (30).
- 2) Lihat nilai *jaib* dari sudut 40 dihitung dari awal *qaus* pada *jaib al-tamam* (46)
- 3) Jumlahkan kedua *jaib* tersebut, $30 + 46 = 76$, kemudian bagi hasilnya dengan angka 60, $76:60 = 1,267$.

4. Pengurangan Trigonometri

a. Pengurangan sinus

Misalkan pengurangan $\sin 40$ dengan $\sin 30$

- 1) Lihat nilai *jaib* dari sudut 40 dan 30 yang dihitung dari awal *qaus* pada *jaib al-tamam* (38,6 dan 30).
- 2) Jumlahkan kedua *jaib* tersebut, $38,6 - 30 = 8,6$, kemudian bagi hasilnya dengan angka 60, $8,6:60 = 0,143$.

b. Pengurangan cosinus

Misalkan pengurangan $\cos 30 - \cos 50$

- 1) Lihat nilai *jaib* dari sudut 30 dan 50 yang dihitung dari awal *qaus* pada *jaib al-tamam* (52 dan 30).
- 2) Jumlahkan kedua *jaib* tersebut, $52 - 30 = 22$, kemudian bagi hasilnya dengan angka 60, $22:60 = 0,367$.

c. Pengurangan sinus dengan cosinus

Misalkan pengurangan $\sin 20 - \cos 30$

- 1) Lihat nilai *jaib* dari sudut 20 dihitung dari awal *qaus* pada *al-sittini* (20,5).
- 2) Lihat nilai *jaib* dari sudut 30 dihitung dari awal *qaus* pada *jaib al-tamam* (52).
- 3) Jumlahkan kedua *jaib* tersebut, $20 - 52 = -32$, kemudian bagi hasilnya dengan angka 60, $-32:60 = -0,533$.

5. Perkalian Trigonometri

a. Perkalian $\sin (1)$ ¹⁷

Misalkan perkalian antara $\sin 30$ dengan $\sin 60$. Caranya:

- 1) Letakan *khaith* pada nilai 30 pada *jaib al-tamam*. Lihat nilainya pada *al-sittini* (30)
- 2) Tarik *khaith* hingga *al-sittini*, dan letakkan *muri* pada nilai 30 tadi.¹⁸
- 3) Tarik *khaith* hingga sudut 60 dan lihat titik perpotongan antara *muri* dengan *jaib al-mabsuthah* (26). Bagi angka tersebut dengan angka 60. Hasilnya 0,433333.

¹⁷Sebenarnya, rumus perkalian dengan *rubu'* bisa dengan hanya menggunakan *al-sittini* atau *jaib al-tamam* dan cukup diwakili dengan perkalian antara \sin dengan \sin atau \cos dengan \cos karena hubungan keduanya sangat erat yaitu $\sin \alpha = \cos (90 - \alpha)$. Akan tetapi, rumus tersebut tidak menggunakan *al-sittini* dan *jaib al-tamam* secara bersamaan dalam satu rumus. Sedangkan cara yang tertulis diatas menjelaskan secara praktis mengenai perkalian dengan \sin dan \cos dengan menggunakan *al-sittini* dan *jaib al-tamam* secara bersamaan dalam satu rumus. Rumus ini bisa dilihat pada Hendro Setyanto, op. cit., hal. 9.

¹⁸Cara yang lebih mudah adalah dengan menarik *muri* pada *التجيب الاول*.

b. Perkalian sin (2)

Sebagaimana yang telah dijelaskan pada pengetahuan dasar no.1-4, maka akan didapat rumus perkalian:

$$\frac{x_1}{r} \times \frac{x_2}{r} = \frac{x_1 \cdot x_2}{r^2}$$

Misalkan perkalian sin 45 dengan sin 25. Caranya :

Dik:

$$\text{Al-sittini sin 45 (x}_1\text{)} = 42,5$$

$$\text{Al-sittini sin 25 (x}_2\text{)} = 25,5$$

$$\text{khaith (r)} = 60.$$

$$\text{Dit: sin 45 x sin 25 = ...?}$$

Jawab:

$$\frac{x_1 \cdot x_2}{r^2} = \frac{42,5 \cdot 25,5}{60^2} = \frac{1083,75}{3600} = \frac{18,0625}{60} = 0,30104$$

c. Perkalian cos (1)

Misalkan perkalian cos 30 dengan cos 60. Caranya:

- 1) Letakan *khaith* pada nilai 30 pada *qausal-irtifa'*. Lihat hasilnya pada *jaib al-tamam* (52).
- 2) Tarik *khaith* hingga *jaib al-tamam*, dan letakkan *muri* pada nilai 52 tadi.¹⁹
- 3) Tarik *khaith* hingga sudut 60 dan lihat titik perpotongan antara *muri* dengan *jaib al-mankusat* pada *jaib al-tamam* (26). Bagi angka tersebut dengan angka 60. Hasilnya 0,433333.

¹⁹Cara yang lebih mudah adalah dengan menarik *muri* pada التجيب الثانى.

d. Perkalian cos (2)

Rumus:

$$\frac{y_1}{r} \times \frac{y_2}{r} = \frac{y_1 \cdot y_2}{r^2}$$

Misalkan perkalian cos 28 dengan cos 43. Caranya:

Dik:

$$\text{Jaib al-tamam cos 28 (y1) = 53}$$

$$\text{Jaib al-tamam cos 43 (y2) = 44}$$

$$\text{khaith (r) = 60}$$

$$\text{Dit : cos 28 x cos 43 =?}$$

Jawab:

$$\frac{y_1 \cdot y_2}{r^2} = \frac{53 \cdot 44}{60^2} = \frac{2332}{3600} = \frac{38,8667}{60} = 0,647777.$$

e. Perkalian sin dengan cos (I)

Misalkan perkalian sin 50 dengan cos 15

- 1) Letakan *khaith* pada nilai 50 pada *jaib al-tamam*. Lihat nilainya pada *al-sittini* (46).
- 2) Tarik *khaith* hingga *al-sittini*, dan letakkan *muri* pada nilai 46 tadi.²⁰
- 3) Tarik *khaith* hingga sudut 15° dan lihat titik perpotongan antara *muri* dengan *jaib al-mankusat* (44,6). Bagi angka tersebut dengan angka 60. Hasilnya 0,743333.

f. Perkalian cos dengan sin

Misalkan perkalian cos 15 dengan sin 80.

²⁰Cara yang lebih mudah adalah dengan menarik *muri* pada التجيب الاول.

- 1) Letakan *khaith* pada nilai 15 pada *jaib al-tamam*. Lihat hasilnya pada *jaib al-tamam* (58).
- 2) Tarik *khaith* hingga *jaib al-tamam*, dan letakkan *muri* pada nilai 58tadi.²¹
- 3) Tarik *khaith* hingga sudut 80 dan lihat titik perpotonngan antara *muri* dengan *jaib al-mabsuthah* (57). Bagi angka tersebut dengan angka 60. Hasilnya 0,95.

g. Perkalian tan

Hal yang perlu diingat dalam perkalian tan nilai sudutnya didapat dari titik pertemuan antara *jaib al-mabsuthah* dengan *jaib al-mankusat* kemudian lihat berapa sudutnya pada *jaib al-tamam*.

Rumus:

$$\frac{x_1}{y_1} \times \frac{x_2}{y_2} = \frac{x_1 \cdot x_2}{y_1 \cdot y_2}$$

Misalkan tan 20 x tan 30.

Dik:

$$\text{Al-sittini}20 (x1) = 20$$

$$\text{Jaib al-tamam } 20 (y1) = 55$$

$$\text{Al-sittini}30 (x2) = 30$$

$$\text{Jaib al-tamam } 30 (y2) = 52$$

Dit:

$$\text{Tan } 20 \times \text{tan } 30 = \dots?$$

$$\frac{x_1 \cdot x_2}{y_1 \cdot y_2} = \frac{20 \cdot 30}{55 \cdot 52} = \frac{600}{2860} = 0, 20979.$$

²¹Cara yang lebih mudah adalah dengan menarik *muri* pada التجيب الثانى.

h. Perkalian sin dengan tan

Misal $\sin 30 \times \tan 40$

- 1) Tarik *khaith* ke sudut 40 dihitung dari akhir *qaus*.
- 2) Geser *muri* hingga mencapai *jaib al-mabsuthah* dari sudut 30 dihitung dari awal *qaus*, 3,22
- 3) Lihat perpotongan antara *muri* dengan *jaib al-mankusat*, hasilnya 25.
- 4) Bagi angka tersebut dengan angka 60, hasilnya 0,418333.

i. Perkalian cos dengan tan

Misalkan perkalian $\cos 40$ dengan $\tan 30$.

- 1) Tarik *khaith* hingga ke sudut 30 dihitung dari akhir *qaus*
- 2) Geser *muri* hingga mencapai *jaib al-mabsuthah* dari sudut 40 dihitung dari akhir *qaus*
- 3) Lihat perpotongan antara *muri* dengan *jaib al-mankusat*, 26,5.
- 4) Bagi angka tersebut dengan angka 60, hasilnya 0,441666667.

6. Pembagian Trigonometri

a. Pembagian sin

Misalnya $\sin 30$ dibagi $\sin 60$, caranya:

- 1) Letakkan *khaith* pada sudut 60, lihat nilainya pada *al-sittini* (52).
- 2) Tarik *khaith* hingga *al-sittini* dan tempatkan *muri* pada angka 52.
- 3) Cari nilai sudut 30 pada *al-sittini* (30).

²²Jika *muri* dirasa menghalangi, geserkan *muri* dan lihat perpotongan antara *khaith* dengan *jaib al-mabsuthah* dari sudut 30. Kemudian, tarik garis dari perpotongan tersebut hingga *jaib al-tamam* dan lihat nilainya.

- 4) Tarik *khaith* hingga *muri* berpotongan dengan *jaib al-mabsuthah* ke-30, hasil dari sin 30, dan lihat berapa sudutnya (35).
- 5) Lihat nilai *jaib* dari sudut 35, 34,4
- 6) Bagi angka tersebut (34,4) dengan 60. Hasilnya 0,573333.

b. Pembagian sin

Rumus:

$$\frac{x_1}{r} : \frac{x_2}{r} = \frac{x_1 \cdot r}{x_2 \cdot r} = \frac{x_1}{x_2}$$

Misalkan sin 40 dibagi sin 50.

Dik;

$$\text{Al-sittinisin } 40 (x_1) = 38,5$$

$$\text{Al-sittinisin } 50 (x_2) = 46.$$

Dit: sin 40 : sin 50 =?

$$\frac{x_1}{x_2} = \frac{38,5}{46} = 0,836956.$$

c. Pembagian cos

Pembagian dengan cos sama dengan pembagian dengan sin, namun nilai yang digunakan adalah dari *jaib al-tamam* bukan *al-sittini* sebagaimana dalam pembagian sin. Bisa juga menggunakan nilai dari *jaib al-sittini*, akan tetapi setiap sudut dihitung dari akhir *qaus*. Misal cos 40: cos 30:

- 1) Letakkan *khaith* pada sudut 30, lihat nilainya pada *jaib al-tamam* (52).
- 2) Tarik *khaith* hingga *al-sittini* dan tempatkan *muri* pada angka 52.
- 3) Cari nilai sudut 40 pada *jaib al-tamam* (46).

- 4) Tarik *khaith* hingga *muri* berpotongan dengan *jaib al-mankusat* ke-46, hasil dari $\cos 40$, dan lihat berapa sudutnya (27,8)
- 5) Lihat nilai *jaib* dari 27,8 (53).
- 6) Bagi angka tersebut (53) dengan angka 60. Hasilnya 0,83333333.

d. Pembagian \cos

Rumus

$$\frac{y_1}{r} : \frac{y_2}{r} = \frac{y_1 \cdot r}{y_2 \cdot r} = \frac{y_1}{y_2}$$

Misalkan $\cos 50$ dibagi $\cos 40$.

Dik:

$$\text{Jaib al-tamam } \cos 50 (y_1) = 38,5$$

$$\text{Jaib al-tamam } \cos 40 (y_2) = 46$$

$$\text{Dit: } \cos 50 : \cos 40 = \dots?$$

Jawab:

$$\frac{y_1}{y_2} = \frac{38,5}{46} = 0,836956.$$

e. Pembagian \tan

Rumus:

$$\frac{x_1}{y_1} : \frac{x_2}{y_2} = \frac{x_1 \cdot y_2}{x_2 \cdot y_1}$$

Misalkan $\tan 30$ dibagi $\tan 60$.

Dik:

$$\text{Al-sittini } 30 (x_1) = 30$$

$$\text{Jaib al-tamam } 30 (y_1) = 52$$

$$\text{Al-sittini } 60 (x_2) = 52$$

Jaib al-tamam 60 (y_2) = 30

Dit; $\tan 30 : \tan 60 = \dots\dots?$

Jawab:

$$\frac{x_1 \cdot y_2}{x_2 \cdot y_1} = \frac{30 \cdot 30}{52 \cdot 52} = \frac{900}{2704} = 0,33284$$

f. Pembagian sin dengan \tan ²³

Misal sin 30 dibagi tan 50

- 1) Tarik *khait* hingga mencapai angka 50 pada *qausal-irtifa'* dihitung dari awal *qaus*.
- 2) Lihat *jaib al-mabsuthah* dari sudut 30 dihitung dari awal *qaus* (30).
- 3) Lihat perpotongan antara *jaib al-mabsuthah* tadi dengan *khait* pada *jaib al-mankusat* (25,17), kemudian lihat nilainya pada *jaib al-tamam* dan bagi dengan angka 60, hasilnya 0,4195.

g. Pembagian cos dengan \tan ²⁴

Misal cos 50 dibagi tan 50

- 1) Tarik *khait* hingga mencapai angka 50 pada *qausal-irtifa'* dihitung dari awal *qaus*.
- 2) Lihat *jaib al-mabsuthah* dari sudut 50 dihitung dari akhir *qaus*.
- 3) Lihat perpotongan antara *jaib al-mabsuthah* tadi dengan *khait* pada *jaib al-mankusat* (32,36), kemudian lihat nilainya pada *jaib al-tamam* dan bagi dengan angka 60, hasilnya 0,539333.

²³Untuk pembagian antara sin dengan tan, sudut sin tidak boleh lebih dari 90 – sudut tan. Misal pada pembagian dengan tan 30, sudut sin harus ≤ 60 .

²⁴Untuk pembagian antara cos dengan tan, sudut cos tidak boleh kurang dari sudut tan. Misal pada pembagian dengan tan 20, maka sudut cos harus ≥ 20 .

D. Perhitungan *Rubu' al-Mujayyab* dalam Penentuan Gerhana bulan

Setelah mengetahui konsep perhitungan *rubu' al-mujayyab*, pada sub-bab ini akan dibahas mengenai perhitungan *rubu' al-mujayyab* dalam penentuan gerhana.²⁵

Pertama adalah penentuan gerhana matahari. Adapun langkah-langkah perhitungan gerhana matahari dengan *rubu' al-mujayyab* adalah sebagai berikut:

1. Menghitung kemungkinan terjadinya gerhana berdasarkan tabel kemungkinan terjadinya gerhana dengan langkah-langkah sebagai berikut:
 - a. Mengambil data dari tabel A (tahun majmu'ah) berdasarkan kelompok tahunnya, yaitu per 30 tahun.
 - b. Mengambil data dari tabel B (tahun mabsuthah), yaitu antara 0 – 30.
 - c. Mengambil data dari tabel C (data Bulan) berdasarkan Bulan yang dimaksud.
 - d. Jumlahkan ketiga data tersebut. Jika hasilnya lebih dari 360, maka harus dikurangi 360 sampai bernilai antara 00° s/d 360° .
 - e. Gerhana matahari kemungkinan terjadi apabila hasil penjumlahannya sebagai berikut:
 - 1) Antara 00° s/d 020°
 - 2) Antara 159° s/d 190°

²⁵ Langkah-langkah ini berdasarkan rumus-rumus Muhiyiddin Khazin yang telah dibahas pada bab II. Langkah-langkah ini juga hanya bisa dilakukan apabila nilai data yang tersedia lebih dari 1. Jika kurang dari 1, maka perhitungan dilakukan dengan menggunakan langkah-langkah lain pada sub bab sebelumnya yang dirasa memadai.

- 3) Antara 348° s/d 360°
2. Melakukan konversi penanggalan dari penanggalan Hijriyah ke penanggalan Masehi dari kemungkinan gerhana sebelumnya.²⁶
 3. Menyiapkan data astronomis untuk tanggal hasil konversi tersebut. Dalam hal ini, penulis menggunakan data ephemeris dari Win Hisab 2-96.
 4. Mencari FIB (Fraction Illumination Bulan) terkecil dan mencocokkannya dengan ketentuan dalam kitab *al-Khulashah al-Wafiyah*, yaitu :²⁷
 - a. Jika harga mutlak *Lintang Bulan* lebih besar dari $1^\circ 32' 02''$ maka tidak terjadi gerhana matahari
 - b. Jika harga mutlak *Lintang Bulan* lebih kecil dari $1^\circ 24' 10''$ maka pasti terjadi gerhana matahari
 - c. Jika harga mutlak *Lintang Bulan* lebih kecil dari $1^\circ 32' 02''$ dan lebih besar dari $1^\circ 24' 10''$ maka ada kemungkinan terjadi gerhana matahari
 5. Menghitung *Sabaq Matahari*/سبق الشمس (B_1) yaitu selisih antara ELM pada FIB terkecil dengan ELM pada satu jam berikutnya.²⁸
 6. Menghitung *Sabaq Bulan* / سبق القمر (B_2) yaitu selisih antara ALB pada FIB terkecil dengan ALB sesudahnya.²⁹

²⁶Karena gerhana matahari selalu terjadi pada akhir Bulan, maka konversi penanggalan pun berdasarkan tanggal terakhir Bulan Hijriyah, yaitu 29 pada Bulan tersebut.

²⁷Zubair Umar Al-Jaelani, *Op. Cit.*, HAL . 151

²⁸Jika FIB terkecil terjadi pada jam 24 maka satu jam berikutnya adalah jam 01 pada hari berikutnya

²⁹Jika FIB terkecil terjadi pada jam 24 maka satu jam berikutnya adalah jam 01 pada hari berikutnya

7. Menghitung *Jarak Matahari dan Bulan* (MB) yaitu ELM pada FIB terksecil dikurangi ALB pada FIB terkecil.
8. Menghitung *Sabaq Bulan Mu'addal* / سبق القمر المعدل (SB) yaitu $B_2 - B_1$.
9. Menghitung *Titik Ijtima'* / نقطة الاجتماع (TI) yaitu hasil pembagian antara MB dengan SB'
10. Menghitung *Waktu Ijtima' Pertama* / ساعة الاجتماع الاولى (Ijt 1) yaitu hasil penjumlahan antara waktu FIB dengan titik Ijtima' (TI)'.
 - a. *Semi Diameter Bulan* / نصف القطر القمر (SD_c) pada kolom Semi Diameter Bulan
 - b. *Horizontal Parallaks Bulan* / اختلاف منظر القمر (HP_c) pada kolom Horizontal Parallaks Bulan
 - c. *Lintang Bulan* / عرضالقمر (L_c) pada kolom Apparent Latitude Bulan
 1. Jika nilai *Lintang Bulan* (L_c) positif (+) dan harganya lebih besar dari 00° 31' maka gerhana matahari hanya dapat terlihat dari sekitar daerah utara equator Bumi
 2. Jika nilai *Lintang Bulan* (L_c) negatif (-) dan harganya lebih kecil dari -00° 31' maka gerhana matahari hanya dapat terlihat dari sekitar daerah selatan equator Bumi

3. Jika nilai *Lintang Bulan* (L_c) lebih kecil dari $00^\circ 31'$ maka gerhana matahari hanya dapat terlihat dari sekitar daerah equator Bumi
 - d. *Semi Diameter Matahari* / نصف القطر الشمس (SD_o) pada kolom Semi Diameter Matahari
 - e. *Obliquity* / ميل الكلي (Obl) pada kolom True Obliquity Matahari
 - f. *Equation Of Time* / تعديل الوقت (e) pada kolom Equation Of Time Matahari
12. Menghitung *Meredian Pass* / الخط الزوال (MP) yaitu jam 12 dikurangi Equation of Time.
 13. Menghitung *Waktu Ijtima' Kedua* / الوقت الاجتماع الثاني (Ijtima' 2) yaitu ijtima' 1 ditambah hasil pembagian bujur tempat dengan angka 15.
 14. Menghitung *Jarak Ijtima'* / اختلاف الاجتماع (JI), yaitu selisih antara MP dengan Ijtima'2 dikalikan 15.
 15. Menghitung *Asyir Pertama* / العاشر الاول (A_1), yaitu hasil pengurangan ELM dengan JI (jika $JI <$ dari MP) atau penjumlahan antara ELM dengan JI (jika $JI >$ MP).
 16. Menghitung *Mail Asyir Pertama* / الميل العاشر الاول (MA_1) dengan cara:
 - a. Letakkan *muri* pada *Mail al-A'dham*.
 - b. Geser *khaith* hingga mencapai nilai A_1 pada *qausal-irtifa'*.

- c. MA_1 adalah nilai pada *qausal-irtifa'* dari perpotongan antara *muri* dengan *jaib al-mabsuthah*.
17. Menghitung *Irtifa' Asyir Pertama*/ارتفاع العاشر الاول (IA_1), yaitu hasil pengurangan angka 90 dikurangi selisih antara MA_1 dengan lintang tempat (ϕ)
18. Menghitung *Sudut Pembantu* (SP)
- Letakan *khaith* hingga mencapai nilai SB pada *jaib al-tamam*.
 - Tarik *khaith* hingga *al-tajib al-awal*.
 - Tarik *khaith* hingga sudut MA_1 dan lihat titik perpotongan antara *muri* dengan *jaib al-mankusat, qausal-irtifa'*.
 - Letakan *khaith* hingga mencapai nilai HP_c pada *jaib al-tamam*.
 - Tarik *khaith* hingga *al-tajib al-awal*.
 - Tarik *khaith* hingga sudut IA_1 dan lihat titik perpotongan antara *muri* dengan *jaib al-mabsuthah*, kemudian lihat nilainya pada *qausal-irtifa'*.
 - Letakkan *khaith* hingga mencapai sudut dari poin (f).
 - Tarik *khaith* hingga *al-tajib al-tsani*.
 - Cari nilai sudut dari poin (c) pada *al-sittini*.
 - Tarik *khaith* hingga *muri* berpotongan dengan *jaib al-mankusat* dari hasil pada poin (i).
 - Lihat nilai sudut yang ditunjukkan oleh *khaith* berdasarkan perpotongan tersebut pada *qausal-irtifa'* dihitung dari akhir *qaus* atau 90° dikurangi sudut jika sudut dihitung dari awal *qaus*.

19. Menghitung *Sabaq Muaddal Wasath* / سبق المعدل الوسط (SBW) dengan cara:
- Letakkan *khaith* pada sudut SP.
 - Tarik *muri* hingga *al-tajib al-awal*.
 - Cari nilai sudut JI pada *al-sittini*.
 - Tarik *khaith* hingga *muri* berpotongan dengan *jaib al-mabsuthah* dari hasil pada poin (c).
 - Lihat nilai sudut yang ditunjukkan oleh *khaith* pada *qausal-irtifa'*.
 - Nilai SBW adalah hasil dari poin e pada *al-sittini* dibagi 60.
20. Menghitung *Waktu tengah gerhana* / ساعة الوسط الكسوف (Tgh), yaitu Ijtima' 2 dikurangi SBW (jika Ijtima' 2 lebih kecil dari MP) atau Itima' 2 ditambah SBW (jika Ijtima' 2 lebih besar dari MP).
21. Menghitung *Jarak Gerhana* / اختلاف الكسوف (JG), yaitu selisih MP dengan Tgh, dikalikan 15.
22. Menghitung *Asyir Kedua* / العاشر الثاني (A_2), yaitu hasil pengurangan antara ELM dengan JG (Jika Tgh lebih kecil dari MP) atau hasil penjumlahan antara ELM dengan JG (Jika Tgh lebih besar dari MP).
23. Menghitung *Mail Asyir kedua* / ميل العاشر الثاني (MA_2) dengan cara:
- Letakkan *muri* pada *Mail al-A'dham*.
 - Geser *khaith* hingga mencapai nilai A_2 pada *qausal-irtifa'*.
 - MA_1 adalah nilai pada *qausal-irtifa'* dari perpotongan antara *muri* dengan *jaib al-mabsuthah*.

24. Menghitung *Irtifa' Asyir kedua* / ارتفاع العاشر الثاني (IA_2), yaitu 90 dikurangi selisih antara MA_2 dengan ϕ .

25. Menghitung *Ardlu Iqlimir Rukyay* / عرض الاقليم الرؤية (AIR), 90 dikurangi IA_2 .

Catatan;

Jika MA_2 lebih kecil 0 dan Φ lebih besar 0 maka $AIR = AIR$

Jika MA_2 lebih besar 0 dan Φ lebih kecil 0 maka $AIR = - AIR$

Jika MA_2 lebih besar 0 dan Φ lebih besar 0 maka;

Jika $[MA_2]$ lebih besar $[\Phi]$ maka $AIR = - AIR$

Jika $[MA_2]$ lebih kecil $[\Phi]$ maka $AIR = AIR$

Jika MA_2 lebih kecil 0 dan Φ lebih kecil 0 maka;

Jika $[MA_2]$ lebih besar $[\Phi]$ maka $AIR = AIR$

Jika $[MA_2]$ lebih kecil $[\Phi]$ maka $AIR = - AIR$

26. Menghitung *Ikhtilaful Ardli* / اختلاف العرض (IkA) dengan cara:

- a. Letakan *khaith* hingga mencapai nilai IA_2 pada *jaib al-tamam*.
- b. Tarik *khaith* hingga *tajib al-tsani*.
- c. Tarik *khaith* hingga sudut $0^{\circ}51'22''$ dan lihat titik perpotongan antara *muri* dengan *jaib al-mabsuthah*. Kemudian lihat hasilnya pada *qausal-irtifa'*.

Catatan;

Jika AIR lebih besar 0 maka $I_{kA} = - I_{kA}$

Jika AIR lebih kecil 0 maka $I_{kA} = I_{kA}$

27. Menghitung *Ardlul Qamar Mar'I* / عرض القمر المرئ (L_c'), yaitu nilai mutlak penjumlahan antara L_c dengan I_{kA} .

Catatan;

Jika L_c' lebih besar 0 maka $L_c' = L_c'$

Jika L_c' lebih kecil 0 maka $L_c' = - L_c'$

Jika $L_c' = 0$ maka Gerhana dimulai dari arah barat

Jika $L_c' > 0$ maka Gerhana dimulai dari arah barat laut

Jika $L_c' < 0$ maka Gerhana dimulai dari arah barat daya

Jika $L_c' > (SD_o + SD_c)$ maka tidak terjadi Gerhana

Jika $L_c' < (SD_o + SD_c)$ maka;

Jika $SD_c < (SD_o + L_c')$ maka terjadi gerhana sebagian

Jika $SD_c > (SD_o + L_c')$ maka terjadi Gerhana Total

Jika $SD_o < (SD_c + L_c')$ maka terjadi Gerhana Cincin

Jika $L_c' = 0$ dan $SD_o = SD_c$ maka terjadi Gerhana Total beberapa detik saja

28. Menghitung *Al Jam'u* / الجمع (J), yaitu nilai mutlak dari penjumlahan antara SD_c , SD_o , dan nilai mutlak L_c' .

29. Menghitung *al-Baqi* / الباقي (B), yaitu nilai mutlak dari penjumlahan antara SD_c dengan SD_o dikurangi nilai mutlak L_c'
30. Menghitung *Daqaiqul Kusuf* / دقائق الكسوف (DK), yaitu akar dari perkalian antara J dengan B.
31. Menghitung *Sabaq Mu'addal* / السبق المعدل (SM), yaitu SB dikurangi $00^\circ 11' 48''$
32. Menghitung *Sa'atus Suquth* / ساعة السكوت (SS), yaitu hasil pembagian antara DK dengan SM.
33. Menghitung waktu *Mulai Gerhana* / ابتداء الكسوف (MG), yaitu Tgh dikurangi SS.
34. Menghitung *Selesai Gerhana* / اخر الكسوف (SG), yaitu Tgh ditambah SS.

Catatan;

Gerhana matahari akan terlihat pada siang hari saja sehingga jika mulai gerhana (MG) lebih besar dari pada waktu terbenam Matahari atau selesai gerhana (SG) lebih kecil dari pada waktu terbit Matahari di suatu tempat maka gerhana matahari tidak dapat dilihat dari tempat tersebut.

35. Menghitung *Lebar Gerhana* / اصابع الكسوف (LG), yaitu B dibagi $\frac{1}{2} SD_o$ dikalikan 100%. Jika ingin mengetahui LG dalam ukuran jari, maka kalikan hasilnya dengan angka 12.

LG' ini dijadikan parameter warna gerhana matahari jika nilainya;

0.333 s/d 1.000 maka warna gerhana kuning keputih-putihan

- 1.000 s/d 1.750 maka warna gerhana kekuning-kuningan
- 1.750 s/d 2.167 maka warna gerhana kelabu kebiru-biruan
- 2.167 s/d 3.667 maka warna gerhana kelabu
- 3.667 s/d 4.667 maka warna gerhana debu kelabu
- 4.667 s/d 5.833 maka warna gerhana kedebuan
- 5.833 s/d 7.000 maka warna gerhana debu kekuning-kuningan
- 7.000 s/d 8.333 maka warna gerhana debu kemerah-merahan
- 8.333 s/d 9.667 maka warna gerhana debu kebiru-biruan
- 9.667 s/d 10.83 maka warna gerhana debu kehitam-hitaman
- > 10.83 maka warna gerhana hitam suram

Catatan;

Jika gerhana matahari sebagian maka perhitungan berikutnya tidak perlu dilakukan.

36. Menghitung *Saa'atul Muktsi* / ساعة المكث (SMk), yaitu nilai mutlak pengurangan 12 dengan LG', dibagi 15.
37. Menghitung *Mulai Total* / ابتداء الكسوف الكلي (MT), yaitu Tgh dikurangi SMk.
38. Menghitung *Selesai Total* / اخر الكسوف الكلي (ST), yaitu Tgh ditambah SMk.

39. Mengambil Kesimpulan dari hasil perhitungan dengan hasil sebagai berikut;

- a. Waktu terjadinya gerhana (Hari, Tanggal, Bulan, dan Tahun)
- b. Mulai Gerhana
- c. Mulai Total (bila terjadi gerhana total)
- d. Selesai Total (bila terjadi gerhana total)
- e. Selesai Gerhana
- f. Ukuran Gerhana dengan Jari
- g. Warna Gerhana

Kedua adalah perhitungan gerhana bulan. Adapun untuk menghitung gerhana bulan dengan *rubu' al-mujayyab*, langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

1. Menghitung kemungkinan terjadinya gerhana berdasarkan tabel kemungkinan terjadinya gerhana dengan langkah-langkah sebagai berikut:
 - a. Mengambil data dari tabel A (tahun majmu'ah) berdasarkan kelompok tahunnya, yaitu per 30 tahun.
 - b. Mengambil data dari tabel B (tahun mabsuthah), yaitu antara 0 – 30.
 - c. Mengambil data dari tabel C (data Bulan) berdasarkan Bulan yang dimaksud.
 - d. Jumlahkan ketiga data tersebut. Jika hasilnya lebih dari 360, maka harus dikurangi 360 sampai bernilai antara 00° s/d 360° .

- e. Gerhana matahari kemungkinan terjadi apabila hasil penjumlahannya sebagai berikut:
- 4) Antara $000^{\circ} - 014^{\circ}$
 - 5) Antara $165^{\circ} - 194^{\circ}$
 - 6) Antara $345^{\circ} - 360^{\circ}$
2. Melakukan perhitungan konversi tanggal dari Hijriyah ke Masehi, yaitu tanggal 15 dari Bulan yang dimungkinkan terjadinya gerhana.
 3. Menyiapkan data Ephemeris berdasarkan konversi di atas.
 4. Melacak FIB terbesar pada kolom *Fraction Illumination* Bulan. Periksa pada jam berapa waktu Greenwichnya.³⁰ Periksa sekali lagi adanya kemungkinan terjadi gerhana bulan, yaitu dengan melihat nilai atau harga mutlak *Lintang Bulan* (pada kolom *Apparent Latitude* Bulan) berdasarkan ketentuan dalam kitab *al-Kulashah al-Wafiyah*.³¹
 - a. Jika harga mutlak *Lintang Bulan* $> 1^{\circ} 05' 07''$, maka tidak terjadi gerhana.
 - b. Jika harga mutlak *Lintang Bulan* $< 1^{\circ} 00' 24'$, maka pasti terjadi gerhana.
 - c. Jika harga mutlak *Lintang Bulan* $< 1^{\circ} 5' 7''$ dan $> 1^{\circ} 00' 24'$, maka mungkin terjadi gerhana.

³⁰Perhatikan *Fraction Illumination Bulan* (FIB). Jika tidak menemukan angka paling besar, maka lihat tanggal sebelum atau sesudahnya.

³¹Zubair Umar al-Jaelani, *Op. Cit.*, hal. 141.

5. Menghitung *Sabaq Matahari* / سبق الشمس (B_1), yaitu selisih antara ELM pada jam FIB terbesar dengan ELM satu jam berikutnya.³²
6. Menghitung *Sabaq Bulan* / سبق القمر (B_2) yaitu selisih antara *Apparent Longitude* Bulan (ALB) pada jam FIB terbesar dengan ELB satu jam berikutnya.
7. Menghitung jarak Matahari dan Bulan (MB), yaitu hasil pengurangan antara ELM dengan ALB dikurangi 180° (data ELM dan ALB pada jam FIB terbesar).
8. Menghitung *Sabaq Bulan Mu'dal* / سبق القمر المعدل (SB) yaitu B_2 dikurangi B_1 .
9. Menghitung *Titik Istiqbal* / نقطة الاستقبال (TI) yaitu MB dibagi SB.
10. Menghitung *Waktu Istiqbal* / ساعة الاستقبال (WI) yaitu hasil penjumlahan antara waktu FIB terbesar dengan TI dikurangi 1 menit 49,29 detik.
11. Mencari data yang dibutuhkan dari tabel ephemeris untuk perhitungan selanjutnya.
 - a. *Semi Diameter Bulan* / نصف القطر القمر (SD_c) pada kolom *Semi Diameter Bulan*.
 - b. *Horizontal Parallax Bulan* / اختلاف منظر القمر (HP_c) pada kolom *Horizontal Parallax Bulan*.
 - c. *Lintang Bulan* / عرض القمر (L_c) pada kolom *Apparent Latitude Bulan*.
 - d. *Semi Diameter Matahari* / نصف القطر الشمس (L_o) pada kolom *Semi Diameter Matahari*.

³²Jika FIB terbesar terjadi pada jam 24, maka jam berikutnya adalah jam 1 pada tanggal berikutnya.

- e. *Jarak Bumi* (JB) pada kolom *True Geocentric Distance*.
12. Menghitung *Horizontal Parallaks Matahari* / اختلاف منظر القمر (HP_o) dengan cara:³³
- Letakkan *khait* hingga sudut 8,794”.
 - Tarik hingga *al-sittini*, lihat nilainya.
 - Bagi hasil dari poin (b) dengan nilai JB. Letakkan hasilnya pada *al-sittini*.
 - Lihat pertemuan *jaib al-mabsuthah* dari poin (c) pada *qausal-irtifa’*.
13. Menghitung jarak Bulan dari titik simpul (H) dengan cara:
- Letakkan *khaith* hingga angka 5 pada *jaib al-tamam*.
 - Tarik *khaith* hingga *al-tajib al-awal*.
 - Cari nilai sudut dari L_C pada *al-sittini*.
 - Tarik *khaith* hingga *muri* berpotongan dengan *jaib al-mabsuthah* dari hasil pada poin (c).
 - Lihat nilai sudut yang ditunjukkan oleh *khaith* pada *qausal-irtifa’*.
14. Menghitung *Lintang Bulan* maksimum terkoreksi (U) dengan rumus:
- Letakkan *khaith* hingga mencapai nilai L_c pada *qausal-irtifa’*.
 - Tarik *khaith* hingga *tajib al-tsani*.
 - Tarik *khaith* hingga sudut H dan lihat titik perpotongan antara *muri* dengan *jaib al-mabsuthah*. Kemudian lihat hasilnya pada *qausal-irtifa’*.
 - Geser *muri* hingga *al-tajib al-awal*.

³³Karena ukuran sudut terlalu kecil dan bilangan pengalinya ≈ 1 , maka HP_o bisa dianggap tetap.

- e. Lihat nilai dari sudut L_c pada *al-sittini*.
 - f. Tarik *khait* dari posisi (c) hingga *muri* menyentuh *jaib al-mabsuthah* dari poin (e).
 - g. Lihat nilainya pada *qausal-irtifa'* berdasarkan perpanjangan *khait* dari pertemuan antara *muri* dengan *jaib al-mabsuthah* pada poin (f).
 - h. Lihat nilai dari poin (g) yang dihitung dari akhir *qauspada jaib al-tamam* .
 - i. Kemudian lihat perpotongan antara *jaib al-mabsuthah* dari poin (e) dengan *jaib al-mankusat* dari poin (h).
 - j. Perpanjangan *khait* dari titik perpotongan pada poin (i) adalah nilai dari U.
15. Menghitung *Lintang Bulan* minimum terkoreksi (Z) dengan rumus:
- a. Letakkan *khaith* hingga mencapai nilai U pada *jaib al-tamam*.
 - b. Geser *muri* hingga *al-tajib al-awal*.
 - c. Tarik *khaith* hingga sudut H dan lihat titik perpotongan antara *muri* dengan *jaib al-mabsuthah*. Kemudian lihat nilainya pada *qausal-irtifa'*.
16. Menghitung koreksi kecepatan Bulan relatif terhadap Matahari (K) dengan rumus:
- a. Letakkan *khait* pada sudut L_c
 - b. Geser *muri* hingga *al-tajib al-tsani*.
 - c. Cari nilai sudut U pada *jaib al-tamam*.

- d. Tarik *khaith* hingga *muri* berpotongan dengan *jaib al-mankusat* dari poin (c).
 - e. Lihat nilai perpanjangan *khait* pada *qausal-irtifa'*, kemudian lihat nilainya pada *jaib al-tamam*.
 - f. Kalikan hasilnya dengan SB, kemudian dibagi 60.
17. Menghitung besarnya Semi Diameter bayangan inti Bumi (D), yaitu HP_c ditambah HP_o dikurangi SD. Hasilnya dikalikan 1,02.
18. Menghitung nilai (X), yaitu D ditambah SD.
19. Menghitung nilai (Y), yaitu D dikurangi SD_c .
20. Menghitung nilai (C) dengan cara:
- a. Tarik *khaith* hingga mencapai nilai Z pada *jaib al-tamam*.
 - b. Geser *muri* hingga mencapai *al-tajib al-tsani*.
 - c. Tarik *khaith* hingga sudut X dan lihat titik perpotongan antara *muri* dengan *jaib al-mankusat* pada *qausal-irtifa'*.
21. Menghitung nilai dari (T_1), yaitu C dibagi K.
22. Menghitung nilai (E) dengan cara:
- a. Letakkan *khaith* pada sudut Z.
 - b. Pindahkan *muri* hingga *al-tajib al-tsani*.
 - c. Cari nilai sudut Y pada *jaib al-tamam*.
 - d. Tarik *khaith* hingga *muri* berpotongan dengan *jaib al-mankusat* dari poin (c) dan lihat berapa sudutnya pada *qausal-irtifa'*.
23. Menghitung nilai (T_2), yaitu E dibagi K.
24. Menghitung nilai (T_a) dengan cara:
- a. Tarik *khait* hingga mencapai sudut H. Lihat nilainya pada *jaib al-tamam*.

- b. Tarik *khait* hingga mencapai sudut K. Lihat nilainya pada *al-sittini*.
 - c. Hasil pembagian antara poin (a) dengan poin (b) adalah nilai T_a .
25. Kereksi kedua terhadap kecepatan Bulan (T_b) dengan rumus:
- a. Tarik *khait* hingga mencapai sudut L_c . Lihat nilainya pada *al-sittini*.
 - b. Tarik *khait* hingga mencapai sudut K. Lihat nilainya pada *al-sittini*.
 - c. Hasil pembagian antara poin (a) dengan poin (b) adalah nilai T_b .
26. Menghitung waktu gerhana (T_o) yaitu nilai mutlak dari hasil perkalian antara $0^{\circ}0'3,14''$, T_a , dan T_b .
27. Menghitung waktu titik tengah gerhana (T_{gh}), yaitu waktu Istiqbal ditambah T_o , dikurangi $0^{\circ} 1' 12,2''$. (jika L_c lebihbesar dari L_c satu jam berikutnya) atau waktu Istiqbal dikurangi T_o , dikurangi $0^{\circ} 1' 12,2''$. (jika L_c lebihkecil dari L_c satu jam berikutnya).
28. Menghitung *Waktu Mulai Gerhana* / ابتداء الخسوف (MG), yaitu T_{gh} dikurangi T_1 .
29. Menghitung *Waktu Mulai Gerhana Total* / ابتداء الخسوف الكلي (MT), yaitu T_{gh} ditambah T_2 .
30. Menghitung *Waktu Selesai Gerhana Total* / ابتداء الخسوف الكلي (ST), yaitu T_{gh} ditambah T_2 .
31. Menghitung *Waktu Selesai Gerhana* / ابتداء الخسوف الكلي (SG), yaitu T_{gh} ditambah T_1 .
32. Menghitung nilai (LG), yaitu D ditambah SD_c dikurangi Z, kemudian dibagi $2SD_c$. Hasilnya dikalikan 100%.
33. Mengambil kesimpulan dari hasil perhitungan, yaitu menyatakan hari apa, tanggal, dan jam berapa terjadi gerhana bulan.