

**INOVASI INSTRUMEN *VOLVELLE* PHILIPPE
DE LA HIRE DALAM PENENTUAN
WAKTU GERHANA**

TESIS

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



Oleh:

Ehsan Hidayat

NIM : 1702048005

**PROGRAM STUDI S2 ILMU FALAK
FAKULTAS SYARI'AH DAN HUKUM
UIN WALISONGO SEMARANG
2019**

MOTTO

الشَّمْسُ وَالْقَمَرُ بِحُسْبَانٍ

Matahari dan Bulan beredar menurut perhitungan.

(QS. Ar-Rahman [55] : 5.¹)

¹ Kementerian Agama RI, *al-Qur'an dan Tafsirnya*, Jakarta : Pustaka Sinergi Indonesia, 2012, Jilid 9, h.590.

PENYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Ehsan Hidayat

NIM : 1702048005

Program Studi : Magister Ilmu Falak

Menyatakan bahwa tesis yang berjudul:

Inovasi Instrumen *Volvelle* Philippe de La Hire dalam Penentuan Waktu Gerhana

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

Semarang, 15 Juli 2019

Pembuat Pernyataan



Ehsan Hidayat

NIM: 1702048005



**KEMENTERIAN AGAMA REPUBLIK INDONESIA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
FAKULTAS SYARIAH DAN HUKUM**

Jln. Walisongo 3-5, Semarang 50185, Indonesia, Telp.-Fax: +62 24 761445,
Email: pascasarjana@walisongo.ac.id, Website: <http://pasca.walisongo.ac.id/>

PENGESAHAN TESIS

Tesis yang ditulis oleh:

Nama Lengkap : **Ehsan Hidayat**

NIM : **1702048005**

Judul : **Inovasi Instrumen *Volvelle* Philippe De La Hire dalam
Penentuan Waktu Gerhana**

Telah dilakukan revisi sesuai saran dalam Sidang Ujian Tesis pada tanggal 22 Juli 2019 dan layak dijadikan syarat memperoleh Gelar Magister dalam bidang Ilmu Falak.

Disahkan oleh :

Nama Lengkap dan Jabatan

tanggal

Tanda tangan

Dr. H. Agus Nurhadi, MA
Ketua Majelis

29/7/19

Drs. KH. Slamet Hambali, M.SI
Sekertaris Majelis

29/7 2019

Dr. H. Ahmad Izzuddin, M.Ag
Penguji 1

29/7 - 19

Dr. H. Mahsun, M.Ag
Penguji 2

25/7 - 19

Kepada
Yth, Bapak Dekan Fakultas Syariah dan Hukum
UIN Walisongo Semarang.
di Semarang

Assalamu'alaikum Wr. Wb

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

Nama : Ehsan Hidayat
NIM : 1702048005
Program Studi : Magister Ilmu Falak
Judul : **Inovasi Instrumen *Volvelle* Philippe De La Hire dalam Penentuan Waktu Gerhana**

Kami memandang bahwa tesis tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Syari'ah dan Hukum UIN Walisongo untuk diujikan dalam Sidang Ujian Tesis.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Pembimbing I



Dr. H. Agus Nurhadi, M.A
NIP. 1966 0407 1991 03 1 004

Kepada
Yth, Bapak Dekan Fakultas Syariah dan Hukum
UIN Walisongo Semarang.
di Semarang

Assalamu'alaikum Wr. Wb

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

Nama : Ehsan Hidayat
NIM : 1702048005
Program Studi : Magister Ilmu Falak
Judul : **Inovasi Instrumen *Volvelle* Philippe De La Hire dalam Penentuan Waktu Gerhana**

Kami memandang bahwa tesis tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Syari'ah dan Hukum UIN Walisongo untuk diujikan dalam Sidang Ujian Tesis.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Pembimbing II



Drs. KH. Slamet Hambali, M.SI
NIP. 19540805 198003 1 004

PERSEMBAHAN

Karya tulis berupa tesis ini penulis dedikasikan kepada kedua orang tua, Bapak Warnoto dan Almh. Ibu Tanimah yang dengan penuh kasih sayang mendidik, menyemangati, mendoakan dan mendukung studi penulis, untuk kakak saya Agus Subkhi, Ahmad Khaeron, Endang Suci Asih, Siti Khaeriyah dan Siti Nurul Hikmah, untuk adik saya Siti Khumaeroh dan Annisa serta saudara-saudara yang lain yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu, dengan dukungan mereka baik dukungan moril ataupun materil maka penulis mampu untuk menyelesaikan studi ini.

Kepada dosen pembimbing Dr. H. Agus Nurhadi, MA. Dan Drs. KH. Slamet Hambali, M.SI., yang selalu memberi nasihat dan arahan sehingga teisis ini bisa diselesaikan. Semoga ilmu dan pengetahuan yang telah mereka berikan dapat penulis lakukan di dalam jenjang selanjutnya.

Kepada Masayikh Madrasah Aliyah Simbangkulon, KH. Muslich Hudlori, M.Ag. KH. Ahmad Sodikin, KH. Ahmad Syafiq, KH. Anwar Fatoni, dan khususnya pengasuh Ma'had Takhassus (MAK) Simbangkulon, Pondok Pesantren YPMI Al-Firdaus yang selalu mendo'akan, mengingatkan dan memberi ilmu agama kepada penulis dan yang selalu penulis harapkan aliran berkahnya.

Penulis juga persembahkan tesis ini untuk almamater tercinta UIN Walisongo Semarang yang telah menjadi padang ilmu dan segala wawasannya, kepada teman seperjuangan S2 Ilmu Falak Fakultas Syari'ah dan Hukum yang ikut dalam penyelesaian tesis ini.

INOVASI INSTRUMEN *VOLVELLE* PHILIPPE DE LA HIRE DALAM PENENTUAN WAKTU GERHANA

Abstrak

Awal abad ke-18 merupakan tonggak kemunculan gagasan menarik dalam penentuan bujur geografis suatu tempat. Salah satu metode yang digunakan saat itu adalah dengan menggunakan pengaturan waktu dari satelit Jupiter maupun gerhana. Phillippe De La Hire menjadi seorang ilmuwan yang menggunakan pengaturan waktu dari fenomena gerhana Bulan dengan karya instrument bernama *Volvelle*. Sebuah instrumen yang dibangun atas tiga lapis kertas untuk bisa memprediksi terjadinya gerhana. Philippe menggunakan basis teori rata-rata jarak antara New Moon, yaitu 29 hari 12 jam 44 menit. Namun demikian, *Volvelle* ini masih asing mendengar terlebih lagi mengkajinya. Secara teori rata-rata, *Volvelle* ini pasti menghasilkan selisih waktu gerhana yang bisa mencapai satu hari. Kebutuhan umat Islam untuk mendapatkan waktu gerhana yang harus sampai di skala menit menjadikan instrumen *Volvelle* Philippe ini kurang efektif dan harus dikembangkan, baik secara algoritma, desain, maupun akurasi yang bisa diselaraskan dengan data modern. Melalui metode *development research* penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan instrumen *Volvelle* Philippe De La Hire agar bisa digunakan kembali dengan kualitas yang memadai dan memiliki akurasi yang baik serta bisa digunakan sebagai pedoman kalender.

Hasilnya, penulis mengembangkan konsep kalender lama yang hanya memiliki sudut $1,038575$ / tanggal menjadi dua lipatnya, yaitu $2,07720409$, sehingga dapat ditambahkan grid per 2 jam. Kedua adalah penambahan piringan hari dan pasaran sebagai akulturasi dengan budaya local yang mampu digunakan sebagai kalender. Ketiga, mengganti tabel epoch yang telah usang serta memperbarui periode penggunaan menjadi 200 tahun yaitu dari 1900-2100. Keempat transformasi piringan F dari piringan divisi mampu mengganti fungsinya dengan baik untuk memprediksi ada tidaknya gerhana. Dalam rentang 1000 lunasi, selisih nilai F konsep pengembangan dengan algoritma Jean Meeus hanya 5,73 detik. Karena dalam instrumen hanya menampilkan grid di skala 6 menit, maka selisih dalam uji coba yang ada adalah 0-6 menit.

Piringan F ini lebih bermanfaat daripada piringan divisi karena jika periode penggunaan instrumen sudah habis, maka yang harus diganti di instrumen pengembangan adalah piringan epoch saja, sedangkan di Philippe dua piringan, yaitu piringan epoch dan piringan divisi. Lima pengembangan ini mampu mempermudah dalam penggunaan instrumen *Volvelle*, karena konsep epoch berdasarkan permulaan tahun masehi (Januari), sehingga lebih cepat dan mudah digunakan. Dalam hal akurasi, instrumen ini tergolong masih sama dengan yang lama yaitu dengan nilai selisih minimum-maximum 0 jam - 22 jam 30 menit. Akan tetapi, dengan adanya penambahan koreksi anomaly Bulan dan Matahari, selisihnya menjadi lebih halus berkisar di interval 0 – 29 menit.

Keyword : *Volvelle*, Prediksi Gerhana, Pengembangan Instrumen, Philippe De La Hire

INNOVATION OF *VOLVELLE* PHILIPPE DE LA HIRE INSTRUMENTS IN DETERMINING TIME OF ECLIPSE

Abstract

The beginning of the 18th century was a milestone in the emergence of interesting ideas in determining the geographical longitude of a place. One method that was used at that time was to use time settings from Jupiter satellites and eclipses. Phillippe De La Hire became a scientist who used the timing of the lunar eclipse phenomenon with an instrument called *Volvelle*. An instrument built on three layers of paper to predict eclipses. Philippe uses the theoretical basis of the average distance between *new moon*, which is 29 days 12 hours 44 minutes. However, *Volvelle* is still unfamiliar to hear, especially studying it. In theory on average, this *Volvelle* definitely produces a time difference of eclipses that can reach one day. The need for Muslims to get the time of the eclipse that must arrive at the scale of minutes makes this *Volvelle* Philippe instrument less effective and must be developed, both algorithmically, design, and accuracy that can be harmonized with modern data. Through the *development research* method this research aims to develop *Volvelle* Philippe De La Hire instruments so that they can be reused with adequate quality and good accuracy and can be used as calendar guidelines.

As a result, the author developed the old calendar concept which only had an angle of $1.038575 / \text{date}$ to double it, namely 2.07720409 , so that a grid could be added per 2 hours. Second is the addition of day and market dishes as acculturation with local culture that can be used as a calendar. Third, replacing obsolete epoch tables and renewing the usage period to 200 years from 1900-2100. The fourth transformation of the *plate F* from the *division disk* is able to replace its function properly to predict whether or not there is an eclipse. In the range of 1000 repayments, the difference in value of F development concept with the Jean Meeus algorithm is only 5.73 seconds. Because the instrument only displays a grid on a 6-minute scale, the difference in the existing test is 0-6 minutes. This disk F is more useful than a division disk because if the period of use of the instrument has run out, then what must be replaced in the development instrument is

the epoch plate only, while in Philippe are two plates, namely the epoch disk and the division disk. These five developments are able to facilitate the use of *Volvelle* instruments, because the epoch concept is based on the beginning of BC (January), making it faster and easier to use. In terms of accuracy, this instrument is classified as the same as the old one, with a minimum difference of 0 hours - 22 hours 30 minutes. However, with the addition of correction of the Moon and the Sun anomaly, the difference becomes smoother in the interval of 0-29 minutes.

Keyword: *Volvelle*, Eclipse Prediction, Instrument Development, Philippe De La Hire

ابتكار أدوات فولفيل فيليب دي لا هير في تحديد وقت الكسوف

ملخص

كانت بداية القرن الثامن عشر علامة فارقة في ظهور أفكار مثيرة للاهتمام في تحديد خط الطول الجغرافي للمكان. إحدى الطرق التي تم استخدامها في ذلك الوقت كانت استخدام إعدادات الوقت من الأقمار الصناعية كوكب المشتري والكسوف. أصبح فيليب دي لا هير عالمًا استخدم توقيت ظاهرة الكسوف القمري باستخدام أداة تسمى فولفيل. أداة مبنية على ثلاث طبقات من الورق للنتنبؤ بالكسوف. يستخدم فيليب الأساس النظري لمتوسط المسافة بين الاجتماع ، وهو ٢٩ يومًا و ١٢ ساعة و ٤٤ دقيقة. ومع ذلك ، لا يزال فولفيل غير مألوف لسماعه ، ولا سيما دراسته. من الناحية النظرية ، في المتوسط ، ينتج هذا فولفيل بالتأكيد فارق التوقيت للكسوف الذي يمكن أن يصل إلى يوم واحد. إن احتياج المسلمين إلى الحصول على وقت الكسوف الذي يجب أن يصل إلى مقياس الدقائق ، يجعل أداة فولفيل فيليب هذه أقل فعالية ويجب تطويرها ، من الناحية الخوارزمية ، والتصميم ، والدقة التي يمكن أن تتسجم مع البيانات الحديثة. من خلال طريقة بحث التطوير ، يهدف هذا البحث إلى تطوير أدوات فولفيل فيليب دي لا هير بحيث يمكن إعادة استخدامها بجودة كافية ودقة جيدة ويمكن استخدامها كمبادئ توجيهية للتقويم.

نتيجة لذلك ، طور المؤلف مفهوم التقويم القديم الذي كان يحتوي فقط على زاوية ١٠٣٨٥٧٥ / يوم لمضاعفته ، أي ٢٠٠٧٧٢.٤٠٩ ، بحيث يمكن إضافة شبكة لكل ساعتين. ثانيًا ، إضافة أطباق اليوم والسوق كتراث مع الثقافة المحلية التي يمكن استخدامها كتقويم. ثالثًا ، استبدال الجداول الزمنية القديمة وتحديد فترة الاستخدام إلى ٢٠٠ عام من ١٩٠٠ إلى ٢١٠٠. التحول الرابع للوحة ف من قرص التقسيم قادر على استبدال وظيفته بشكل صحيح للنتنبؤ بما إذا كان هناك كسوف أم لا. في حدود ١٠٠٠ سداد ، يبلغ الفرق في قيمة مفهوم التطوير ف مع خوارزمية ٥٠٧٣ ثانية فقط. نظرًا لأن الأداة لا تعرض سوى شبكة على مقياس مدته ٦ دقائق ، يكون الفرق في الاختبار الحالي هو ٦٠ دقائق. هذا الطبقة F مفيد أكثر من قرص التقسيم لأنه إذا نفذت مدة استخدام الأداة ، فإن ما يجب استبداله في أداة التطوير هو لوحة مبدأ فقط ، بينما في فيليب صفيحتان ، وهما قرص مبدأ و قرص التقسيم. هذه التطورات الخمسة قادرة على تسهيل استخدام أدوات فولفيل ، لأن مفهوم الحقبة يعتمد على بداية ميلادية (يناير) ، مما يجعله أسرع وأسهل في الاستخدام. من حيث الدقة ، يتم تصنيف هذه الأداة على أنها نفس الجهاز القديم ، مع وجود فارق لا يقل عن ٢٢ ساعة و ٣٠ دقيقة. ومع ذلك ، مع إضافة تصحيح القمر والشذوذ ، يصبح الفرق أدق في الفترة من ٢٩ دقيقة.

الكلمة الأساسية: فولفيل ، التنبؤ بالكسوف ، تطوير الآلات ، فيليب دي لا هير

TRANSLITERASI ARAB-LATIN

Transliterasi kata-kata bahasa Arab yang dipakai dalam penulisan tesis ini berpedoman pada "Pedoman Transliterasi Arab-Latin" yang dikeluarkan berdasarkan Keputusan Bersama Menteri Agama dan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan RI tahun 1987. Pedoman Transliterasi Arab-Latin yaitu sebagai berikut :

1. Konsonan

Fonem konsonan bahasa Arab yang dalam sistem tulisan arab dilambangkan dengan huruf, dalam transliterasi ini sebagian dilambangkan dengan huruf dan sebagian dilambangkan dengan tanda, dan sebagian lain lagi dengan huruf dan tanda sekaligus.

Di bawah ini daftar huruf Arab itu dan transliterasinya dengan huruf latin.

Huruf Arab	Nama	Huruf latin	Nama
ا	Alif	Tidak dilambangkan	Tidak dilambangkan
ب	Ba	B	Be
ت	Ta	T	Te
ث	Sa		Es (dengan titik diatas)
ج	Jim	J	Je
ح	Ha	h	Ha (dengan titik dibawah)
خ	Kha	Kh	Ka dan Ha
د	Dal	D	De

ذ	Zal	Ẓ	Zet (dengan titik diatas)
ر	Ra	R	Er
ز	Zai	Z	Zet
س	Sin	S	Es
ش	Syin	Sy	Es dan Ye
ص	Sad	ṣ	Es (dengan titik dibawah)
ض	Dad	ḍ	De (dengan titik dibawah)
ط	Ta	ṭ	Te (dengan titik dibawah)
ظ	Za	ẓ	Zet (dengan titik dibawah)
ع	'ain	'...	Koma terbalik (didas)
غ	Gain	G	Ge
ف	Fa	F	Ef
ق	Qaf	Q	Ki
ك	Kaf	K	Ka
ل	Lam	L	El
م	Mim	M	Em
ن	Nun	N	En
و	Wau	W	We
ه	Ha	H	Ha
ء	Hamzah'	Apostrof
ي	Ya	Y	Ye

2. Vokal

Vokal bahasa Arab, seperti vokal bahasa Indonesia, terdiri dari vokal tunggal atau monoftong dan vokal rangkap atau diftong.

a. Vokal Tunggal

Vokal tunggal bahasa Arab yang lambangnya berupa tanda atau harakat, transliterasinya sebagai berikut :

Huruf Arab	Nama	Huruf Latin	Nama
َ	Fathah	A	A
ِ	Kasrah	I	I
ُ	Dhammah	U	U

b. Vokal Rangkap

Vokal rangkap bahasa Arab yang lambangnya berupa gabungan antara harakat dan huruf, transliterasinya berupa gabungan huruf, yaitu :

Huruf Arab	Nama	Huruf Latin	Nama
َ...ي	Fathah dan ya	Ai	A dan I
َ...و	Fathah dan wau	Au	A dan U

Kataba كَتَبَ	-	yazhabu يَذْهَبُ
Fa'ala فَعَلَ	-	su'ila سُئِلَ
Zukira ذُكِرَ	-	kaifa كَيْفَ

3. Maddah

Maddah atau vokal panjang yang lambangnya berupa harakat dan huruf, transliterasinya berupa huruf dan tanda, yaitu :

Huruf Arab	Nama	Huruf Latin	Nama
ا... ي	Fathah	Ā	A
ي... ي	Kasrah	Ī	I
و... و	Dhammah	Ū	U

Contoh :

Qāla	-	قَالَ
Ramā	-	رَمَى
Qīla	-	قِيلَ
Yaqūlu	-	يَقُولُ

4. Ta Marbutah

Transliterasi untuk ta marbutah ada dua :

a. Ta marbutah hidup

Ta marbutah yang hidup atau mendapat harakat fathah, kasrah dan dhammah, transliterasinya adalah /t/

Contoh : رَوْضَةٌ rauḍatu

b. Ta marbutah mati

Ta marbutah mati atau mendapatkan harakat sukun, transliterasinya adalah /h/

Contoh : رَوْضَةٌ rauḍah

5. Syaddah (tasydid)

Syaddah atau tasydid yang dalam sistem tulisan Arab dilambangkan dengan sebuah tanda, tanda syaddah atau

tasydid, dalam transliterasi ini tanda syaddah tersebut dilambangkan dengan huruf, yaitu huruf yang sama dengan huruf yang diberi tanda syaddah itu.

Contoh :	رَبَّنَا	rabbanā
	الْبِرِّ	al-Birr
	نَعْمَ	na"ama

6. Kata sandang

Kata sandang dalam sistem tulisan Arab dilambangkan dengan huruf ال namun dalam transliterasi ini kata sandang dibedakan atas kata sandang yang diikuti huruf syamsiah dan kata sandang yang diikuti huruf qamariah.

a. Kata sandang yang diikuti huruf syamsiah

Kata sandang yang diikuti huruf syamsiah ditransliterasikan sesuai dengan bunyinya, yaitu huruf /l/ diganti dengan huruf yang sama dengan huruf yang langsung mengikuti kata sandang itu.

b. Kata sandang diikuti huruf qamariah

Kata sandang yang diikuti huruf qamariah ditransliterasikan sesuai dengan aturan yang digariskan di depan dan sesuai pula dengan bunyinya.

Baik diikuti oleh huruf syamsiah maupun huruf qamariah, kata sandang ditulis terpisah dari kata yang mengikuti dan dihubungkan dengan kata sandang.

Contoh :	الرَّجُلِ	ar-rajulu
	الشَّمْسِ	asy-syamsu
	القَلَمِ	al-qalamu

7. Hamzah

Dinyatakan di depan bahwa hamzah ditransliterasikan dengan apostrof, namun itu hanya berlaku bagi hamzah yang terletak di tengah dan di akhir kata. Bila hamzah itu terletak di awal kata, ia tidak dilambangkan, karena dalam tulisan Arab berupa Alif.

Contoh :	تأخذون	ta'khudzūna
	شيء	syai'un
	أمرت	umirtu

8. Penulisan Kata

Pada dasarnya setiap kata, baik fi'il, isim, maupun harf, ditulis terpisah, hanya kata-kata tertentu yang penulisannya dengan huruf Arab sudah lazimnya diragukan dirangkaikan dengan kata lain, karena ada huruf atau harakat yang dihilangkan maka dalam transliterasi ini penulisan kata tersebut dirangkaikan juga dengan kata lain yang mengikutinya.

Contoh :

وإن الله لهو خير الرازقين	Wa	innallāha	lahuwa
khairurrāziqīn			
من استطاع اليه سبيلا	manistatā'a	ilaihi	sabīlā

9. Huruf Kapital

Meskipun dalam sistem tulisan Arab huruf kapital tidak dikenal, dalam transliterasi ini huruf tersebut digunakan juga. Penggunaan huruf kapital seperti apa yang berlaku dalam EYD, diantaranya : huruf kapital digunakan untuk menuliskan huruf awal nama diri dan permulaan kalimat. Bila nama diri itu didahului oleh kata sandang, maka ditulis dengan huruf kapital

tetap huruf awal diri tersebut, bukan huruf awal kata sandangnya.

Contohnya :

وما محمد إلا رسول

Wa mā Muhammadun illā rasūl

10. Tajwid

Bagi mereka yang menginginkan kefasihan dalam bacaan, pedoman transliterasi ini merupakan bagian yang tak terpisahkan dengan ilmu tajwid. Karena itu, peresmian pedoman transliterasi Arab-Latin (Versi Internasional) ini perlu disertai dengan pedoman tajwid.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, dengan taufik dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan tesis yang berjudul *Inovasi Instrumen Volvelle Philippe e La Hire dalam Prediksi Gerhana* ini dengan baik. Shalawat dan salam, semoga senantiasa Allah curahkan kepada Nabi Besar Muhammad SAW beserta seluruh keluarga dan para sahabat yang senantiasa kita harapkan barokah syafa'atnya pada hari akhir. Penulis menyadari bahwa tesis ini dapat terselesaikan berkat adanya usaha dan bantuan baik berupa moral maupun spiritual dari berbagai pihak. Untuk itu, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya terutama kepada :

1. Dr. Agus Nurhadi, MA., selaku Pembimbing I dan Drs. KH. Slamet Hambali, M.SI., selaku Pembimbing II yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dengan sabar dan tulus ikhlas untuk memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penyusunan tesis ini.
2. Kedua orang tua dan segenap keluarga penulis, atas segala doa, perhatian, dukungan, dan curahan kasih sayangnya yang sangat besar sekali, sehingga penulis mempunyai semangat untuk menyelesaikan tesis ini.
3. Dekan Fakultas Syari'ah dan Hukum UIN Walisongo Semarang dan Wakil Dekan I, II, dan III yang telah memberikan izin kepada penulis untuk menulis tesis tersebut dan memberikan fasilitas untuk belajar dari awal hingga akhir.

4. Dr. H. Ahmad Izzuddin, M. Ag. dan seluruh jajaran administrasi Magister Ilmu Falak, atas segala didikan, bantuan dan kerjasamanya yang tiada henti.
5. Dosen-dosen dan pengajar Ilmu Falak Fakultas Syari'ah dan Hukum semoga ilmu yang diajarkan berkah dan bermanfaat bagi penulis.
6. Seluruh guru penulis yang telah banyak memberikan ilmu dan pengetahuan serta didikan yang tak ternilai harganya.
7. Pondok Pesantren (Ma'had Takhassus) Simbangkulon yang telah memberi pancaran ilmu agama dan yang selalu memberikan nasihat dan bimbingannya.
8. Teman-teman Padepokan al-Biruni (Mas Syauqi, Farabi, Yakin, Unggul, Rizal, Jumal, Mas Isom, Thobroni, Rofiq) yang membantu dan memotvasi penulis.
9. Teman-teman KOPDAR S2 IF 17 UNION (Farabi, Yakin, Masruhan, Mas Syauqi, Rizal, Unggul, Ainul, Farid, Mas Imam, Mursyid, Mas Heri, Halim, Indras, Asih, Ela, Iqna).

Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang secara langsung maupun tidak langsung selalu memberi bantuan, dorongan dan do'a kepada penulis selama melaksanakan studi di UIN Walisongo. Penulis menyadari bahwa penulisan tesis ini belum mencapai kesempurnaan yang sebenarnya, untuk itu penulis mengharap saran dan kritik konstruktif dari pembaca demi kesempurnaan tesis ini. Penulis berharap semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi penulis dan para pembaca. Amin.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
MOTTO	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
PENGESAHAN	iv
NOTA PEMBIMBING	v
PERSEMBAHAN	vii
ABSTRAK	viii
TRANSLITERASI	xiii
KATA PENGANTAR	xx
DAFTAR ISI	xxi
DAFTAR TABEL	xxiv
DAFTAR GAMBAR	xxv
BAB I : PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Rumusan Masalah	14
C. Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	14
D. Spesifikasi Produk.....	15
E. Asumsi Pengembangan	16
F. Kajian Pustaka.....	17
G. Metode Penelitian.....	20
H. Sistematika Penulisan.....	27
BAB II : HISAB RUKYAH GERHANA, INSTRUMENTASI DALAM TRADISI ASTRONOMI ISLAM DAN PERSAMAAN ARITMATIKA	
A. Hisab Rukyah Gerhana	28
B. Instrumen dalam Tradisi Astronomi Islam	60

C. Persamaan Aritmatika.....	70
------------------------------	----

**BAB III : VOLVELLE PHILIPPE DE LA HIRE SEBAGAI
MESIN PENGHITUNG GERHANA**

A. Profil Keilmuan Philippe de La Hire	73
--	----

B. Konstruksi dan Penggunaan Volvelle sebagai Calculator Gerhana	84
---	----

C. Model Algoritma Penentuan Gerhana dalam Instrumen Volvelle	102
--	-----

**BAB IV : INOVASI INSTRUMEN VOLVELLE PHILIPPE
DE LA HIRE**

**A. Rekonstruksi Instrumen Volvelle Philippe De La
Hire**

1. Transformasi Algoritma Prediksi dan Tabel Epoch Gerhana	106
---	-----

2. Transformasi Divisi ke Argumen of Moon's Latitude (Piringan F)	110
--	-----

3. Redesign Kalender berskala Jam, Pasaran dan Hari	129
--	-----

4. Penggunaan Instrumen Volvelle Hasil Pengembangan	137
--	-----

B. Uji Akurasi Volvelle Philippe De La Hire dalam Prediksi Gerhana	144
---	-----

BAB V : PENUTUP

A. Kesimpulan	163
---------------------	-----

B. Saran-Saran	164
----------------------	-----

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN-LAMPIRAN

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

DAFTAR TABEL

- Tabel 1 : Barisan angka-angka divisi instrumen *Volvelle*
- Tabel 2 : Data F selama 13 New Moon
- Tabel 3 : Hasil F setelah mengalami pengurangan dengan 180 dan kelipatannya
- Tabel 4 : Transformasi rumus awal dan baru versi aritmatika argument lintang bulan
- Tabel 5 : Interval nilai argument lintang bulan dan jumlah jumlah gerhana matahari dengan 13 kali new moon
- Tabel 6 : Interval nilai argumen lintang bulan dan jumlah jumlah gerhana matahari dengan 12 kali new moon
- Tabel 7 : Logika tahun yang memiliki 12 dan 13 new moon berdasarkan jarak rata-rata tiap ijtima
- Tabel 8 : Variasi panjang garis penyusun kalender
- Tabel 9 : Penerapan kode hari dan pasaran
- Tabel 10 : Hasil perhitungan prediksi gerhana dengan instrumen *Volvelle* lama
- Tabel 11 : Hasil perhitunga prediksi gerhana dengan *Volvelle* pengembangan
- Tabel 12 : Perbedaan tanggal antara Philippe, Model Pengembangan dan NASA
- Tabel 13 : Data gerhana NASA
- Tabel 14 : Selisih nilai F instrumen dengan Jean Meeus
- Tabel 15 : Selisih Tanggal dan Jam antara Instrumen dengan data kontemporer Jean Meeus.
- Tabel 16 : Jarak terdekat dan terjauh antara New Moon
- Tabel 17 : Contoh selisih antara New Moon pada tahun 2002
- Tabel 18 : Koreksi JDE
- Tabel 19 : Hasil jam setelah koreksi Anomali Bulan (M')
- Tabel 20 : Hasil jam setelah koreksi Anomali Matahari (M)
- Tabel 21 : Hasil jam setelah koreksi dua kali Anomali Bulan ($2M'$)
- Tabel 22 : Hasil akhir jam gerhana terkoreksi

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 1 : Sisi kiri adalah gambar asli Volvelle Philippe De La Hire dan kanan adalah desain ulang oleh Nicolas Bion
- Gambar 2 : Tiga komponen Volvelle oleh Nicolas Bion
- Gambar 3 : Tabel epoch Philippe De La Hire. Pada kotak merah adalah data jam, menit, dan hari.
- Gambar 4 : Bagian kalender hanya memuat grid untuk hari
- Gambar 5 : Umbra and Penumbra
- Gambar 6 : Philippe De La Hire
- Gambar 7 : L'arbre généalogique (Pohon keturunan) Philippe
- Gambar 8 : Lukisan Philippe tentang lingkungan Roma
- Gambar 9 : Daftar karya Philippe de La Hire
- Gambar 10 : Kalender Volvelle Philipe
- Gambar 11 : Bagian tengah adalah piringan divisi
- Gambar 12 : Tabel Epoch yang sebagian ada di instrument Volvelle dan secara penuh ada dalam bukunya
- Gambar 13 : Penggaris Volvelle untuk menjangkau angka divisi dan kalender
- Gambar 14 : Design tabel epoch dalam instrumen Volvelle pengembangan
- Gambar 15 : Pemodelan titik pusat bayangan untuk tanda gerhana
- Gambar 16 : Pola / Grafik Nilai F dalam 13 New Moon.
- Gambar 17 : Pola di bawah panah merah artinya ada peluang gerhana, dan sebaliknya tidak ada gerhana jika di atas panah.
- Gambar 18 : Gerhana Matahari 2 kali di tahun 2004 (19 April dan 14 Oktober)
- Gambar 19 : Gerhana Matahari 3 kali tahun 2018 (15 Februari, 13 Juli, dan 11 Agustus)
- Gambar 20 : Gerhana Matahari 4 kali tahun 1982 (25 Januari, 21 Juni, 20 Juli, dan 15 Desember)
- Gambar 21 : Gerhana Matahari 5 kali tahun 1935 (5 Januari, 3 Februari, 30 Juni, 30 Juli, dan 25 Desember)

- Gambar 22 : Pola nilai F periode 22 September 2017-10 September 2018
- Gambar 23 : Analogi posisi bulan yang berpeluang terjadi gerhana Matahari
- Gambar 24 : Design akhir piringan tengah instrumen Volvele pengembangan (Piringan F)
- Gambar 25 : Terlihat grid-grid hari yang ada di kalender
- Gambar 26 : Perbandingan besar sudut per hari Philippe dengan model pengembangan
- Gambar 27 : Tiga tanggal yang terletak satu garis lurus dalam 1 lingkaran
- Gambar 28 : Bentuk spiral yang dijadikan model kalender oleh Philippe
- Gambar 29 : Analogi barisan garis yang sudah mengalami pemotongan sesuai dengan ukuran pertanggal
- Gambar 30 : Design akhir kalender dengan penambahan hari dan pasaran.
- Gambar 31 : Hasil uji coba prediksi gerhana tahun 1703 M
- Gambar 32 : Hasil uji coba prediksi gerhana tahun 2017
- Gambar 33 : Hasil uji coba prediksi gerhana tahun 2019
- Gambar 34 : Hasil uji coba prediksi gerhana tahun 2020

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Volvelle adalah salah satu instrumen astronomi abad ke-18 yang mudah dan cepat digunakan untuk mengetahui waktu terjadinya gerhana, baik gerhana Matahari maupun gerhana Bulan. Instrumen ini juga bisa digunakan untuk mengetahui bujur geografis suatu tempat.¹ Instrumen ini tergolong menarik karena hanya terdiri dari tiga lapis kertas ditumpuk-tumpuk tapi mampu digunakan untuk prediksi gerhana selama 1680-1854 tahun. Ilmuan muslim Muhammad Sidki Effendi² tercatat sebagai orang yang pernah meneliti dan membuat catatan khusus untuk instrumen tersebut. Ada hal menarik yang bisa diambil manfaat terutama untuk kepentingan ibadah umat muslim.

Dalam konteks Islam, ibadah yang timbul oleh fenomena gerhana (Matahari/ Bulan) adalah salat gerhana. *Khusūf asy-syams* untuk gerhana Matahari dan *husūf al-qomar* untuk gerhana Bulan. Keduanya tidak hanya menjadi ruang ibadah berupa salat, melainkan menjadi media manusia untuk memohon ampunan, bersedekah, berdzikir dan meningkatkan rasa takut kepada Allah SWT. Sebagaimana sabda Nabi Muhammad SAW :

¹ Lars Gislén dan Chris Eade, Philippe De La Hire's Eighteenth Century Eclipse Predictor, *Journal of Astronomical History and Heritage*, (2016), h. 46.

² Salah satu anggota duta besar Turki di Perancis yang menerjemahkan, membuat kajian dan komentar tentang instrument *Volvelle*. Feza Gunergun and Dhruv Raina, *Science Between Europe and Asia*, London : Springer, 2011, h. 119.

إن الشمس والقمر آيتان من آيات الله لا ينكسفان لموت أحد ولا لحياته
ولكن الله تعالى يخوف بهما عباده

Sesungguhnya Matahari dan Bulan adalah dua tanda di antara tanda-tanda kebesaran Allah. Keduanya tidak mengalami gerhana karena kematian seseorang dan tidak pula karena hidupnya seseorang. Tapi, Allah menakut-nakuti hamba-Nya dengan keduanya. (HR. Al-Bukhari dan Muslim).³

Volvelle mulai dikenal pada awal abad ke-18 sebagai salah satu kemunculan gagasan menarik dalam penentuan bujur geografis suatu tempat. Salah satu metode yang digunakan saat itu adalah dengan menggunakan pengaturan waktu dari fenomena gerhana Bulan serta ada juga yang menggunakan pengaturan waktu dari satelit Jupiter .⁴ Phillipe De La Hire⁵ adalah seorang astronom dan matematikawan kebangsaan Perancis yang datang dengan membuat instrumen *Volvelle* untuk mengetahui bujur suatu tempat dan juga untuk memprediksi fenomena gerhana (Bulan / Matahari).

Kata *Volvelle* sendiri terambil dari kata “*Volvella*”, sebuah istilah yang berasal dari Bahasa Latin Abad Pertengahan, terdiri dari satu atau lebih cakram kertas atau perkamen, dibentuk dan

³ Abi Abdullah Muhammad ibn Ismail al-Bukhary, *Matnu Masykul al-Bukhary*, Beirut : Dar al-Fikr, Jilid I, 1994, h. 230.

⁴ Lars Gislén dan Chris Eade, Philippe, ... h. 46.

⁵ De La Hire (1640-1718), pengamat yang kompeten dan anggota Academie de Sciences di Paris, menerbitkan *Tabulae Astronomicae* pada tahun 1687. Edisi kedua dari teks ini diterbitkan pada tahun 1702 dan dicetak ulang pada tahun 1727. Lihat Virendra Nath Sharma, Zij-I Muhammad Shahi and The Tables of De La Hire, *India Journal of History of Science*, 25, (1990), h. 1.

tumpang tindih dan dipasang pada halaman dengan pin (tali atau paku keling), yang memungkinkan setiap disk diputar secara independen di sekitar poros pusatnya.⁶ Kata ini juga dikenal dengan *Wheel Charts* yang artinya jenis bagan geser. Alat ini disebut juga sebagai contoh awal dari komputer analog kertas. Fungsinya untuk mengakomodasi keperluan organisasi dan perhitungan dalam banyak mata pelajaran yang beragam.⁷

Volvelle yang digunakan oleh Philippe bukan menjadi nama awal dalam peradaban astronomi, namun sudah digunakan oleh beberapa ilmuwan. Contohnya *Volvelle* milik Petrus Apianus dalam bukun besarnya *Astronomicum Caesareum*. Ia dedikasikan karya tersebut untuk kerajaan Romawi, Charles V (1500-1558).⁸ *Volvelle*-nya difungsikan sebagai instrumen untuk menghitung bujur planet, Matahari dan Bulan, serta menghitung lintang planet dan Bulan.⁹

Volvelle karya Philippe de La Hire, secara metode menggunakan teori rata-rata dari pergerakan Bulan dan Matahari. Uniknya media yang dijadikan untuk instumen adalah dari kertas

⁶ Gianfranco Crupi, “Mirabili Visioni”: From Movable Books to Movable Texts”, *Italian Journal of Library, Archives, and Information Science (JLIS.it)*, Vol. 7, n. 1 (January 2016), h. 4.

⁷ Nick Kanas, “Volvelles! Early Paper Astronomical Computers”, *Mercury*, Vol. 34, no. 2, 2005. h. 33.

⁸ Lars Gislén dan Chris Eade, A Lunar Eclipse Volvelle In Petrus Apianus’ *Astronomicum Caesareum*, *Journal of Astronomical History and Heritage*, 19(03), 2016, h. 247.

⁹ Lars Gislén dan Chris Eade, Apianus’ Latitude Volvelles – How Were They Made?, *Journal of Astronomical History and Heritage*, 20(1), (2017), h. 13.

yang ditumpuk-tumpuk sebanyak tiga piringan. Konsep penggunaan instrumen *Volvelle* dijelaskan dalam bukunya yang berjudul *Tabulae Astronomicae* yang diterbitkan dalam dua edisi, yaitu pada tahun 1687 dan tahun 1702 dan dikaji oleh beberapa pegiat astronomi seperti Nicolas Bion¹⁰ yang menggambar ulang serta mengkajinya.¹¹

Volvelle ini terdiri atas tiga piringan yang terbagi atas satu piringan untuk data kalender yang diawali dengan 1 Maret dan diakhiri 28/29 Februari.¹² Pada bagian ini konsep desain berbentuk spiral dan terletak di bagian dasar (bawah). Piringan kedua (bagian tengah) terdapat dua fungsi, yaitu data *lunasi* bulan selama 179 tahun dengan kombinasi angka-angka yang mengikuti barisan *aritmatika*¹³ serta area bayang-bayang sebagai

¹⁰ Nicolas Bion disebut dengan istilah “ *The King’s engineer for mathematical instrumens (globes, sundials, mathematical and mechanical instrumens)*”. Dia dikenal dalam bidang kajian instrumen dengan mempunyai toko di Paris. Baca Feza Gunergun & Dhruv Raina, *Science Between Europe and Asia*, London : Springer, 2011, h.111.

¹¹ Nicholas Bion (Nicolas) adalah seorang insinyur Perancis dan produsen instrumen matematika dan astronomi (1652-1733), penulis “*Usage des Astrolabes* (Penggunaan Astrolabe),” yang tidak lama kemudian diikuti oleh “*Traite de la construction et des principaux usages des instrumens de mathematique* (Membahas konstruksi dan penggunaan utama instrumen matematika),”. Baca Mottelay, Paul Fleury, *Bibliographical History of Electricity & Magnetism*, London : Charles Griffin & Company Limited, 1922, h. 148.

¹² Lars Gislén dan Chris Eade, Philippe,... h. 47.

¹³ Suatu barisan dimana setiap suku sesudah suku pertama ditentukan dengan cara menambahkan bilangan tertentu, *beda* kepada suku sebelumnya. Frank Ayres dan Philip A Schmidt, *Matematika Universitas Edisi Ketiga*, terj. Alit bondan, Jakarta : Erlangga, 2004, h. 64.

penanda gerhana dan jenisnya. Warna hitam untuk menandakan adanya gerhana Matahari dan berwarna merah untuk gerhana Bulan. Bagian depan (atas) terdiri atas *ruler* (penggaris) yang diposisikan pada tepi lingkaran sebagai penunjuk awal data *lunasi* dan lingkaran bagian pertama memuat 13 lingkaran kecil melingkar yang menggambarkan *new moon*¹⁴ dan bagian paling dalam sejumlah 12 sebagai *full moon*¹⁵, masing-masing lingkaran dibuat berlubang. Pada bagian ini kita bisa mengetahui tanda terjadinya gerhana Matahari atau Bulan melalui lingkaran yang dilubangi tersebut. Di piringan atas ini juga dicantumkan data *epoch*¹⁶ yang dijadikan rujukan untuk perhitungan tahun berapa gerhana akan diprediksi. Kemudian penggaris tunggal yang

¹⁴ *Ijtima'* yang artinya "kumpul" atau *iqtirān* artinya "bersama", yaitu suatu keadaan alam yang menggambarkan posisi Matahari dan bulan berada pada satu bujur astronomi. Dalam astronomi dikenal dengan istilah *conjunction* (konjungsi). Para ahli astronomi/falak menggunakan *ijtima'* ini sebagai tanda bergantinya bulan qamariyah, sehingga ia disebut pula dengan *new moon*. Baca Muhyiddin Khazin, *Kamus Ilmu Falak*, Yogyakarta : Buana Pustaka, 2005, h. 32.

¹⁵ Suatu fenomena saat Matahari dan bulan sedang berhadapan, sehingga antara keduanya mempunyai selisih bujur astronomi sebesar 180°. Pada saat ini bulan berada pada phase purnama atau yang disebut dengan *Full Moon (Istiqbal)*. Muhyiddin Khazin, *Kamus, ...* h. 38.

¹⁶ *Epoch* adalah pangkal tolok untuk menghitung. Secara bahasa Arab disebut *Mabda at-Tarikh*, dalam penggunaannya lebih populer dengan *Mabda'*, sedangkan dalam bahasa Inggris disebut *Principle of Motion*. Susiknan Azhari, *Ensiklopedi Hisab Rukyat*, Yogyakarta : Pustaka Pelajar, 2012, h. 62.

berfungsi sebagai alat transfer dari data *lunasi* gerhana ke bagian kalender.¹⁷

Jika dilihat dari konsep batas¹⁸ terjadinya gerhana, maka jumlah lingkaran-lingkaran kecil yang ada di dalam instrumen tersebut bisa berbeda sesuai dengan batas yang diterapkan. Adapun Philippe De La Hire memakai batas terjadinya gerhana Matahari dengan nilai ± 16 dari titik *node* dan gerhana Bulan bernilai ± 11 dari titik *node*.¹⁹ Ilmuwan lain, seperti Jean Meeus memakai batas terjadinya gerhana, baik gerhana Matahari maupun Bulan bernilai $13^{\circ}.9$ dan 21° .²⁰ Nilai batas ini sangat berpengaruh dalam menentukan jumlah gerhana yang terjadi. Jika dilihat secara seksama, maka *danger zones (eclipse limits)* mempunyai luas daerah yang menjadi sebab potensi terjadinya gerhana. Semakin kecil luasnya, maka akan semakin sedikit

¹⁷ Lars Gislen dan Chris Eade, Philippe, ... h. 47.

¹⁸ Mark Litman menyebut batas terjadinya sebagai “*Danger Zones*”. Mark Littmann, Fred Espenak, and Ken Willcox, *Totality Eclipse of The Sun*, New York : Oxford University Press, Edisi 3, 2008, h. 13.

¹⁹ Orbit miring Bulan melintasi orbit Bumi di dua tempat. Persimpangan tersebut disebut *Node*. simpul berasal dari kata latin yang berarti simpul, dalam arti menenun, di mana dua benang diikat menjadi satu. Mark Littmann & dkk, *Totality*, ... h.13.

²⁰ Kelipatan terdekat dengan 180° adalah 0° atau 360° . Apabila F dekat dengan 0° atau 360° , maka gerhana terjadi di dekat titik naik bulan (*moon's ascending node*). Adapun jika dekat dengan 180° , maka gerhana terjadi di dekat titik turun bulan (*moon's descending node*). Jean Meeus, *Astronomical Algorithms*, Virginia: Willman Bell. Inc., 1991, h. 350.

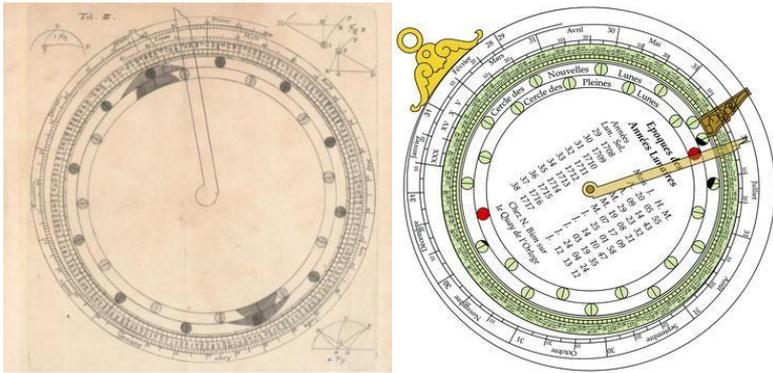
peluang terjadinya gerhana, begitu juga semakin besar luasnya, maka semakin besar peluang terjadinya gerhana.

Menilik sekilas pada kitab *Tabulae Astronomicae* yang menjadi salah satu karya astronomi Philippe De La Hire, maka bisa dilogikakan kenapa nama karyanya *Tabulae* yang dalam bahasa inggrisnya “Tabel” karena hampir sebagian halamannya berupa tabel-tabel yang beragam fungsinya. Sebanyak 102 halaman berisi teks dan 81 halaman memuat tabel.²¹ Namun demikian, ternyata pada November 1730, seorang astronom berkebangsaan Portugis²² Pedro da Silva berkunjung ke Istana Kerajaan Jayasimha, India. Di sana ia menemukan buku copy-an *Tabulae Astronomicae* edisi kedua yang terbit pada tahun 1727 di Paris. Ia memilih buku ini sebagai perwakilan astronomi Eropa kontemporer yang dikirim untuk Maharaja. Namun ia menjumpai sebuah fakta bahwa Philippe de La Hire menemukan kesalahan pada Tabel Rudolphine yang terletak pada sisi hipotesis Kepler yang tidak lengkap.²³

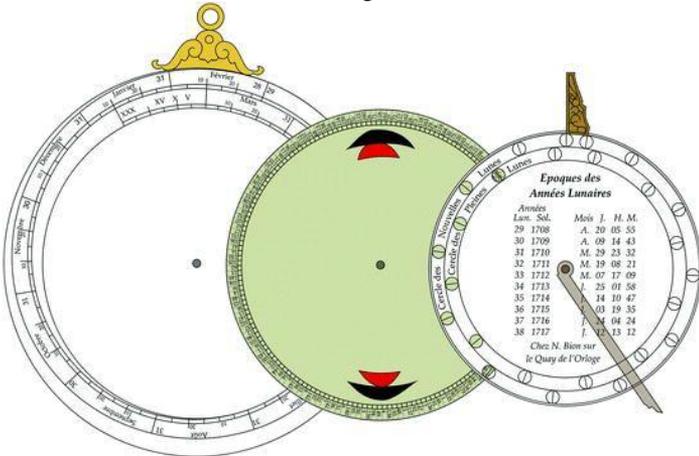
²¹ Baca bukunya Philippe De La Hire *Tabulae Astronomicae*.

²² Bangsa Portugis (Portugis : *Portugueses*) merupakan bangsa asli Portugal yang secara genetik dan budaya sama dengan suku Mediterania. Bangsa ini pada umumnya menghuni di Negara Portugal dan Brasil. https://id.wikipedia.org/wiki/Bangsa_Portugis diakses pada Senin, 10 Desember 2018 jam 9.57 WIB.

²³ David Pingree, *The Drkpaksasarani : A Sanskrit Version of De La Hire's Tabulae Astronomicae*, Netherlands : IAU, 1998, h.729.



Gambar 1 : sisi kiri adalah gambar asli *Volvelle* Philippe De La Hire dan kanan adalah desain ulang oleh Nicolas Bion.²⁴



Gambar 2 : Tiga komponen *Volvelle* oleh Nicolas Bion.²⁵

²⁴ *Volvelle* bentuk aslinya dimuat di bagian-bagian akhir buku *Tabulae Astronomicae* bersama gambar Bulan, Kuadrant, dan Teleskop. Lihat Philippe De La Hire, *Tabulae Astronomicae Ludovici Magni Iussu Et Munificentia Exaratae Et In Lucem Editae*, Paris : ETH-Bibliothek Zurich, 1727, p. 218. Adapun Nicolas Bion mendesain ulang dan diterbitkan pada tahun 1752 di Paris. Nicolas Bion, *The Traite de la construction et des principaux usages des instrumens de mathematique*, Paris : Pres La Rue Gille, 1752, h. 241.

²⁵ Sumber gambar ada di buku Feza Gunergun and Dhruv Raina, *Science, ...*h.117.

Volvelle Philippe De La Hire ini menarik banyak perhatian beberapa ilmuwan, terutama Mustafa Sidki Efendi²⁶ seorang anggota duta besar Turki di wilayah Paris yang turut mempelajarinya serta memberi komentar. Terkait instrumen *Volvelle* karya Philippe De La Hire. Ada dua hal yang membuat *Volvelle* ini kurang memuaskan baginya. *Pertama*, durasi penggunaan yang hanya digunakan selama 179 tahun bulan (secara masehi dari tahun 1680-1854). *Kedua*, instrumen digunakan untuk meridian Paris. Kelemahan ini membuat Sidki yang dikenal berpengetahuan dalam bidang matematika dan astronomi abad pertengahan menganggap bahwa *Volvelle* yang selanjutnya disebut *eclipse calculator* oleh Bion tidak sebagai “*Novelty*”.²⁷

Instrumen *Volvelle* ini kurang praktis bagi umat Islam, terutama dalam aplikasi kalender. Karena untuk mendapatkan tanggal 1 tahun baru harus dimulai dengan *new moon* pertama pada tahun tersebut. Jika awal *new moon* meleset, maka bulan-

²⁶ Mustafa Sidki Efendi merupakan anggota kedutaan besar Turki yang juga ahli matematika. Ia bekerja dibawah pimpinan Mahmud Celebi. Mendapat tugas untuk menterjemahkan *Eclipsarium* yaitu sebuah naskah berbahasa Romawi tentang kontruksi serta penggunaan instrumen untuk memprediksi fenomena gerhana Bulan dan gerhana Matahari. Feza Gunerun and Dhruv Raina, *Science*,...h.110.

²⁷ *Novelty* adalah sesuatu yang baru. Stubbe mendefinisikan *Novelty* dengan tiga artikulasi yaitu identitas, bentuk, dan perbedaan. Tiga artikulasi saling koherensi di antara elemen-elemen untuk membuat suatu objek berbeda secara jelas. Stubbe Julian, *Artikulating Novelty in Science and Art : The Comparative Technography of a Robotic Hand and a Media Art Installation*, London : Springer, 2017, h. 233-234.

bulan yang mengikuti akan meleset semua. Hal ini dikarenakan dalam penentuan awal *new moon* saja bisa terjadi selisih. Begitu juga data jam dan menit yang diberikan hanya sekadar pendekatan. Artinya data jam dan menit tidak terlalu tepat sebagaimana yang disampaikan Bion. Namun demikian, Lars Gislen juga menyimpulkan bahwa kekurangan dari instrumen *Volvelle* ada dalam keakuratan dan kelebihan ada pada penggunaan yang mudah dan cepat.²⁸

Perhitungan Gerhana memang dikenal sebagai perhitungan yang membosankan karena harus mensinkronkan posisi Matahari, memahami orbit Bulan dan kecepatannya.²⁹ Sejarah mencatat bahwa perkembangan instrumen prediksi gerhana sudah dimulai dari zaman prasejarah, seperti *Stonehenge*³⁰ yang diklaim sebagai media prediksi gerhana. *Antikythera*³¹ yang dibangun pada abad ke-2 BCE dengan konsep design spiralnya. Bangsa Yunani mampu memprediksi gerhana secara kasar. Pada

²⁸ Lars Gislen dan Chris Eade, Philippe,...h.47.

²⁹ P. Duffet-Smith, *Practical Astronomy with Your Calculator*, Cambridge : Cambridge University Press, 1979, h.157 & 161.

³⁰ Stonehenge adalah salah satu monumen batu prasejarah yang paling mengesankan dan paling dikenal di dalam dunia. John Brian (26 February 2011). *Stonehenge : Glacial Transport of Bluestones Now Confirmed?* (PDF) (Press release). University of Leicester. Diakses pada 24 Desember 2018 jam 15.24 WIB.

³¹ Antikythera adalah salah satu perangkat perhitungan astronomi atau kalender yang melibatkan pengaturan yang sangat canggih dengan lebih dari tiga puluh roda gigi. Derek de Solla Price, *Gears from the Greeks. The Antikythera Mechanism: A Calendar Computer from ca. 80 B. C.*, *Transactions of the American Philosophical Society*, New Series, Vol. 64, No. 7 (1974), h. 5.

akhirnya tradisi-tradisi pembuatan instrumen digalakkan oleh ilmuan Muslim pada abad ke-9, yaitu dengan hadirnya karya *Equatorium*³². Sebuah instrumen yang dikonsep untuk menghitung posisi planet di masa lampau maupun masa mendatang. Instrumen ini mampu dikembangkan pada abad ke-14 oleh Jamshid al-Kashi³³ yang merupakan ilmuan terkenal di Observatorium Ulugh Beg. Dia mengembangkan instrumen tersebut sehingga bisa menemukan posisi lintang Bulan dan Matahari sebenarnya, jarak, serta equation planet.³⁴

Penulis memandang bahwa setelah Sidki memberikan komentar terkait instrumen tersebut, belum ditemukan hasil terbarunya. Artinya instrumen *Volvelle* yang bisa digunakan secara baik untuk keperluan umat Islam terutama kita yang bergeliat di ranah ilmu falak. Prediksi gerhana menandakan adanya tanda waktu, dan waktu ini yang digunakan sebagai ruang ibadah umat Islam, yaitu salat gerhana. Sebagaimana anjuran Nabi Muhammad SAW dalam hadis-hadis gerhananya.

Dalam hal tanda waktu, bisa diketahui bahwa desain instrumen *Volvelle* hanya memberikan data grid sampai hari

³² *Equatorium* adalah instrumen astronomi yang mulai muncul pada paruh kedua abad ke-13 M di Eropa di luar Spanyol. Fuat Sezgin, *Science and Technology in Islam*, Vol 1, Frankfurt : Institute for The History of Arabic-Islamic Science, 2010, h. 173.

³³ *Jamshid ibn Mas'ud ibn Mahmud, Ghiyath al-Din al-Kashi* (atau al-Kashani) adalah seorang ilmuan kebangsaan Iran di abad ke-15. Baca E.S. Kennedy, *The Planetary Equatorium of Jamshid Ghiyath al-Din Al-Kashi*, Princeton : Princeton University Press, 1960, h. vii.

³⁴ Feza Gunergun and Dhruv Raina, *Science*, ...h.106-107.

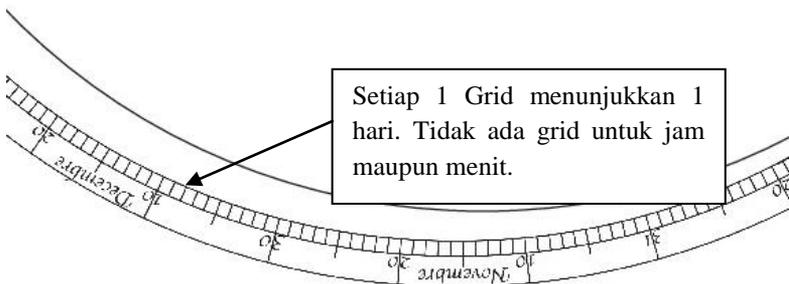
sehingga data jam dan menit tidak ada, sedangkan waktu yang dibutuhkan umat Islam adalah minimal bisa mengetahui sampai pada jam dan menit berapa gerhana terjadi. Philippe De La Hire sebenarnya juga telah menyantumkan tabel data gerhana yang bisa mencapai menit, hanya saja ini diberikan per *epoch* atau tiap satu tahun satu kali. Tentunya ini kurang efektif apabila menghitung untuk bulan kedua, ketiga dan seterusnya.

EPOCHÆ ANNORUM LUNARIUM,

Juxta Tempus Usuale, quod currensum dierum media nocte, ut unigò numeratur, incipit sub Meridiano Parisiensis.

Anni Usuales.		Dies. H. M.	Anni Usuales.		Dies H. M.
179. 1680.	Febr.	29 14 24	51. 1720.	August.	24 7 44
1. 1681.	Febr.	17 13 13	52. 1730.	August.	13 26 32
1. 1682.	Febr.	7 8 1	53. 1731.	August.	3 1 21
10. 1689.	Novem.	12 6 10	54. 1732.	Jul.	12 10 9
20. 1699.	Julij.	26 22 37	55. 1733.	Jul.	11 18 58
21. 1700.	Julij.	16 7 26	56. 1734.	Jul.	1 3 46
22. 1701.	Julij.	5 16 14	57. 1735.	Jun.	20 12 35

Gambar 3 : Tabel *epoch* Philippe De La Hire. Pada kotak merah adalah data jam, menit, dan hari.



Gambar 4 : pada bagian kalender hanya memuat grid untuk hari.

Masuk di era abad 20, penggunaan *Volvelle* semakin jarang ditemui. Hal ini tidak lain karena persaingan instrumen-instrumen lain yang lebih baik kualitasnya. Lebih modern desainnya dan lebih aplikatif. Tidak hanya itu, penggunaan

instrumen di era milenial dianggap sebagai hal lama yang kian ditinggalkan. Namun, sejarah menyatakan bahwa instrumen menjadi *device* yang membantu perkembangan data-data astronomi di dunia.

Sisi edukatif instrumen astronomi dalam beberapa hal seperti untuk alat hitung, alat memahami pola alam dan memahami pola berkembang adalah keadaan yang penting. Terutama dalam melahirkan instrumen-instrumen baru yang bermanfaat. Era milenial bukan hanya meninggalkan era lama yang telah terpinggirkan. Namun, bisa memadukan dengan perkembangan pengetahuan yang semakin maju.

Berangkat dari permasalahan di atas, penulis menyadari bahwa instrumen *Volvelle* memang dibuat oleh ilmuwan non-Islam sehingga wajar jika dalam beberapa hal tidak aplikatif dengan sistem penggunaan umat muslim. Penulis juga menyadari bahwa era modern menuntut kita untuk bersaing secara kreatif dan inovatif. Oleh karena itu, adanya transformasi instrumen *Volvelle* tersebut sangat diperlukan dengan mengkaji ulang secara mendalam serta mengembangkan beberapa tambahan sebagai evaluasi dari kekurangan-kekurangan yang ada. Baik secara algoritma, desain, maupun model yang bisa disesuaikan dengan kemajuan ilmu pengetahuan. Dalam hal ini, penulis menyimpulkan point inovasi yang bisa dilakukan di antaranya ; memberikan grid sendiri untuk jam dan menit, memberi nama hari dan pasaran pada bidang kalender, mengembangkan sisi akurasi serta memodelkan dalam bentuk desain baru yang lebih baik.

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana konsep pengembangan *Volvelle* Philippe de La Hire dalam penentuan waktu gerhana Matahari dan Bulan?
2. Bagaimana keakurasian *Volvelle* inovasi dalam memberikan data waktu gerhana Matahari dan Bulan?

C. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian³⁵ ini adalah :

1. Mengembangkan *Volvelle* karya Philippe de La Hire dalam penentuan prediksi gerhana Matahari dan Bulan.
2. Mengetahui perbandingan tingkat akurasi antara *Volvelle* model awal dengan model pengembangan dalam penentuan prediksi gerhana Matahari dan Bulan.

Adapun manfaat penelitian ini adalah :

1. Mengetahui konsep dasar logika penyusunan instrumen *Volvelle* dalam penentuan prediksi gerhana Matahari dan Bulan.
2. Memberikan gambaran metode pengembangan instrumen *Volvelle* karya Philippe de La Hire
3. Melestarikan dan menyiarkan penggunaan instrumen-instrumen astronomi terutama dalam penentuan prediksi gerhana.

³⁵ Suatu penelitian, khususnya penelitian tentang ilmu-ilmu pengetahuan empiris, pada umumnya bertujuan untuk menemukan, mengembangkan, atau menguji kebenaran suatu pengetahuan. Pada point mengembangkan diartikan sebagai memperluas dan menggali lebih dalam apa yang sudah ada. Sutrisno Hadi, *Metodologi Riset*, Yogyakarta : Pustaka Pelajar, 2015, h. 3-4.

4. Memberi kemudahan khalayak umum untuk menggunakan pengembangan *Volvelle* karya Philippe de La Hire, dan.
5. Menjadi penelitian dasar untuk bisa dikembangkan yang lebih baik.

D. Spesifikasi Produk

Instrumen *Volvelle* karya Philippe De La Hire sebagaimana penulis uraikan dalam latar belakang, terdiri atas tiga piringan. Masing-masing digunakan sesuai fungsinya. Dengan demikian, spesifikasi produk³⁶ yang diharapkan dalam penelitian dan pengembangan ini adalah:

1. Instrumen *Volvelle* yang bisa digunakan di meridian Semarang.
2. Instrumen *Volvelle* yang bisa diakulturasi dengan budaya Jawa, seperti mencantumkan nama *pasaran* dalam desain kalender.
3. Instrumen *Volvelle* yang bisa memberikan info secara global jumlah gerhana dalam satu tahun.
4. Instrumen *Volvelle* berbasis manual dengan pemilihan media akrilik, kayu atau sejenisnya.
5. Desain baru *Volvelle* dikembangkan dengan software pengolah gambar Corel Draw X5.

E. Asumsi Pengembangan

³⁶ Berdasarkan buku panduan penulisan karya tulis ilmiah, maka tahap spesifikasi maupun asumsi pengembangan harus dimasukkan ke dalam kerangka penelitian pengembangan. Tim Perumus, *Panduan Penulisan Karya Tulis Ilmiah*, Semarang : Pascasarjana UIN Walisongo, 2017, h. 31.

Asumsi pengembangan penulis dalam penelitiannya dan pengembangan *Inovasi Instrumen Falak Volvelle* melalui pendekatan saintifik sebagai berikut :

1. Instrumen *Volvelle* pengembangan ini bisa menjadi alat bantu dalam prediksi waktu gerhana Matahari dan Bulan.
2. Mahasiswa maupun pengguna instrumen *Volvelle* ini bisa memanfaatkannya untuk media pembelajaran.
3. Validator yaitu dosen maupun ahli yang mempunyai kompetensi dalam bidang ilmu falak. Selain itu juga validator ahli media desain instrumen yang sudah cakap.
4. Item-item dalam angket validasi mencerminkan penilaian instrumen secara komprehensif, menyatakan layak dan tidaknya instrumen digunakan.
5. Produk yang dihasilkan berupa instrumen *Volvelle* hasil pengembangan yang lebih inovatif, kreatif dan elegan.
6. Pendekatan dalam penelitian pengembangan ini secara saintifik
7. Uji validasi dilakukan pada validasi ahli dan uji coba empiris (uji coba lapangan)

F. Kajian Pustaka

Sejauh penelusuran penulis, di antara penelitian yang membahas tentang *Volvelle* atau instrumen sejenis yang sama-sama mempunyai fungsi untuk mengetahui waktu terjadinya gerhana adalah :

Lars Gislen, J. Chris Eade dalam jurnalnya “ *Philippe De La Hire’s Eighteenth Century Eclipse Predictor*”. Jurnal ini sekilas hanya menerangkan kembali bahwa *Volvelle* adalah

instrumen yang digunakan untuk menghitung lintang geografis serta gerhana. Ia juga menyimpulkan bahwa secara komparasi, maka *Volvelle* ini kurang praktis dengan nilai selisih bisa mencapai 1 hari. Namun manfaatnya adalah sangat mudah digunakan dan cepat. Di samping itu, ia melanjutkan data *epoch* yang tadinya hanya dari tahun 1680-1854 (179 tahun) ditambah menjadi tahun 1800-2067 (267 tahun).³⁷

Virendra Nath Sharma dalam jurnalnya “*Zij-I Muhammad Shahi & The Tables of De La Hire*”, menerangkan permasalahan tabel yang ada di buku *Tabulae* dengan karya baru milik astronom India Sawai Jain Sing. Permasalahan duplikasi tabel antara kedua ilmuan tersebut dalam artikel ini menjadikan Virendra menginvestigasi bahwa *Zij* yang dibuat Sawai Jain Sing menggunakan model kebanyakan *Zij-zij* Islam. Adapun adanya duplikasi itu tidak benar, karena diduga parameter yang ada di dua karya tersebut adalah dari sumber yg berbeda.³⁸

David Pingree dalam artikelnya “*The Drkpaksasarani : A Sanskrit Version Of De La Hire’s Tabulae Astronomicae*”, menjelaskan karya terjemahan yang memuat banyak kesalahan, sehingga tidak heran jika karya tersebut dihakimi suatu

³⁷ Lars Gislén dan Chris Eade, Philippe De La Hire’s Eighteenth Century Eclipse Predictor, *Journal of Astronomical History and Heritage*, (2016).

³⁸ Virendra Nath Sharma, *Zij-I Muhammad Shahi and The Tables of De La Hire*, *India Journal of History of Science*, 25, 1990.

kegagalan.³⁹ Feza Gunergun dalam bukunya “*Science Between Europe And Asia*”, di bagian bab “*The Ottoman Ambassador’s Curiosity Coffin : Eclipse Prediction with De La Hire’s “Machine” Crafted by Bion of Paris*”, menerangkan awal ketertarikan duta besar Turki terhadap karya Philippe De La Hire. Ia mempelajari, menerjemahkan, dan memberi komentar bahwa karya *Tabulae Astronomicae* terdapat ketidakcocokan data awal *new moon* suatu tahun dengan yang sesungguhnya. Di samping instrumen hanya diperuntukkan bagi meridian Paris, instrumen tersebut jika digunakan untuk menentukan data hijriyah, maka akan kurang praktis karena beberapa kendala yang tidak support. Akhirnya ia mengajukan perbaikan atau tambahan operasi guna menyelesaikan ketidakcocokan itu.⁴⁰

Nicolas Bion dalam bukunya “*Traite De La Construction Et Des Principaux Usages Des Instrumens De Mathematique*”, mendeskripsikan kembali sesuai bidangnya dari deskripsi instrumen, konstruksi, serta penggunaan. Hanya saja ia mendesain ulang dengan hasil yang lebih bagus. Bion juga mengatakan bahwa instrumen yang digunakan untuk meridian Paris bisa direduksi untuk meridian yang lain.⁴¹

³⁹ David Pingree, *The Drkpaksasarani : A Sanskrit Version of De La Hire’s Tabulae Astronomicae*, Netherlands : IAU, 1998.

⁴⁰ Feza Gunergun and Dhruv Raina, *Science Between Europe and Asia*, London : Springer, 2011.

⁴¹ Nicolas Bion, *The Traite De La Construction Et Des Principaux Usages Des Instrumens De Mathematique*, Paris : Pres La Rue Gille, 1752.

Lars Gislén dalam artikelnya “*A Lunar Eclipse Volvelle In Petrus Apianus’ Astronomicum Caesareum*”, menjelaskan instrumen *Volvelle* milik Petrus Apianus yang difungsikan sebagai alat penentu fenomena gerhana Bulan. *Volvelle* ini sudah ada sebelum era Philippe De La Hire. di samping itu, secara umum komponen yang ada di Petrus Apianus sudah berbeda dengan *Volvelle* Philippe.⁴²

Owen Gingerich ikut menjelaskan karya spektakuler dari Petrus Apianus dengan instrumennya. Dalam artikelnya “*Apianus's Astronomicum Caesareum And Its Leipzig Facsimile*”, ia menjelaskan bahwa fungsi *Volvelle* Petrus adalah untuk menentukan lokasi suatu planet dengan model Ptolomeus serta menentukan posisi Bulan.⁴³

Dari beberapa penelitian di atas, penulis menyimpulkan bahwa secara umum penelitian-penelitian sebelumnya hanya mendeskripsikan kembali konstruksi dan penggunaan dari *Volvelle* milik Philippe De La Hire. Keterkaitan dengan pengembangan yang pernah disampaikan oleh duta besar Turki belum tercover. Di samping penelitian penulis berkaitan dengan pengembangan *Volvelle* karya Philippe de La Hire agar lebih aplikatif dan memiliki akurasi yang lebih baik. Dengan demikian,

⁴² Lars Gislén dan Chris Eade, *A Lunar Eclipse Volvelle In Petrus Apianus’ Astronomicum Caesareum*, *Journal of Astronomical History and Heritage*, 19(03), 2016.

⁴³ Owen Gingerich, *Apianus's Astronomicum Caesareum And Its Leipzig Facsimile*, *Journal for The History of Astronomical*, (02), 1971.

penulis menyatakan bahwa belum ada penelitian yang sesuai dengan ide penulis.

G. Metode Penelitian

Metode penelitian ini adalah jenis *development research*⁴⁴, yaitu suatu pengkajian sistematis terhadap pendesaianan, pengembangan dan evaluasi program, proses dan produk pembelajaran yang harus memenuhi kriteria validitas, kepraktisan dan efektifitas⁴⁵ dan juga nilai tambah.

1. Tujuan Penelitian Pengembangan

Tujuan penelitian ini adalah untuk meningkatkan proses rancangan instruksional, pengembangan dan evaluasi yang didasarkan pada situasi pemecahan masalah spesifik yang lain atau prosedur pemeriksaan yang digeneralisasikan. Jan Van der Akker mengatakan bahwa tujuan penelitian pengembangan ada dua, yaitu ; pengembangan produk dan perumusan saran-saran metodologis untuk pendesaianan dan evaluasi prototype produk tersebut.⁴⁶ Dengan demikian, penulis menjadikan instrumen *Volvelle* Philippe de La Hire di abad ke-18 ini sebagai media yang dikembangkan.

⁴⁴ Secara pendekatan developmental (pengembangan), data yang ada berupa kuantitatif dan kualitatif yang masalahnya dipecahkan secara deskripsi. Sedangkan penekanan pada teorinya berupa building and revising. Timothy J. Ellis and Yair Levy,dkk, "Towards a Guide for Novice Researchers on Research Methodology : Review and Proposed Methods", *Issue s in Informing Science and Information Technology*, Volume 9, (2009), h.325.

⁴⁵ Richey, Rita C, "Developmental Research: The Definition and Scope", *ERIC* , (1994), h.1.

⁴⁶ Jan Van Der Akker, *Design Approaches and Tools in Education and Training*, USA : Kluwer Academic Publishers, 1999 h.5.

Sebagai data evaluasi awal, penulis mengacu pada masukan-masukan peneliti sebelumnya yang berbicara aspek akurasi, desain dan algoritma. Di samping memunculkan nilai-nilai inovasi baru yang bisa menjadikan instrumen Volvele tersebut memiliki desain piringan yang lebih detail, aplikatif, dan praktis.

2. Proses Penelitian Pengembangan

Ada 4 tahapan yang dilalui dalam penelitian pengembangan ini, yaitu : pemeriksaan pendahuluan (*preliminary investigation*), penyesuaian teoritis (*teoritical embedding*), uji empiris (*empirical testing*) dan proses, hasil dokumentasi, analisa dan refleksi (*documentation, analysis, and reflection on proses and outcome*). Tahap pertama yaitu pemeriksaan pendahuluan (*preliminary investigation*). Tahap ini pemeriksaan pendahuluan dilakukan secara sistematis dan intensif dari permasalahan meliputi ; tinjauan ulang literature, konsultasi tenaga ahli, analisa tentang ketersediaan contoh untuk tujuan yang terkait, dan studi kasus dari praktek yang umum untuk merincinikan kebutuhan.

Kedua adalah penyesuaian teoritis (*teoritical embedding*) yang menitikberatkan pada usaha lebih sistematis untuk menerapkan dasar pengetahuan sebagai teori untuk merancang pengembangan. Ketiga adalah uji empiris (*empirical testing*) yang mengharuskan memiliki bukti empiris yang jelas dalam menampilkan kepraktisan dan efektifitas dari intervensi. Terakhir adalah proses dan hasil dokumentasi, analisa dan refleksi (*documentation, analysis, and reflection on proses and outcome*). Pada tahap ini implementasi dan hasil memiliki peran dalam

spesifikasi dan perluasan metodologis rancangan dan pengembangan penelitian.⁴⁷

Implementasi dan hasilnya untuk berperan pada spesifikasi dan perluasan metodologis rancangan dan pengembangan penelitian.

3. Metode Penelitian Pengembangan

Pada dasarnya, metode yang digunakan tidak terlalu beda dengan lainnya. Akan tetapi penelitian pengembangan difokuskan pada 2 tahap yaitu tahap *preliminary* dan tahap *formative evaluation*⁴⁸ meliputi ; *self evaluation*, *prototyping* (*expert reviews* dan *one-to-one*, dan *small group*), serta *field test*. Adapun alur desain formative evaluation sebagai berikut :

- Tahap *Preliminary*

Peneliti menentukan tempat, media dan subjek penelitian dengan cara menghubungi atau mendapatkan media yang dijadikan lokasi atau objek penelitian. Dalam hal ini penulis menjadikan instrumen *Volvelle* Philippe de La Hire beserta buku utama sebagai media penelitian. Selanjutnya mengadakan persiapan-persiapan, seperti mencari literature maupun desain instrumen yang berbicara tentang *Volvelle* maupun gerhana, merinci celah pengembangan, mengatur jadwal kerja sama dengan pihak ahli maupu pihak tester terhadap instrumen tersebut.

- Tahap *Formative Evaluation*

- 1) *Self Evaluation*

⁴⁷ Jan Van Der Akker, *Design*, ... h.8.

⁴⁸ Jan Van Der Akker, *Design*, ... h.10.

Dua tahapan yang dilakukan pada *self evaluation* adalah analisis dan desain. Analisis merupakan langkah awal penelitian pengembangan. Pada bagian ini, peneliti menganalisis instrumen Volvelle Philippe de La Hire dari segi algoritma, bentuk desain, dan fungsionalnya. Kedua adalah desain, yaitu penulis mendesain instrumen Volvelle Philippe de La Hire dan mencetaknya guna mempermudah pengembangan. Hasil desain yang telah diperoleh pada akhirnya divalidasi oleh pakar (*expert*), pembimbing dan atau teman sejawat. Hasil pendesainan ini disebut sebagai prototype pertama.

2) *Prototyping*

Hasil prototype pertama yang dikembangkan atas dasar *self evaluation* diberikan kepada pakar (*expert review*) dan mahasiswa (*one-to-one*) secara parallel. Dari hasil keduanya dijadikan bahan revisi. Hasil revisi pada prototype pertama dinamakan prototype kedua.

- *Expert Review*

Produk yang telah didesain dicermati, dinilai dan dievaluasi oleh pakar. Pakar-pakar tadi menelaah materi, konstruksi dan fungsi dari masing-masing prototype. Saran-saran para pakar digunakan untuk merevisi perangkat yang telah dikembangkan. Pada tahap ini, tanggapan dan saran dari para pakar (*validaator*) tentang desain yang telah dibuat ditulis pada lembar validasi sebagai bahan merevisi dan menyatakan bahwa apakah desain ini telah valid atau tidak.

- *One-to-one*

Tahap ini peneliti mengujicobakan desain yang telah dikembangkan kepada mahasiswa di lingkungan Padepokan Al-Biruni (Mahasiswa S2 Ilmu Falak) yang menjadi tester. Hasil dari pelaksanaan ini digunakan untuk merevisi desain yang telah dibuat.

- *Small group*

Hasil revisi dari expert dan kesulitan yang dialami pada saat uji coba pada prototype pertama dijadikan dasar untuk merevisi prototype tersebut dan dinamakan prototype kedua kemudian hasilnya diujicobakan pada small group. Hasil dari pelaksanaan ini digunakan untuk merevisi sebelum diujicobakan pada tahap *field test*. Hasil revisi berdasarkan saran/komentar mahasiswa pada small group dan hasil analisis bagian ini dinamakan prototype ketiga.

3) *Field test*

Saran-saran serta hasil ujicoba pada prototype kedua dijadikan dasar untuk merevisi desain prototype kedua. Hasil revisi diujicobakan ke subjek penelitian dalam hal ini sebagai uji lapangan atau field test. Produk yang telah diujicobakan pada uji coba lapangan haruslah produk yang telah memenuhi kriteria kualitas sebagaimana disebutkan

oleh Akker yaitu tiga kualitas validitas, kepraktisan dan efektifitas.⁴⁹.

4. Subjek Penelitian

Subjek penelitian yang penulis meliputi subjek instrumen, algoritma dan subjek ahli. Instrumen sebagai subjek peneliti dimaksudkan sebagai acuan utama dalam mengkaji ulang serta melihat celah kekurangan sehingga menjadi bahan pengembangan. Subjek algoritma dimaksudkan sebagai landasan dasar penyusunan instrumen, dan subjek ahli dimaksudkan sebagai subjek konsultasi penulis dalam menimbang kelayakan instrumen.

5. Pengumpulan Data

Untuk mencari dan menemukan data-data yang diperlukan, maka penulis menggunakan beberapa metode dengan tujuan sumber datanya lebih bisa dipertanggungjawabkan, di antara metode yang dipakai peneliti adalah :

a. Dokumentasi

Pada tahap ini penulis mempelajari dokumen-dokumen yang berkenaan dengan peristiwa gerhana Matahari dan instrumen. Hasil ini secara metode sebagai tambahan data primer.

Dokumentasi berasal dari asal kataya “ dokumen “ yang artinya barang-barang tertulis di dalam melaksanakan metode

⁴⁹ Tiga kriteria tersebut yaitu validitas dapat dievaluasi secara memadai melalui penilaian ahli, kepraktisan melalui evaluasi-mikro dan uji coba, dan efektivitas dalam uji lapangan. Jan Van Der Akker, *Design, ...* h.11.

dokumentasi. Penulis bermaksud untuk memperoleh data secara langsung di tempat penelitian seperti buku-buku yang relevan, peraturan-peraturan, laporan kegiatan, foto-foto, film dokumenter, dan data yang relevan dengan penelitian.

b. Metode Wawancara

Metode wawancara adalah salah satu metode atau cara untuk mengumpulkan data. Dalam hal ini peneliti mencari dan mendapatkan keterangan atau informasi secara langsung (lisan) dari seseorang (responden) tentang suatu permasalahan yang diangkat oleh peneliti. Baik dari permasalahan algoritma, instrumen maupun aplikasi.

6. Analisis Data

Pada metode penelitian ini, data yang sudah banyak dikumpulkan secara terus menerus mengakibatkan variasi dan kemungkinan bisa semakin bermacam-macam⁵⁰. Oleh karena itu, data yang didapat banyak dan kompleks tersebut memerlukan proses penyesuaian dengan kerangka kerja atau fokus masalah tertentu, maka dengan ini penulis mengambil teknik analisis data *deskriptif analitis*⁵¹, yaitu yang menggambarkan sebuah pemahaman dalam hal deskripsi, konstruksi dan penggunaan instrumen *Volvelle* kemudian diinterpretasi guna dikembangkan. Peneliti juga menggunakan metode *verifikatif analitis* sebagai

⁵⁰ Abuddin Nata, *Metodologi Studi Islam*, Jakarta : PT. Raja Grafindo Persda, 2006, Ibid, hlm. 35.

⁵¹ Suatu analisis data dengan menggambarkan suatu peristiwa atau suatu hal yang berkenaan dengan data yang diinginkan. Lihat Saifuddin Azwar, *Metodologi*,... h. 5.

metode untuk membuktikan fenomena gerhana Matahari/Bulan melalui kriteria yang diberikan oleh beberapa literatur.⁵² Penulis juga menggunakan teknik analisis data statistik.

7. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian ini dibagi menjadi 5 bab yaitu : BAB I merupakan pendahuluan yang berisi tentang uraian latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, spesifikasi produk, asumsi pengembangan, kajian pustaka, metode penelitian, dan sistematika penelitian. BAB II merupakan landasan teori yang berisi tentang hisab rukyah gerhana, instrumentasi dalam tradisi astronomi Islam, dan Persamaan Aritmatika. BAB III merupakan kumpulan data yang berkaitan dengan profil keilmuan Philippe De La Hire, deskripsi, konstruksi dan penggunaan *Vovelle*, model algoritma penentuan gerhana dalam instrumen *Volvelle*.

BAB IV berisi hasil pengembangan meliputi inovasi algoritma dan data tabel epoch, konsep data global dalam prediksi awal gerhana, design kalender berskala jam, pasaran dan hari serta uji akurasi *Volvelle* model awal dengan model pengembangan dan uji akurasi *Volvelle* model pengembangan dengan data gerhana kontemporer milik NASA. BAB V merupakan bab terakhir dalam penelitian ini yang berisi kesimpulan, saran dan penutup.

⁵² Literatur yang dimaksud adalah buku Jean Meeus yang berjudul *Astronomical Algorithms*.

BAB II

HISAB RUKYAH GERHANA, INSTRUMENTASI DALAM TRADISI ASTRONOMI ISLAM DAN PERSAMAAN ARITMATIKA

A. Hisab Rukyah Gerhana

1. Landasan Hukum Hisab Rukyah Gerhana

Matahari dan Bulan merupakan satu dari gambaran alam semesta yang menarik perhatian manusia. benda angkasa ini disebut sebagai sesuatu yang mengesankan bagi masyarakat kuno. Hal ini tidak terlepas dari misteri yang ditimbulkan.¹

Alquran sendiri menyebut istilah dua benda ini di berbagai surat dengan beragam makna. Beberapa di antaranya adalah surat Yunus ayat 5 yang membicarakan tentang keteraturan gerak benda langit.²

هُوَ الَّذِي جَعَلَ الشَّمْسَ ضِيَاءً وَالْقَمَرَ نُورًا وَقَدَرَهُ مَنَازِلَ
لِتَعْلَمُوا عَدَدَ السِّنِينَ وَالْحِسَابَ ۗ مَا خَلَقَ اللَّهُ ذَلِكَ إِلَّا
بِالْحَقِّ يُفَصِّلُ الْآيَاتِ لِقَوْمٍ يَعْلَمُونَ ﴿٥﴾

Dia-lah yang menjadikan Matahari bersinar dan Bulan bercahaya dan ditetapkan-Nya manzilah-manzilah (tempat-tempat) bagi perjalanan Bulan itu, supaya kamu mengetahui bilangan tahun dan perhitungan (waktu). Allah tidak menciptakan yang demikian itu melainkan dengan hak. Dia

¹ Gerhana yang terjadi dengan intensitas sedikit menjadi salah satu contoh.

² Matahari yang bersinar memberi dampak nyata bagi manusia dalam penerangan, waktu beribadah, dan kegiatan social.

menjelaskan tanda-tanda (kebesaran-Nya) kepada orang-orang yang mengetahu.³

Syaikh Thanthawi Jauhari dalam tafsirnya *al-Jawahir* menjelaskan bahwa seandainya tidak ada Bulan, maka tidak akan ada bulan-bulan dan minggu. Bulan menjadi objek yang manusia sendiri berbeda-beda dalam membuat konsep perhitungan sebagaimana bunyai kalimat akhir *عدد السنين والحساب* . Keteraturan peredaran Bulan selama 28 manzilah kemudian diadopsi menjadi bulan yang terbagi menjadi 4 musim, yaitu musim. Setiap musim memiliki 3 bulan, setiap bulan memiliki 4 minggu dan setiap minggu memiliki 7 hari hingga membentuk sistem kalender sebagaimana sekarang.⁴

Adanya sistem waktu yang baku, secara nyata memberi kemudahan bagi manusia di Bumi. Kita juga bisa menarik pemahaman bahwa penciptaan Matahari, Bulan dan secara luas benda-benda langit lainnya mempunyai manfaat yang luas bagi kelangsungan hidup manusia. Adanya hikmah di balik penciptaan tersebut, sudah pasti meniadakan kata percuma.

Manusia yang tinggal di Bumi menjadikan tiga pasang benda langit menjadi saling terikat. Adanya Bumi adalah sebagai tempat tinggal manusia yang luas, tempat fasilitas Allah bagi manusia, tempat istirahat, tempat bekerja, tempat

³ Kementerian Agama RI, *Al-Qur'an Dan Tafsirnya*, Jakarta : KEMENAG RI, 2012, hlm. 518.

⁴ Syaikh Thonthowi Jauhari, *al-Jawahir fi Tafsir al-Qur'an al-Karim*, Juz 6, Mesir : Mustafa al-Bab al-Halbi wa Wiladah, 1346, h.17.

beribadah, dan tempat mengamati tanda-tanda kebesaran Allah yang lainnya.⁵ Adanya Bulan memberikan fasilitas waktu yang dibutuhkan manusia dalam beribadah,⁶ bertransaksi, dan lainnya. Sedangkan Matahari yang disebut juga sebagai pusat tata surya memberikan efek besar bagi kehidupan ekosistem yang ada di Bumi.⁷

Ketiga gerak benda langit ini, yakni Matahari, Bumi dan Bulan sangat berpengaruh terhadap praktek ibadah umat muslim, baik dalam penentuan awal bulan, waktu salat, penentuan arah kiblat, hingga penentuan terjadinya gerhana Bulan dan Matahari.⁸

Peristiwa gerhana, yang melibatkan Matahari dan Bulan membawa kepercayaan tersendiri bagi masyarakat pada masa lampau terhadap dampak yang akan ditimbulkan dari peristiwa tersebut. Tetapi, bagi umat muslim fenomena

⁵ Al-Baqarah [2] : 22, 29 (tempat tinggal dan fasilitas), an-Naml [27] : 61, 86 (tempat istirahat dan bekerja), Al-insyirah [93]: 7 (tempat beribadah), Yunus [10] : 3 (tempat mengamati benda langit), Luqman [31] : 10.

⁶ Sistem waktu yang kemudian dikenal sebagai kalender. At-Taubah [9] : 36, al-Baqarah [2] : 189 (ibadah haji).

⁷ Secara sains, panas matahari dijadikan sumber kekuatan oleh manusia dan tumbuhan. Tumbuhan memerlukan untuk proses fotosintesis di siang hari, binatang memanfaatkannya untuk mencari makanan dan manusia menikmati dari rantai makanan yang teratur. Dari sinilah siang yang timbul dari matahari menjadi bukti kekuasaan Allah dalam surat az-Zumar [39] : 5.

⁸ Ahmad Izzuddin, *Ilmu Falak Praktis*, Semarang : PT. Pustaka Rizki Putra, 2012, h.105. Baca Juga Ahmad Izzuddin, *Fiqh Hisab Rukyah*, t.t : Erlangga, 2007, h.41-42.

gerhana yang dari dahulu tidak pernah lepas dari beragam mitos yang berkembang dari masa ke masa, sekarang menjadi sarana meningkatkan ibadah kepada Allah SWT. Oleh karenanya sangat penting untuk mengetahui perhitungan waktu kapan gerhana akan terjadi karena beberapa perintah ibadah dalam Islam. Waktu pelaksanaannya sangat terkait dengan posisi dan pergerakan Matahari, Bumi dan Bulan tersebut, di antaranya adalah perintah pelaksanaan shalat gerhana Matahari. Sejalan dengan hal tersebut Nabi saw. Bersabda :

عن الحسن عن ابي بكره قال : كنا عند رسول الله صلى الله عليه وسلم فانكسفت الشمس، فقام النبي صلى الله عليه وسلم يجر رداءه حتى دخل المسجد، فدخلنا، فصلى بنا ركعتين حتى انجلت الشمس، فقال صلى الله عليه وسلم : ان الشمس والقمر لا ينكسفان لموت احد، فاذا رايتموهما فصلوا وادعوا حتى يكسف ما بكم.

Dari Al Hasan, dari Abu Bakrah, dia berkata, kami berada di sisi Rasulullah SAW dan matahari mengalami kusef (gerhana), maka Nabi SAW berdiri dengan menyeret selendangnya hingga masu masjid. Maka kami pun (ikut) masuk ke dalamnya. Lalu Nabi SAW shalat dua rakaat mengimami kami hingga matahari tampak kembali. Lalu Nabi SAW bersabda, “ Sesungguhnya matahari dan bulan tidak mengalami kusef (gerhana) karena kematian seseorang. Apabila kalian melihat keduanya (mengalami gerhana), maka shalat dan berdo’alah hingga disingkapkan apa yang ada pada kalian.⁹

Hadis ini secara sempurna menjadi jawaban atas doktrin-doktrin abstrak yang telah lama tertanam dan juga

⁹ Ibnu Hajar Al Asqalani, *Fathul Baari*, Jakarta : Pustaka Azzam, 2008, cet. 2, buku 6, h. 2-3.

sebagai bukti atas kepastian hukum Allah untuk alam semesta dalam memperkuat keimanan kepada Allah SWT terangkum dalam hadis-hadis Nabi SAW.

Beberapa penegasan yang bisa diambil dari peristiwa gerhana adalah :

1. Menghapus kemusyrikan, sekaligus membenahan tauhid umat islam dalam menanggapi mitos yang sudah berkembang sejak lama.
2. Merombak mitos yang mengarah pada rasionalisasi, bahwa datangnya gerhana adalah satu dari tanda-tanda kekuasaan Allah SWT berupa pergerakan Matahari, Bumi dan Bulan pada orbitnya masing-masing. Hasilnya adalah manfaat yang dinikmati orang banyak. Contoh adalah perubahan bentuk Bulan yang dalam Alquran dijelaskan dalam surat Yasin ayat 39 dan fenomena gerhana adalah satu dari bagian tersebut.
3. Perombakan mitos mengarah pada rasionalisasi umat, bahwa disunnahkan shalat gerhana Matahari adalah dalam rangka pengamatan peristiwa gerhana Matahari Total tersebut memberikan dampak yang cukup serius dalam pelaksanaan observasi secara langsung, sebab efek korona pada gerhana Matahari total akan menyebabkan kebutaan pada pengamat.
4. Perombakan mitos mengarah pada rasionalisasi umat, dengan membaca tanda-tanda alam sebagai tanda kebesaran Allah SWT melalui pengamatan pergerakan benda langit, yakni Matahari dan Bulan akan ditemukan

berbagai temuan ilmu yang bermanfaat bagi peribadatan umat islam, hal ini sesuai dengan QS.Yunus ayat 5. Sesuai dengan pembahasan yang telah lalu, bahwa pengaruh gerak benda langit yakni Matahari dan Bulan, membawa pengaruh yang sangat besar pada Bumi salah satunya pada penentuan praktek ibadah umat muslim, baik dalam penentuan awal bulan, waktu salat, penentuan arah kiblat, hingga penentuan terjadinya gerhana Bulan dan gerhana Matahari.

5. Perombakan mitos mengarah pada reaktualisasi maqasid as-syari'ah dalam konteks gerhana yakni dengan membaca tanda-tanda alam akan muncul mengagungkan asma Allah SWT, sehingga dengan demikian bentuk realisasi dalam rangka memperkuat keimanan, secara otomatis aplikasi sunatullah akan terlaksanakan, yakni dengan melaksanakan shalat sunnah gerhana, memperbanyak dzikir, bersedekah, serta melaksanakan amalan kebaikan lainnya.¹⁰

Dengan demikian, berdasarkan latar belakang inilah Islam menuntaskan proses demitologisasi dalam konteks gerhana yang telah berjalan cukup lama, melalui reaktualisasi serta rasionalisasi berdasarkan dengan hukum keharmonisan alam yang dibuat sedemikian pasti oleh Allah SWT.

¹⁰ Ayu Nurul Faizah, *Gerhana Pada Masa Nabi Muhammad SAW (Studi Analisis Gerhana Bulan Periode Madinah Perspektif Astronomi)*, Tesis : Pascasarjana UIN Walisongo, 2015, h.53-55.

2. Tinjauan Umum Gerhana Matahari dan Bulan

a. Pengertian Gerhana

Gerhana disebut dengan *kusūf* atau *khusūf* (bahasa arab). Kedua kata ini digunakan baik gerhana Matahari maupun gerhana Bulan. Hanya saja, kata *kusūf* lebih dikenal untuk penyebutan gerhana Matahari (*kusūf al-syams*) dan kata *khusūf* lebih dikenal untuk penyebutan gerhana Bulan (*khusūf al-qamar*).¹¹

Gerhana dalam bahasa Inggris disebut dengan *eclipse* yang secara umum digunakan untuk kedua jenis gerhana tersebut *eclipse of the moon* (gerhana Bulan) dan *eclipse of the sun* (gerhana Matahari). Namun ada juga istilah *solar eclipse* untuk gerhana Matahari dan *lunar eclipse* untuk gerhana Bulan.¹²

Secara bahasa harian, kata gerhana digunakan untuk mendeskripsikan suatu keadaan yang berkaitan dengan kemerosotan atau kehilangan (secara total atau sebagian) kepopuleran, kekuasaan, atau kesuksesan seseorang, kelompok, atau Negara. Gerhana juga dikonotasikan sebagai kesuraman sesaat (terprediksi, berulang atau tidak) dan masih diharapkan bisa berakhir.¹³

¹¹ Ahmad Izzuddin, *Ilmu Falak Praktis*, Semarang : PT. Pustaka Rizki Putra, 2012, hl. 105.

¹² A. Kadir, *Formula Baru Ilmu Falak*, Jakarta : AMZAH, 2012, h. 203.

¹³ Ahmad Izzuddin, *Ilmu.....*, h. 105.

Definisi lain menyebut gerhana adalah berkurangnya ketampakan benda atau hilangnya benda dari pandangan sebagai akibat masuknya benda itu ke dalam bayangan yang dibentuk oleh benda lain.¹⁴ Dengan demikian, bisa disimpulkan bahwa secara bahasa gerhana tidak hanya berlaku untuk Bumi, Bulan, dan Matahari sebagaimana dalam hal ibadah umat Islam, melainkan sebuah bentuk terhalangnya cahaya dari sumbernya disebabkan oleh benda lain yang menutupi/ memasukinya.

Gerhana ditinjau secara istilah, bisa dilihat dari beberapa definisi yang diberikan oleh ahli falak Indonesia melalui karya-karyanya. Di antaranya adalah karya Ahmad Ghozali Muhammad Fathullah¹⁵ dalam kitabnya *Fa'īd al-Karīm al-Ra'īf*. gerhana adalah :

¹⁴ Dendy Sugondo, *Kamus Bahasa Indonesia*, Jakarta : Pusat Bahasa, 2008, h. 471.

¹⁵Ahmad Ghozali Muhammad Fathullah merupakan tokoh falak Indonesia yang berasal dari sebuah kampung bernama lanbulan desa baturasang kecamatan tambelangan kabupaten sampangan. Lahir pada tanggal 7 Januari 1962 M. Dalam keilmuan falak, telah terhitung banyak karya kitab yang ia buat. Akan tetapi kitab-kitab tersebut (kitab Falak) hanya di cetak untuk kalangan sendiri, yaitu sebagai bahan pembelajaran di Pondok Pesantren al-Mubarak, Lanbulan, Baturasang, Sampang, Madura. Kitab-kitab karya KH. Ghozali antara lain, yaitu : *At-Taqyidah al-Jaliyyah*, *Fa'īd al-Karīm*, *Bugyah al-Rafīq*, *Irsyād al-Murīd*, *Anfa' al-Waṣīlah*, *Šamarat al-Fikar* dan *Ad-Durr al-Anīq*. Skripsi Hanik Mardiyah, *Studi Analisis Hisab Gerhana Bulan Dalam Kitab Maslāk Al-Qasīd Ila 'Amāl Al-Rasīd Karya Kh. Ahmad Ghozali Muhammad Fathullah*, Skripsi Fakultas Syari'ah UIN Walisongo, Semarang, 2015, h. 52-57.

خسوف القمر هو عبارة عن ذهاب ضوء القمر بتوسط
الاعراض بينه وبين الشمس فيقع ظل الاعراض عليه فيحجب
نورها عنه كلا او بعضا. وكسوف الشمس هو التغير الحادث
بالشمس لامن ذاتها بل من توسط جرم القمر بينها وبين
الاعراض.¹⁶

Muhyiddin Khazin melalui kamus falaknya juga mendefinisikan gerhana Bulan adalah sebagian atau seluruh piringan bulan memasuki kerucut bayangan inti Bumi (umbra). Oleh sebab itu, Bulan menjadi tampak gelap sebagian pada gerhana sebagian dan tampak gelap seluruhnya pada gerhana total. Dan gerhana Matahari adalah piringan Bulan menutupi piringan Matahari dilihat dari Bumi baik sebagian atau seluruhnya.¹⁷

Dari beberapa definisi secara bahasa dan istilah tersebut, maka bisa diambil kesimpulan bahwa kajian bahasa arablah yang paling mendekati dalam memberikan arti gerhana, yaitu *kusūf*¹⁸ yang berarti menutupi, dan *khusūf*

¹⁶ Ahmad Ghozali Muhammad Fathullah, *Faiḍ al-Karīm ar-Rauḍ*, Madura : Lafal, cet II, 1422 H, h. 28-31.

¹⁷ Muhyiddin Khazin, *Kamus Ilmu Falak*, Yogyakarta : Buana Pustaka, 2005, hlm. 45-47. Baca juga A. Gunawan Admiranto, *Eksplorasi Tata Surya*, Bandung : Mizan, 2017, h. 37.

¹⁸ Mahmud Yunus, *Kamus Arab – Indonesia*, Jakarta : PT. Hidakarya Agung, cet VIII, 1990, h. 375. Dalam kamus ini dijelaskan bahwa kata dasar kasafa mempunyai dua arti pokok. *Pertama*: yang mengikuti wazan (*fa'ala-yaf'ilu-fa'lan*) yaitu *kasafa-yaksifu-kasfan* mempunyai arti menutup. Sebagai contoh *kasfu al-syai* artinya menutup sesuatu. *Kedua*: kata kasafa yang mengikuti wazan (*fa'ala-yaf'ilu-*

yang berarti memasuki¹⁹. Kata *kusūf* yang berarti menutupi, menggambarkan bahwa adanya fenomena alam (dilihat dari Bumi) Bulan menutupi Matahari, sehingga terjadi gerhana Matahari. Dan *khusūf* berarti memasuki, menggambarkan fenomena alam yaitu Bulan memasuki bayangan Bumi, sehingga terjadi gerhana Bulan.

Maka jika dikaitkan dengan pengertian gerhana yang mempunyai nilai ibadah salat dalam umat muslim istilah *kusūf al-syams* menggambarkan Bulan menutupi Matahari baik sebagian maupun seluruhnya dan *khusūf al-qamar* menggambarkan Bulan memasuki bayangan Bumi, sehingga Bumi berada di antara Bulan dan Matahari yang dikenal dengan *oposisi* atau *istiwa*²⁰. Oleh karena itu dalam ilmu astronomi, fenomena gerhana diartikan tertutupnya arah

fu'ūlan) yaitu menjadi *kasafa-yaksifu-kusūfan*. Contoh *kusūf al-syams* mempunyai arti gerhana Matahari. Meski demikian, kata *kasafa* ini juga bisa digunakan untuk penyebutan gerhana bulan sebagaimana contoh *inkasafa al-qamar* yang artinya bulan gerhana. Dan ternyata kata dasar ini bisa berubah menjadi *kisfah-kisaf dan aksāf* yang artinya sekeping, sepotong sesuatu.

¹⁹*Khusūf* merupakan akar kata dari *kha-sa-fa*. Akar kata ini mempunyai dua masdar, yaitu *khasfan* dan *khusūfan*. Akar kata ini mengikuti wazan (*khasafa-yaksifu-khasfan/khusūfan*). Kata ini mempunyai beberapa arti di antaranya : lenyap, hilang, tenggelam, kekurangan, dan gerhana. kata *khusuf* ini juga identik digunakan untuk gerhana bulan sebagaimana kata *inkhasafa al-qamar* (gerhana bulan). Baca Mahmud Yunus, *Kamus*,...h. 116. Dan Ahmad Warson Munawwir, *Al-Munawwir Kamus Arab-Indonesia*, Surabaya : Pustaka Progressif, cet XIV, 1997, h. 339.

²⁰Suatu fenomena saat Matahari dan bulan sedang berhadapan, sehingga antara keduanya mempunyai selisih bujur astronomi sebesar 180⁰. Pada saat ini bulan berada pada phase purnama. Muhyiddin Khazin, *Kamus*,... h. 38.

pandangan pengamat ke benda langit oleh benda langit lainnya yang lebih dekat dengan pengamat.²¹

b. Geometri dan Macam - macam Gerhana

Gerhana Matahari akan terjadi pada saat ijtimak (*konjungsi*)²², yaitu ketika Bulan dan Matahari berada di salah satu titik simpul atau di dekatnya. Pada posisi ini kedudukan Bulan berada di antara Bumi dan Matahari sehingga menutup cahaya Matahari. Walaupun Bulan lebih kecil, bayangannya mampu melindungi cahaya Matahari sepenuhnya karena Bulan dengan jarak rata-rata 384.400 km adalah lebih dekat kepada Bumi, berbanding Matahari yang mempunyai jarak rata-rata 149.680.000 km.²³

Bidang *ellips*²⁴ lintasan Bumi dengan bidang *ekliptika*²⁵ membentuk sudut 0^0 karena kedua bidang ini berimpit.

²¹ Ahmad Izzuddin, *Ilmu, ...* h. 105-106.

²² *Ijtimā'* yang artinya “kumpul” atau *iqtirān* artinya “bersama”, yaitu suatu keadaan alam yang menggambarkan posisi Matahari dan bulan berada pada satu bujur astronomi. Dalam astronomi dikenal dengan istilah *conjunction* (konjungsi). Para ahli astronomi/falak menggunakan *ijtima'* ini sebagai tanda bergantinya bulan qamariyah, sehingga ia disebut pula dengan new moon. Baca Muhyiddin Khazin, *Kamus, ...* h. 32.

²³ Ahmad Izzuddin, *Ilmu, ...* h. 113.

²⁴ Ellips adalah bentuk lingkaran yang tidak bundar, melainkan bulat seperti telur. Benda-benda langit beredar pada falaknya masing-masing dalam bentuk ellips, misalnya Bumi. Muhyiddin Khazin, *Kamus, ...* h. 23.

²⁵ Lingkaran / bidang ekliptika adalah lingkaran perjalanan Matahari tahunan di bola langit, lingkaran ini berpotongan dengan equator pada titik aries (vernal equinox = titik musim semi) dan titik libra (autumnal equinox = titik musim gugur) dan membentuk sudut

Sedangkan bidang lintasan Bulan dan bidang ekliptika tidak berimpit, melainkan berpotongan dan membentuk sudut rata-rata sebesar $5^{\circ} 8'$ yang bervariasi antara $4^{\circ} 27'$ dan $5^{\circ} 20'$. Adapun ekliptika sendiri membentuk sudut kira-kira $23^{\circ} 27'$ dengan ekuator langit. Hal kedua macam di atas ini menyebabkan gerhana Matahari tidak selalu terjadi apabila Matahari dan Bulan berkonjungsi, dan gerhana Bulan pun tidak selalu terjadi apabila keadaan Matahari dan bulan berposisi.²⁶

Dalam satu tahun kalender (1 Januari-31 Desember) gerhana Matahari dapat terjadi 2 sampai 5 kali, tetapi hanya tempat-tempat tertentu yang bisa menyaksikannya. Berbeda dengan gerhana Bulan yang bisa disaksikan oleh seluruh penduduk Bumi yang menghadap Bulan. Satu fenomena gerhana Matahari pun akan berbeda penampakkannya jika dilihat dari berbagai tempat di permukaan Bumi. Hal ini karena variasi *lintang*²⁷ dan *bujur*²⁸ tempat yang berbeda dan

23,4 derajat dengan equator. Baca Maskufa, *Ilmu Falaq*, Jakarta : Gaung Persada Press, 2009, h. 62.

²⁶ Watni Marpaung, *Pengantar Ilmu Falak*, Jakarta : Prenadamedia Grpup, cet I, 2015, hlm. 88. Baca juga bukunya M. Yusuf Harun, *Pengantar Ilmu Falak*, Banda Aceh : Yayasan Pena, 2008, h. 96.

²⁷ Lintang adalah jarak busur diatas permukaan Bumi yang dihitung dari equator bola Bumi, dan dapat juga diartikan sebagai jarak busur antara zenith dan equator bola langit. Maskufa, *Ilmu*, ... h. 63.

²⁸ Bujur adalah jarak sudut dari meridian yang melalui tempat tersebut dengan meridian yang melalui titik acuan. *Ibid*, ... h. 64.

Bulan yang menjadi penghalang ukurannya lebih kecil daripada Bumi yang lebih kecil daripada Matahari.²⁹

Gerhana Matahari dapat dibagi menjadi tiga macam yaitu : *pertama*, gerhana Matahari total atau sempurna atau kully terjadi manakala antara posisi Bulan dengan Bumi pada jarak yang dekat (*perigee*, bahasa Yunani Peri : Dekat dan Go : Bumi)³⁰, sehingga bayangan kerucut (umbra) Bulan menjadi panjang dan dapat menyentuh permukaan Bumi, serta Bumi-Bulan-Matahari pada satu garis lurus.

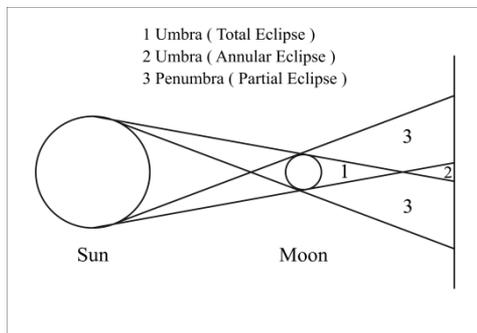
Kedua, gerhana Matahari cincin atau halqy, terjadi manakala antara posisi Bulan dengan Bumi pada jarak yang jauh, sehingga bayangan kerucut (umbra) Bulan menjadi pendek dan tidak dapat menyentuh permukaan Bumi, serta Bumi-Bulan-Matahari pada satu garis lurus. Ketika itu diameter Bulan lebih kecil dari pada diameter Matahari, sehingga ada bagian tepi piringan Matahari yang masih terlihat di Bumi.

Gerhana Matahari sebagian atau *ba'dily* terjadi manakala antara posisi Bulan dengan Bumi pada jarak yang dekat, sehingga bayangan kerucut (umbra) Bulan menjadi panjang dan dapat menyentuh permukaan Bumi, tetapi Bumi-Bulan-Matahari tidak tepat pada satu garis lurus.

²⁹ Ahmad Ghozali Muhammad Fathullah, *Bughyah al-Rafi>q*, Madura : Lafal, t.t., h. 36.

³⁰ Bayong Tjasyono, *Ilmu KeBumian dan Antariksa*, Bandung : PT Remaja Rosdakarya, 2013, h. 34.

Secara geometri, ketiga gerhana Matahari di atas bisa dilihat pada gambar berikut :



Gambar 5 : Umbra and Penumbra.³¹

Pada dasarnya perhitungan gerhana Matahari adalah menghitung waktu, yaitu kapan atau jam berapa terjadi kontak gerhana Matahari. Adapun untuk gerhana Matahari sempurna atau total dan cincin akan terjadi empat kali kontak, yaitu : *Pertama*, ketika piringan Bulan mulai menyentuh piringan Matahari. Pada posisi inilah waktu mulai gerhana. *Kedua*, ketika seluruh piringan Bulan sudah menutupi piringan Matahari. Pada posisi inilah waktu mulai total. *Ketiga*, ketika piringan Bulan mulai menyentuh untuk keluar dari piringan Matahari. Pada posisi inilah waktu akhir total. Dan *keempat*, ketika seluruh piringan Bulan sudah keluar lagi dari piringan Matahari. Pada posisi inilah waktu gerhana berakhir.

³¹ Oliver Montenbruck, dkk., *Astronomy On The Personal Computer*, Translated Dr. Storm Dunlop, Berlin : Spring-Verlag, 1999, h. 181.

Sedangkan pada gerhana Matahari sebagian hanya dua kali kontak, yaitu : *Pertama*, ketika piringan Bulan mulai menyentuh piringan Matahari. Pada posisi inilah waktu mulai gerhana. Dan *kedua*, ketika piringan Bulan sudah keluar lagi dari piringan Matahari. Pada posisi inilah waktu gerhana sebagian berakhir.³²

Dengan adanya perkembangan ilmu pengetahuan, terutama di bidang ilmu astronomi ternyata fenomena gerhana jika ditinjau dari permukaan Bumi secara umum terdapat 6 tipe gerhana Matahari, yaitu:

- a. Tipe P : tipe gerhana matahari parsial yaitu hanya sebagian dari kerucut umbra Bulan yang mengenai Bumi. Pengamat melihat (*region of visibility*) hanya dapat melihat sebuah gerhana parsial.
- b. Tipe T : tipe gerhana total yaitu gerhana sentral yang mana kerucut umbra mengenai Bumi. Pada gerhana sentral sumbu bayangan Bulan mengenai permukaan Bumi. Pada jenis gerhana ini, dikenal istilah garis sentral (*central line*) yaitu garis yang menghubungkan pusat cakram Bulan ke pusat cakram Matahari.
- c. Tipe A : tipe gerhana cincin yaitu gerhana sentral yang mana perpanjangan kerucut umbra mengenai Bumi.

³² Muhyiddin Khazin, *Ilmu Falak dalam Teori dan Praktik*, Yogyakarta : Buana Pustaka, t.t, h. 188-190.

- d. Tipe A-T : tipe cincin –total (hybrid) yaitu gerhana sentral yang sebagian gerhana berupa gerhana total sedang sebagian lainnya berupa gerhana cincin.
- e. Tipe (T) : gerhana non-sentral total yaitu hanya sebagian dari kerucut umbra yang mengenai permukaan Bumi (yaitu di daerah kutub), tetapi sumbu kerucut umbra tidak mengenai permukaan Bumi, sehingga gerhana ini bukan gerhana sentral.
- f. Tipe (A) : gerhana non-sentral cincin yaitu hanya sebagian dari perpanjangan kerucut umbra yang mengenai (yaitu daerah kutub), tetapi sumbu kerucut umbra tidak mengenai permukaan Bumi.³³

c. Siklus Gerhana

Konsep prediksi adanya gerhana, baik gerhana Matahari maupun Bulan, ternyata sudah ada suatu observasi yang dilakukan orang-orang zaman dahulu. Melalui pengamatan-pengamatan yang rutin, mereka mendapatkan suatu penemuan yang bisa memprediksi waktu tentang adanya gerhana dan dikenal dengan istilah *siklus / periode*³⁴ gerhana. Adapun beberapa siklus gerhana yang ada diantaranya :

➤ Siklus Saros

³³ Rinto Anugraha, *Mekanika*,... h. 126-127.

³⁴ Siklus atau Daur merupakan pengulangan waktu, yaitu kelompok-kelompok waktu yang memiliki nilai yang sama. Muhyiddin Khazin, *Kamus*,... h. 20.

Siklus Saros adalah siklus gerhana yang memanfaatkan tiga periode siklus orbit Bulan, yaitu periode sinodis, periode anomalistik, dan periode drakonis. 223 periode sinodis ternyata sama dengan 239 periode anomalistik dan sama dengan 242 periode drakonis, yaitu kira-kira 18 tahun 11 bulan 8 jam / 1/3 hari. Pada periode ini gerhana yang muncul setiap satu siklus saros punya karakteristik yang sama, seperti jalur lintasanya, tetapi bukan daerah Bumi yang dilintasinya.³⁵

Karena lamanya satu siklus Saros tidak sama dengan jumlah hari penuh (ada ekstra 8 jam), satu-satunya perbedaan karakteristik dua gerhana yang terpisah sejauh satu siklus saros adalah lokasinya bergeser 8 jam ke Barat, yaitu sekitar 120 derajat ke Barat. Setelah tiga siklus Saros, barulah pergeserannya 360 derajat dan kembali ke lokasi geografis semula. Jadi setiap 3 siklus Saros (kurang lebih 54 tahun) akan terjadi gerhana Matahari di lokasi geografis yang kurang lebih sama.³⁶

³⁵ Periode Sinodis adalah interval waktu dari fase bulan kembali ke bulan. Panjang bulan sinodis adalah 29,53059 hari = 29 hari 12 jam 44 menit. Periode anomalistic adalah interval waktu yang dibutuhkan bulan untuk bergerak dari perigee ke perigee lagi. Sedangkan panjang bulan anomalistic adalah 27,55455 hari = 27 hari 13 jam 19 menit. Dan periode drakonis adalah interval waktu yang dibutuhkan Bulan untuk bergerak dari satu node kembali ke node tersebut. Panjang Bulan drakonis adalah 27,21222 hari = 27 hari 05 jam 06 menit. Ahmad Izzuddin, *Ilmu*,... h. 111.

³⁶ <http://www.infoastronomy.org/2016/05/nasa-rilis-jadwal-gerhana-matahari-dan-bulan-untuk-1000-tahun.html> diakses pada 22 Februari 2017 Jam 03.07 WIB.

Seperti yang disebutkan di atas, gerhana-gerhana yang dipisahkan oleh periode saros dikelompokkan menjadi sebuah seri saros. Sebuah seri saros tidak akan bertahan selamanya. Seri saros lahir dan mati dan beranggotakan sejumlah gerhana tertentu. Seri saros ini tidak bertahan selamanya karena satu periode saros itu lebih pendek $\frac{1}{2}$ hari dari 19 tahun gerhana. Akibatnya, setelah satu periode saros, titik node akan bergeser $0,5^0$ ke arah timur. Karenanya, setelah lewat sejumlah periode saros tertentu, jarak titik node sudah sedemikian jauh dari Matahari/Bulan sehingga tidak memungkinkan lagi terjadinya gerhana. Saat itu terjadi, seri saros yang bersangkutan akan mati, dan seri saros baru akan lahir.³⁷

➤ **Siklus Inex**

Periode 358 lunasi, atau 29 tahun kurang 20 hari. Periode inex ini sama dengan 388,5 revolusi draconic (dari node ke node). Pecahan 0,5 ini memiliki konsekuensi bahwa periode inex mengambil tempat bergantian , antara satu node dengan node yang lain. Sehingga, sebuah gerhana Matahari yang terlihat di belahan Bumi utara, maka setelah satu periode inex, gerhana Matahari berikutnya akan terlihat di belahan Bumi selatan. Satu inex berikutnya akan kembali ke belahan Bumi utara. Sebagai contoh :

³⁷ Muh. Rasywan Syarif, *Fiqh Astronomi Gerhana Matahari*, Tesis, Semarang : Program Pasca Sarjana UIN Walisongo, 2012, h. 58-62.

- 6 Mei 1845 gerhana cincin, terlihat di laut arktik, titik turun bulan
- 16 April 1874, gerhana total, terlihat di antartika, titik naik bulan
- 29 Maret 1903, gerhana cincin, terlihat di Siberia, titik turun bulan, dst.³⁸

➤ **Siklus Tritos**

Memiliki periode 135 lunasi atau 11 tahun di kurangi satu bulan. Pergeseran terhadap titik node cukup kecil, hanya sekitar 0,5 derajat setelah satu tritos. Sebagai contoh siklus tritos berikut ini :

- 12 September 1931, parsial, belahan Bumi utara
- 12 Agustus 1942, parsial, belahan Bumi selatan
- 11 Juli 1953, parsial, belahan Bumi utara
- 10 Juni 1964, parsial, belahan Bumi selatan
- 11 Mei 1975, parsial, belahan Bumi utara
- 9 April 1986, parsial, belahan Bumi selatan, dan seterusnya.³⁹

➤ **Siklus Meton⁴⁰**

³⁸ Mirip dengan siklus inex, yaitu siklus semester. Siklus ini sama dengan 6 lunasi, sekitar 177 hari atau 0,49 tahun. Pada siklus ini terjadi perubahan titik naik/turun bulan (node) dari satu gerhana ke gerhana berikutnya.

³⁹ Rinto Anugraha, *Mekanika*,... h. 131-132.

⁴⁰ Siklus Metonik menjadi salah satu aturan khusus dalam penanggalan Cina (lunar-solar calendar). Siklus Metonik ini bersesuaian dengan 235 lunasi Bulan (19 tahun). Di mana 19 tahun dalam penanggalan Cina terdiri dari 6939,61206 hari bersesuaian dengan 235 lunasi Bulan yang terdiri dari 6939,68865 hari. Dari kesesuaian tersebut

Siklus meton adalah sebesar 235 lunasi atau 19 tahun. Setelah 19 tahun, fase bulan akan terulang pada tanggal kalender yang hampir sama. Siklus meton adalah periodisitas yang baik untuk menentukan dengan cepat fase bulan pada masa lalu atau masa depan. Sebagai contoh 190 tahun (10 siklus meton) setelah gerhana Matahari total pada fase bulan baru (new moon) 11 Juli 1991, maka akan didapatkan pula fase bulan baru pada 11 Juli 2181. Akan tetapi tidak ada gerhana Matahari pada tanggal yang disebutkan terakhir ini. karena itu siklus meton tidak terlalu berguna untuk memprediksi terjadinya gerhana. sebagai contoh, siklus berikut ini yang berisi lima gerhana.

- 12 Agustus 1923, tidak ada gerhana
- 12 Agustus 1942, parsial
- 11 Agustus 1961, cincin
- 10 Agustus 1980, cincin
- 11 Agustus 1999, total
- 11 Agustus 2018, parsial
- 11 Agustus 2037, tidak ada gerhana⁴¹

d. Jumlah Gerhana dalam Satu Tahun Kalender

Kurang lebih ada tujuh kali dalam setahun Bulan dapat berada di dalam daerah bayang-bayang Bumi dan sebaliknya

diketahui bahwa setiap 19 tahun terdapat perbedaan sekitar 1 jam 48 menit sehingga akan terdapat pergeseran 1 hari dalam 248 tahun. Dalam penanggalan Cina, siklus Metonik juga menggambarkan perayaan imlek yang berulang pada tanggal hampir sama. Baca buku Hendro Setyanto, *Membaca Langit*, Jakarta : Al Ghuraba, 2008, h. 143-146.

⁴¹ Rinto Anugraha, *Mekanika*,... hlm. 132.

Bumi berada dalam daerah bayang-bayang Bulan. Oleh karena itu paling banyak 7 kali dalam satu tahun dapat terjadi gerhana Bulan dan Matahari. paling sedikit terjadi dua kali gerhana dalam satu tahun.⁴²

Dalam satu tahun kalender (1 Januari hingga 31 Desember), gerhana Matahari maksimal bisa terjadi hingga 5 kali. Seperti yang terjadi pada tahun 1805, 1935, dan akan terjadi pada tahun 2206. Namun demikian dalam rentang 365 hari, bisa terjadi 5 kali gerhana Matahari, seperti dalam rentang antara 30 Juli 1916 hingga 29 Juli 1917, yaitu :30 Juli 1916 A, 24 Desember 1916 P, 23 Januari 1917 P, 19 Juni 1917 P, dan 19 Juli 1917 P.⁴³

Dalam rentang 4000 tahun sejak -600 hingga tahun 3400, secara perhitungan hanya terdapat 14 tahun yang memiliki 5 kali gerhana Matahari dalam setahun yaitu, tahun -568, -503, -438, -373, 1255, 1805, 1935, 2206, 2709, 2774, 2839, 2904, 3295 dan 3360. Catat bahwa distribusi tahunnya

⁴² Adriana Wisni Ariasti, Fajar Dirghantara, Hakim Luthfi Malasan, *Perjalanan Mengenal Astronomi*, Bandung : ITB, 1995, h. 33-34.

⁴³ Begitu juga dengan gerhana bulan, dalam setahunnya bisa terjadi sampai 5 kali. Sebagaimana dalam rentang 900 tahun antara tahun 1600, ada lima gerhana bulan setahun pada tahun-tahun berikut : 1676, 1694, 1749, 1879, 2132, 2262 dan 2400. Pada kasus tersebut kebanyakan 4 jenis gerhananya adalah gerhana bulan penumbra. Kedua gerhana tersebut (Matahari dan bulan) dalam setahun juga bisa terjadi hanya 2 kali. Sebagaimana pada tahun 1996 dan 2004 untuk gerhana Matahari yang keduanya bertipe parsial. Dan pada tahun 1966 dan 2016 untuk gerhana bulan yang keduanya bertipe gerhana bulan penumbra. Baca Rinto Anugraha, *Mekanika*,... h. 128.

tidak beraturan : ada tiga kasus dari tahun -568, hingga -438 (rentang 130 tahun) dan tiga kasus dari tahun 2709 hingga 2839 (rentang 130 tahun) tetapi tidak terjadi sejak tahun -373 hingga 1255 (rentang lebih dari 1600 tahun). Untuk keempat belas tahun di atas, empat dari lima gerhana dalam setahun adalah tipe parsial atau P, sisa tipe gerhana adalah tipe cincin atau A (seperti pada tahun 1935) atau tipe total seperti pada tahun 2774. Adapun dalam setahun gerhana juga bisa terjadi minimal sebanyak 2 kali. Kedua-duanya dapat berupa gerhana Matahari parsial, sebagaimana pada tahun 1996 dan 2004.⁴⁴

Jika digabungkan antara gerhana Matahari dan Bulan, maka jumlah minimum gerhana dalam setahun adalah 4 buah⁴⁵ dan maksimum 7 buah. 7 buah ini terjadi dalam 4 kemungkinan sebagai berikut :

5 gerhana Matahari + 2 gerhana Bulan, seperti pada tahun 1935,2206

4 gerhana Matahari + 3 gerhana Bulan, seperti pada tahun 198246, 2094

3 gerhana Matahari + 4 gerhana Bulan, seperti pada tahun 1973, 2038

⁴⁴ *Ibid*, h. 130.

⁴⁵ Contoh gerhana 4 kali dalam setahun adalah tahun 1995 yang terdiri atas dua gerhana Matahari dan dua gerhana bulan, yaitu :15 April (gerhana bulan parsial), 29 April (gerhana Matahari cincin), 8 Oktober (gerhana bulan penumbra), 24 Oktober (gerhana Matahari total).

⁴⁶ 9 Januari gerhana Bulan total, 25 Januari gerhana Matahari parsial, 21 Juni gerhana Matahari parsial, 6 Juli gerhana Bulan total, 20 Juli gerhana Matahari parsial, 15 Desember gerhana Matahari parsial, dan 30 Desember gerhana Bulan total.

2 gerhana Matahari + 5 gerhana Bulan, seperti pada tahun 1879, 2132.⁴⁷

e. Algoritma Hisab Perhitungan Prediksi Gerhana Matahari

Tipologi hisab yang berkembang telah dibagi ke dalam beberapa bagian ; hisab taqribi, hisab tahkiki, hisab tahkiki bih tahkik dan hisab kontemporer. Dalam era modern ini sudah pasti model perhitungan yang diharapkan adalah model kontemporer karena dari segi akurasi yang tinggi.⁴⁸

Penulis menjadikan algoritma Jean Meeus dalam bukunya *Astronomical Algorithms* sebagai model inti dalam penyusunan penelitian ini. Adapun langkah-langkah yang harus disiapkan adalah sebagai berikut :

1. Mencari nilai perkiraan tahun⁴⁹

Nilai perkiraan tahun adalah nilai yang didapat dari rumus pendekatan “ tahun “ yang digunakan dengan mengkonversi tanggal dan bulan ke dalam satuan tahun. Dengan ketentuan untuk mengkonversi tanggal ke tahun dibagi dengan 365 (jumlah hari dalam setahun), bulan dibagi 12 (jumlah bulan dalam setahun), dan tahun itu sendiri. Nilai ini digunakan untuk mencari perkiraan nilai k dengan rumus sebagai berikut:

⁴⁷ Rinto Anugraha, *Mekanika*,... h. 130-131.

⁴⁸ Badan Hisab dan Rukyat Dep. Agama, Op cit, hlm 37-39.

⁴⁹ Rinto Anugraha, *Seminar dan Observasi Gerhana Bulan Total 10 Desember 2011*, Semarang : Masjid Agung Jawa Tengah, h. 7.

$$\text{Perkiraan Tahun} = \text{tahun} + \text{bulan yang lewat}/12 + \text{tanggal}/365^{50} \dots\dots (1)$$

2. Mencari perkiraan nilai k dan nilai k

Nilai perkiraan tahun yang didapat kemudian direduksi untuk diambil nilai perkiraan k nya dengan rumus :

$$k \cong (\text{perkiraan tahun} - 2000) \times 12.3685 \dots\dots (2)$$

Hasil bagian ini harus dinyatakan dengan angka desimal, misalnya 1987.25 untuk akhir Maret 1987 (karena ini adalah 0.25 tahun dihitung sejak awal tahun 1987). Tanda \cong berarti "kira-kira sama dengan".⁵¹

Nilai k sendiri adalah info awal tentang keadaan-keadaan Bulan.⁵² Bulan baru (new moon) diinformasikan dengan membulatkan nilai k . Menambah 0,25 untuk perempat pertama. Menambah 0,5 untuk fase bulan purnama (full moon). Dan menambah 0,75 untuk fase perempat terakhir.

⁵⁰ Rumus ini tidak secara jelas ada di algoritma Jean Meeus, sehingga penulis mengutip rumus ini pada makalah yang disampaikan oleh Dr. Eng. Rinto Anugraha, M.Si., dalam acara seminar dan observasi gerhana bulan total 10 Desember 2011 di Masjid Agung Jawa Tengah. Rinto Anugraha, *Seminar dan Observasi Gerhana Bulan Total 10 Desember 2011*, Semarang : Masjid Agung Jawa Tengah, h. 7.

⁵¹ Jean Meeus, *Astronomical*, ... h. 320.

⁵² Nilai $k = 0$ berkorelasi dengan Bulan Baru pada tanggal 6 Januari 2000. Nilai-nilai negatif untuk k memberikan fase-fase Bulan sebelum tahun 2000. Sebagai Contoh : +479.00 dan -2793.00 berkorelasi dengan Bulan Baru, +479.25 dan -2792.75 berkorelasi dengan Perempat Pertama, +479.50 dan -2792.50 berkorelasi dengan Bulan Purnama serta +479.75 dan -2792.25 berkorelasi dengan Perempat terakhir. Baca Jean Meeus, *Astronomical*, ... h. 319-320.

Dalam penentuan adanya gerhana nilai k bilangan bulat untuk gerhana Matahari dan nilai k bilangan bulat + 0,5 untuk gerhana Bulan.

3. Menentukan nilai T

T merupakan nilai penting dalam menentukan adanya gerhana Matahari. Dari semua alur disini, ada 5 komponen yang secara langsung melibatkannya.⁵³

$$T = k / 1236,85 \dots \dots \quad (3)$$

4. Menghitung JDE / Julian Ephemeris Days

JDE (Julian Day Ephemeris) didefinisikan sebagai banyaknya hari yang telah dilalui sejak hari senin tanggal 1 Januari tahun 4713 SM (sebelum masehi) pada pertengahan hari atau pukul 12:00:00 UT (Universal Time) atau GMT. Perlu diingat, tahun 4713 SM tersebut sama dengan tahun – 4713.

- JD 0 = 1 Januari – 4713 pukul 12:00:00 UT = 1,5 Januari – 4713 (karena pukul 12 menunjukkan 0,5 hari)
- JD 0,5 = 2 Januari – 4713 pukul 00:00:00 UT
- JD 1 = 2,5 Januari – 4713 dan seterusnya
- 4 Oktober 1582 M = JD 2299159,5
- 15 Oktober 1582 M = JD 2299160,5 Jika

JD berkaitan dengan waktu yang dihitung menurut Dynamical Time (TD, bukan DT) atau Ephemeris Time, biasanya digunakan istilah Ephemeris Day (JDE, bukan JED). Sebagai contoh :

⁵³ 5 komponen tersebut adalah : M, M', F, Ω, dan E.

- 17 Agustus 1945 UT = JD 2431684,5
- 27 September 1974 TD = JDE 2442317,5

Pemahaman terhadap Julian Day sangat penting, karena Julian Day menjadi syarat untuk menghitung posisi Bulan, Matahari dan planet-planet yang selanjutnya dipakai untuk menentukan Bulan baru, waktu salat, dan lain-lain. Julian Day juga menjadi dasar untuk menentukan fenomena alam seperti menentukan kemiringan orbit rotasi Bumi, kapan terjadinya *ekuinox*⁵⁴ dan *solstice*⁵⁵, dan sebagainya. Sementara untuk gerhana Matahari JDE berhubungan dengan waktu dari gerhana maksimum (ketika sumbu kerucut bayangan umbra Bulan berada paling dekat dengan pusat Bumi.⁵⁶

$$\begin{aligned}
 \text{JDE} = & 2451550.09765 + 29.530\ 588\ 853\ \text{k} + 0.000 \\
 & 1337\ \text{T}^2 - 0.000\ 000\ 150\ \text{T}^3 + 0.000\ 000\ 000\ 73 \\
 & \text{T}^4 \dots\dots\dots
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

⁵⁴ Dalam perjalanan semu matahari, matahari memotong ekuator langit untuk melintas dari belahan selatan bumi ke belahan utara. Perpotongan itu terjadi pada titik yang disebut sebagai vernal *equinox* (titik ktidal musim semi). Kata *Equinox* diambil dari bahasa latin *aequus* yang berarti sama dan *nox* yang berarti malam, karena saat matahari berada di titik tersebut malam dan siang sama panjangnya. Baca Muhammad Rasyid Rida, dkk., *Hisab Bulan Kamariyah: Tinjauan Syar'I Tentang Penetapan Awal Ramadhan, Syawal, dan Zulhijah*, Yogyakarta : Suara Muhammadiyah, 2013, hlm. 73-75.

⁵⁵ Solstice merupakan salah satu titik yang dilalui matahari sepanjang perjalanan semunya di lingkaran ekliptika. Ada dua solstice, yaitu summer (northern) solstice yang merupakan matahari berada pada titik paling utara. Dan winter (southern) solstice yang artinya matahari berada di titik terjauh di belahan selatan bumi. *Ibid.*

⁵⁶ Jafar Shodiq, *Studi, ...* hlm. 77-78.

5. Menghitung M⁵⁷

M adalah rata-rata anomali Matahari (*sun's mean anomaly*) pada waktu JDE. Hasil M adalah satuan derajat, dan harus dirubah menjadi satuan radian maka caranya harus dirubah menjadi bilangan derajat antara 0⁰ – 360⁰ kemudian baru dirubah ke radian : = M x $\pi/180$ Jika hasil M negatif, semisal -8234,262544 derajat, untuk merubah menjadi radian caranya adalah cari kelipatan 360 (positif) yang mendekati nilai M dan lebih besar, yaitu 8280. 8280 – 8234,262544 = 45,73745559 derajat = 45,73745559 x $\pi/180$ = 0,798269192 radians.

$$\mathbf{M = 2.5534 + 29.105\ 356\ 69\ k - 0.000\ 0218\ T^2 - 0.000\ 000\ 11\ T^3.....} \quad (5)$$

6. Menghitung M'

M' adalah rata-rata anomali Bulan (*moon's mean anomaly*). Jika hasil derajat M' negatif, maka caranya seperti di atas, begitu juga untuk perhitungan-perhitungan selanjutnya.

$$\mathbf{M' = 201.5643 + 385.816\ 935\ 28\ k + 0.010\ 7438\ T^2 + 0.000\ 012\ 39\ T^3 - 0.000\ 000\ 058\ T^4.....} \quad (6)$$

7. Menghitung F

F adalah argumen lintang bulan (argumen of moon latitude). Nilai F sebagai informasi awal adanya gerhana. Apabila selisih antara F dengan kelipatan 180 derajat harus kurang dari 13^o.9. Apabila selisihnya lebih besar dari 21^o,

⁵⁷ Jean Meeus, *Astronomical*, ... hlm. 320.

maka tidak ada gerhana. dan apabila terletak di antara $13^{\circ}.9$ dan 21° , maka gerhana belum bisa dipastikan pada tahap ini dan kasus harus diselidiki lebih lanjut. Penyelidikan lebih lanjut dapat memakai aturan berikut: Tidak ada gerhana jika $|\sin F| > 0.36$.⁵⁸

Setelah satu lunasi nilai F akan meningkat sebesar $30^{\circ}.6705$. Dan jika F mendekati 0° atau 360° , gerhana terjadi di dekat titik naik Bulan (*ascending node*). Jika F nilainya dekat 180° , gerhana terjadi di dekat titik turun orbit Bulan (*descending node*).⁵⁹

$$F = 160.7108 + 390.670\ 502\ 74\ k - 0.001\ 6341\ T^2 - 0.000\ 002\ 27\ T^3 - 0.000\ 000\ 011\ T^4 \dots\dots\dots (7)$$

8. Menghitung Omega (Ω)

Disebut juga dengan bujur titik daki⁶⁰ (*ascending node*) peredaran Bulan.

$$(\Omega) = 124.7746 - 1.563\ 755\ 80\ k + 0.002\ 0691\ T^2 + 0.000\ 002\ 15\ T^3 \dots\dots\dots (8)$$

9. Menghitung E⁶¹

E adalah eksentrisitas orbit Bumi mengitari Matahari⁶² yang dikoreksi dengan T.

⁵⁸ Gerhana. Jadi nilai F pasti terjadi gerhana jika nilai F antara $0^{\circ} - 13^{\circ}\ 54'$, $166^{\circ}\ 6' - 193^{\circ}\ 54'$, atau $346^{\circ}\ 6' - 360^{\circ}$. Dan apabila nilai F antara $14^{\circ} - 21^{\circ}$, $159^{\circ} - 165^{\circ}$, $194^{\circ} - 201^{\circ}$, atau $339^{\circ} - 345^{\circ}$ ini bisa terjadi gerhana bisa juga tidak terjadi gerhana.

⁵⁹ Jean Meeus, *Astronomical*, ... h. 350.

⁶⁰ Jean Meeus, *Astronomical Algorithms, terj*, ... h. 118 dan 160.

⁶¹ Jean Meeus, *Astronomical*, ... h. 250.

$$E = 1 - 0.002\,516\,T - 0.000\,0074\,T^2 \dots\dots (9)$$

10. Menghitung F1

$$F_1 = F - 0.02665 \sin \Omega \dots\dots (10)$$

11. Menghitung A₁⁶³

Argumen (komponen) sebagai pengaruh planet-planet (*Planetary Arguments*):

$$A_1 = 229^{\circ}.77 + 0^{\circ}.107408\,k - 0.009\,173\,T^2 \dots (11)$$

12. Menghitung P⁶⁴

$$P = +0.2070 \times E \times \sin M + 0.0024 \times E \sin 2M - 0.0392 \sin M' + 0.0116 \sin 2M' + 0.0073 \times E \sin (M' + M) + 0.0067 \times E \sin (M' - M) + 0.0118 \sin 2F_1 \dots (12)$$

13. Menghitung Q

$$Q = +5.2207 - 0.0048 \times E \times \cos M + 0.0020 \cos 2M + 0.3299 \cos M' - 0.0060 \times E \cos (M' + M) + 0.0041 \times E \cos (M' - M) \dots\dots\dots (13)$$

14. Menghitung w

$$w = | \cos F_1 | \dots\dots (14)$$

15. Menghitung gamma (γ)

Gamma (γ) merupakan jarak minimum dari sumbu kerucut bayangan Bulan ke pusat Bumi, dalam satuan radius khatulistiwa Bumi. Jarak ini positif atau negative, tergantung

⁶² Jean Meeus, *Astronomical Algorithms, terj, ...* h. 250.

⁶³ Jean Meeus, *Astronomical Algorithms, terj, ...* h. 262.

⁶⁴ Jean meeus, *astronomical, ...* h. 351.

pada apakah sumbu kerucut bayangan lewat Utara atau Selatan dari pusat Bumi.⁶⁵

Dalam perhitungan ini, gamma sebagai informasi lanjut setelah nilai argumen lintang bulan (*argumen of moon's latitude*). Apabila nilai gamma terletak di antara 0,9972 dan -0,9972, maka gerhana Matahari adalah sentral. Dan apabila nilai mutlak gamma terletak di antara 0,9972 dan 1,5433 + u, maka gerhana Matahari tidak sentral. Dalam kebanyakan kasus, hal itu adalah gerhana parsial. Namun, ketika nilai $|\gamma|$ terletak antara 0.9972 dan 1.0260, bagian kerucut umbra mungkin menyentuh permukaan Bumi (di daerah kutub), sementara sumbu kerucut tidak menyentuh Bumi. Sedangkan gerhana annular atau total non-sentral terjadi ketika $0.9972 < |\gamma| < 0.9972 + |u|$. Dan apabila nilai $|\gamma|$ lebih besar dari $1,5433 + u$, maka tidak ada gerhana Matahari.⁶⁶

$$\gamma = (p \cos F_1 + Q \sin F_1) \times (1 - 0.0048 w) \quad (15)$$

.....

16. Menghitung magnitudo (u)

Dalam kasus gerhana Matahari, magnitudo disimbolkan dengan u . Kuantitas u merupakan jari-jari kerucut umbra Bulan di bidang dasar dalam satuan radius ekuator Bumi. (Bidang dasar adalah sebuah bidang yang melalui pusat Bumi dan tegak lurus terhadap sumbu bayangan Bulan). Jari-jari kerucut penumbra pada bidang dasar ini adalah $u + 0.5461$.

⁶⁵ Muh. Rasywan Syarif, *Fiqh*, ... h. 22.

⁶⁶ Jean Meeus, *Astronomical*, ... h. 351.

Nilai magnitudo juga menjadi penentu dalam menentukan jenis gerhana pada gerhana sentral. Adapun aturannya adalah :

- Jika $u < 0$, maka gerhana total
- Jika $u > 0.0047$, maka gerhana annular
- Jika u antara 0 dan $+0.0047$, bisa gerhana annular atau annular-total.

Dalam kasus terakhir ini, ambiguitas dapat dihapuskan sebagai berikut :

$$\text{Hitung: } \omega = 0.00464 \sqrt{1 - \gamma^2} > \quad (16)$$

Kemudian, jika $u < \omega$, gerhana annular-total; jika tidak maka gerhana annular.⁶⁷

$$u = 0.0059 + 0.0046 E \cos M - 0.0182 \cos M' + 0.0004 \cos 2M' - 0.0005 \cos (M + M') \dots \dots \dots \quad (17)$$

Dari langkah-langkah di atas, maka bisa disimpulkan bahwa ada peran penting yang diberikan oleh nilai argumen lintang bulan, gamma, dan magnitudo. Ketiga nilai ini tidak bisa dipisahkan satu sama lain karena diketahui nilai argumen lintang bulan memberikan informasi awal adanya gerhana Matahari atau tidak, kemudian disusul dengan informasi yang diberikan oleh gamma sebagai salah satu penentu jenis gerhana. Dan sebagai informasi lanjut diberikan oleh nilai magnitudo yang berperan penting dalam menyelesaikan kasus gerhana sentral.

⁶⁷ Jean Meeus, *Astronomical*, ... h. 352.

Pada kasus gerhana Matahari parsial, besarnya magnitudo dicapai pada titik permukaan Bumi akan berada paling dekat dengan sumbu bayangan. Magnitudo gerhana pada titik tersebut:⁶⁸

$$\frac{1.5433 + u - |\gamma|}{0.5461 + 2u}$$

Adapun untuk mengetahui waktu maksimum gerhana Matahari adalah dengan menambahkan JDE⁶⁹ dengan koreksi-koreksi sebagai berikut :⁷⁰

-0,4075	x	sin M'
+0,1721	x E	M
+0,0161		2M'
-0,0097		2F1
+0,0073	x E	M' - M
-0,0050	x E	M' + M
-0,0023		M' - 2F1
+0,0021	x E	2M
+0,0012		M' + 2F1
+0,0006	x E	2M' + M
-0,0004		3M'
-0,0003	x E	M + 2F1

⁶⁸ Jean Meeus, *Astronomical*, ... h. 352.

⁶⁹ JDE akhir ini dapat diubah menjadi tanggal kalender biasa dengan cara metode yang dijelaskan dalam Bab 7. Hasilnya dapat dinyatakan dalam Waktu dinamis.

⁷⁰ Jean Meeus, *Astronomical*, ... h. 350.

$$\begin{array}{rcl}
+0,0003 & & A_1 \\
-0,0002 & \times E & M - 2F_1 \\
-0,0002 & \times E & 2M^? - M \\
-0,0002 & & \Omega
\end{array}$$

Adapun karena waktu terjadinya gerhana adalah di dua phase, yaitu phase new moon untuk gerhana Matahari dan full moon untuk gerhana Bulan, maka Jean Meeus juga menyantumkan rumusnya sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
\text{JDE} = & 2451\ 550,09766 + 29,530\ 588\ 861k + \\
& 0,000\ 154\ 37T2 - 0,000\ 000\ 150T3 + 0,000\ 000 \\
& 000\ 73T4 \dots\dots & (18)
\end{aligned}$$

Hasil rumus ini harus diintegrekan untuk mengetahui waktu New Moon, dan ditambah 0,5 untuk mendapatkan waktu Full Moon. Setiap nilai k tersebut menandakan urutan lunasi atau new moon dalam suatu tahun. Berdasarkan algoritma Jean Meeus, maka nilai k = 0 yang bertepatan dengan New Moon 6 Januari 2000 dijadikan epoch.⁷¹

B. Instrumentasi dalam Tradisi Astronomi Islam

1. Instrumen dalam Peradaban Astronomi Islam

Instrumen adalah *icon* sains yang disukai dan digemari oleh sejarah peradaban manusia. Dalam catatan sejarah pun, instrumen menjadi teman dekat bagi para astronom dan astrolog. Keadaan ini digambarkan dengan mereka yang memegang *Astrolabe*, berdiri di samping *Globe*, atau *Armillary Sphere*, atau melakukan pengukuran ketinggian

⁷¹ Jean Meeus, *Astronomical*,...h.349.

melalui pemandangan yang terlihat dengan bantuan penggaris parallax atau *horary quadrant*. Peradaban seni dan sastra Islam dalam memandang *Astrolabe* sebagai lambang dan perwujudan ilmu astronomi dan bahkan astrologi.⁷²

Lebih lanjut Francois mengatakan bahwa daftar instrumen akan menjadi pusat perhatian akhir bagi setiap bidang usaha ilmiah pra-modern atau awal-modern, icon visual atau atribut simbolis dari ilmu pengetahuan. Bidang astronomi, dijumpai adanya *Armillary Sphere*, *Astrolabe* dan Teleskop ; bidang *Aritmatika*⁷³ dengan *Abacus*⁷⁴ atau sempoa ; bidang geometri seperti kompas; bidang geografi dan penemuan / penelusuran ada bola dunia dan *sextant*.

Instrumen juga menjadi *icon* unggulan ilmu kuno dan abad pertengahan dalam publikasi modern. Hal ini bisa dilihat dari cara mereka menggunakan instrumen tersebut sebagai gambar halaman depan sebuah karya ilmiahnya, baik buku atau jurnal sebagai logo untuk asosiasi yang dipelajari.⁷⁵ Bahkan dalam peradaban Eropa, keberadaan instrumen astronomi seperti *Astrolabe* menjadi atribut penting bagi astronom kuno dan orang-orang bijak.

⁷² François Charette , *Mathematical Instrumentation In Fourteenth-Century Egypt And Syria*, Boston : Brill, 2003, h.3.

⁷³ Aritmatika Yang dimaksud adalah Perhitungan

⁷⁴ *Abacus* atau sempoa atau dalam KBBI *Sipoa/Swipoa* adalah alat untuk menghitung (menjumlah, mengurangi, membagi, dan memperbanyak); dekak-dekak (buatan Cina). Pusat Bahasa Departemen Pendidikan Nasional, Kamus,... h.1576.

⁷⁵ François Charette , *Mathematical*,... h.3.

Abad ketujuh belas juga menjadi contoh ketika instrumen kuno dan kontemporer dijadikan cover buku-buku astronomi, seperti buku Kepler's *Tabulae Astronomicae* (1627) atau Hevelius *Uranographia* (1690). *Tycho Brahe*⁷⁶ yang duduk di observatoriumnya di sebelah kuadran besar, dengan asisten di latar belakang sedang mengoperasikan instrumen lain adalah satu gambaran paling terkenal dari era astronomi modern awal.⁷⁷

Ketika kita diajak untuk memikirkan instrumen astronomi, maka pada umumnya dikaitkan dengan suatu pengamatan benda-benda langit dengan praktik astronomi. Diskusi tentang instrumen sudah tidak asing dikalangan ilmuwan astronomi, misalnya tentang empat instrumen pengamatan milik Ptolomy yaitu *Ecliptic Ring*, *Mural Quadrant*, *Armillary Sphere* dan *Parallactic Ruler*) yang digunakan oleh pendahulunya sebagai alat untuk mendapatkan data yang diperlukan dalam menetapkan parameter empiris dan klarifikasi model teori-teori yang dibuat.⁷⁸

⁷⁶ Tycho Brahe (1546-1601) adalah penulis sistem Tychonic, pengamat hebat yang dibesarkan sebagai anak tunggal di rumah saudara lelaki ayahnya, Jørgen Brahe, yang telah memutuskan bahwa Tycho akan mendapatkan pendidikan hukum. *The Biographical Encyclopedia of Astronomers*, h.163.

⁷⁷ Tycho Brahe, *Astronomiae Instauratae Mechanica*, Noribergae : Apud Levinvn, 1598.

⁷⁸ François Charette , *Mathematical*,... h.4.

Peranan besar yang diberikan sebuah instrumen menurut Francois bisa dilihat dari dua dimensi matematika praktis, yaitu sebagai model alam semesta atau sebagai perangkat grafis untuk menyelesaikan masalah dalam posisi astronomi. Dia berpendapat bahwa fungsi utama instrumen matematika dalam peradaban umat muslim abad pertengahan akhir adalah bersifat mendidik, artinya mereka lebih menyukai alat bantu visual dalam proses transmisi pengetahuan tentang astronomi.⁷⁹

Instrumen astronomi mendapat perhatian lebih dalam peradaban Islam, semangat penemuan dan kreativitas menjadi ciri tersendiri bagi semua cabang pengetahuan teoretis dan praktis.⁸⁰ Tercatat hanya beberapa *decade*⁸¹ setelah mengadopsi Astrolabe, para cendekiawan di lingkungan *Dar al-Islam* berhasil meningkatkan instrumen dan menemukan perangkat lain yang tidak diketahui oleh pendahulunya.

Secara tradisional, instrumen astronomi dalam literasi-literasi berbentuk ensiklopedi dan risalah tentang klasifikasi ilmu masuk dalam subdivisi astronomi tersendiri, misalnya dalam *encyclopædia of the sciences* milik ilmuan terkenal

⁷⁹ François Charette, *Mathematical*, ... h.4.

⁸⁰ Dalam bidang sains dan teknologi di abad pertengahan, umat Islam adalah guru, tapi mereka harus menjadi murid lagi di masa-masa kemunduran.

⁸¹ 1 dekade adalah masa 10 tahun. Istilah lainnya adalah dasawarsa. Pusat Bahasa Departemen Pendidikan Nasional, *Kamus Bahasa Indonesia*, Jakarta : Pusat Bahasa, 2008, h.332.

Muhammad al-Khawarizmi.⁸² Kemudian, *Timekeeping* atau ketepatan waktu juga dalam praktiknya bergabung dengan daftar subdivisi lebih lanjut dari astronomi yang ditampilkan lewat instrumen non-observasi. Sarjanawan Cairene Ibn al-Akfani,⁸³ mengklasifikasikan *timekeeping*, instrumen observasi, proyeksi bola astronomi dan gnomonic dalam cabang tambahan astronomi. Selama periode tahun 800-1100, pembahasan instrumen astronomi menarik perhatian luas dari para cendekiawan, dimulai dari Astrolabe yang secara professional telah disusun konstruksi serta pengoperasiannya, seperti al-Biruni dan Ibnu Sina, matematikawan, astrolog, dan guru.⁸⁴

Tidak ada pertentangan antara agama dan sains dalam Islam. Ada sekitar 800-an ayat kauniyah dalam Alquran yang membahas tentang sains. Bahkan, selama berabad-abad lamanya, kaum muslimin memimpin dunia di bidang sains, sebagai buktinya beberapa istilah masih dipakai hingga hari ini.⁸⁵

⁸² Muhammad Ibn Ahmad Ibn Yusuf, *Mafatih al-Ulum lilKhawarizmi*, Beirut : Dar al-Kitab al-Arabi, 1989, h.232–235.

⁸³ Muhammad ibn Ibrāhīm ibn al-Akfani (1286-ca. 1348-49) adalah seorang ensiklopedia dan Fisikawa. https://en.wikipedia.org/wiki/Ibn_al-Akfani diakses pada 26 Juni 2019 jam 10.20 WIB.

⁸⁴ François Charette , *Mathematical*,... h.4.

⁸⁵ Contoh nyata adalah istilah Algebra (aljabar) dari kata arab aljabr, disingkat dari judul buku *al-Mukhtashar fi Hisab al-Jabr wa al-Muqabala* dan Algorithm (logaritma) dari kata arab al-khawarizmi, diambil dari nama ilmuwan Muhammad bin Musa al-Khawarizmi (wafat

Bahkan Toshiyuki menyebut bahwa astronomi adalah stimulus agama dan umat muslim membutuhkannya. Pengamatan bintang atau benda langit mutlak dibutuhkan baik mata langsung maupun instrumen.⁸⁶

2. Klasifikasi Instrumen

Secara garis besar, pembahasan instrumen sudah menjadi bagian kuat ilmu pengetahuan, khususnya bidang astronomi. Maka dalam hal ini ada beberapa klasifikasi instrumen yang bisa dijadikan rujukan dalam pembuatan. Klasifikasi tersebut penulis bagi dari segi konsep algoritma dan fungsionalnya.

a. Instrumen Aritmatik

Secara bahasa kata instrumen berarti alat yang dipakai untuk mengerjakan sesuatu perkakas, bisa juga berarti sarana penelitian (berupa seperangkat tes) untuk memperoleh data sebagai bahan pengolahan.⁸⁷ Sehingga

850). Upaya de-arabisasi istilah sains dari arab-muslim secara masif dilakukan ilmuan barat untuk menghapuskan jejak khazanah arab-muslim telah genjar dilakukan sejak lama, seperti merubah aljabar menjadi matematika, memodifikasi angka arab dari aslinya, dll. Baca Tatang Barlian, *Jagad Raya Hologram Vs Konsep Takdir*, Jakarta : Dapur Buku, t.th, h.9-10

⁸⁶ Membuat dan memperbaiki instrumen bagi orang Yunani adalah hal tidak biasa, tapi kebalikan bagi muslim. mereka berhasil mengembangkan teori yang ditransfer dan instrumen baru yang inovatif. Toshiyuki Akiyama, *Islamic Perspectives on Science and Technology*, Japan : The Institute of Middle Eastern Studies International University of Japan, 1988, h. 80-82.

⁸⁷ Pusat Bahasa Departemen Pendidikan Nasional, *Kamus Bahasa Indonesia*, Jakarta : Pusat Bahasa, 2008, h.593.

kita bisa menyimpulkan instrumen adalah alat bantu yang digunakan untuk menyelesaikan suatu permasalahan.

Sedangkan kata *Arithmetic* secara bahasa adalah hitung, ilmu hitung,⁸⁸ yang merupakan cabang matematika yang menangani sifat dan manipulasi angka. Pada umumnya, ilmu ini dipelajari pada jenjang pendidikan menengah yang dikupas melalui persamaan, yaitu urutan angka dengan perbedaan umum di setiap pasangan yang berdekatan.⁸⁹

Seperti yang dicontohkan Francois bahwa kategori instrumen Astronomi Arithmetic adalah *Abacus* yang digunakan lebih dominan digunakan untuk menghitung.⁹⁰ Model perhitungan yang digunakan dalam instrumen ini adalah perhitungan dasar, baik penjumlahan, pengurangan, dan lain sebagainya.

b. Instrumen Geometri

Geometri diartikan sebagai ilmu ukur (pengukur bumi), merupakan cabang matematika yang menerangkan

⁸⁸ Aritmetika juga disebut sebagai pengkajian bilangan bulat positif, 1, 2, 3, 4, 5, dengan operasi penjumlahan, pengurangan, perkalian, dan pembagian, serta pemakaian hasilnya di kehidupan sehari-hari. Pusat Bahasa Departemen Pendidikan Nasional, *Kamus*,... h.87.

⁸⁹ Rina Zazkis and Peter Liljedahl, Arithmetic, Sequence as A Bridge Between Conceptual Fields, *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, Januari, 2002, h.94.

⁹⁰ Abacus disebut sebagai kerangka penghitungan, adalah alat penghitung yang digunakan di Eropa, Cina dan Rusia, berabad-abad sebelum adopsi sistem angka tertulis Hindu-Arab. Ebooks Aimi, Antonio; De Pasquale, Nicolino (2005), *Andean Calculators*.pdf

sifat-sifat garis, sudut, bidang, dan ruang. Juga mempelajari sifat dan hubungan bangun-bangun pada bidang seperti sudut, segitiga, dan lingkaran yang dapat digambarkan dengan penggaris dan jangka.⁹¹ Sehingga instrumen astronomi geometri bisa diartikan sebagai instrumen yang cara kerjanya melibatkan pembuatan garis, sudut, dan ruang yang menggambarkan posisi-posisi benda langit. Contoh dalam instrumen jenis ini adalah kompas, bola dunia, equatorium, sextant dan armillary sphere.

c. Instrumen Trigonometri

Kata trigonometri masuk dalam pembahasan matematika yang berkaitan dengan fungsi sudut tertentu dan penerapannya pada perhitungan. kata ini berasal dari Yunani yang artinya “*pengukuran segitiga*”. Pentingnya trigonometri dalam hal menyelesaikan masalah pengukuran, fisika mekanika, survey dan astronomi.⁹² Ada enam fungsi sudut yang terkenal yaitu ; sinus (sin), cosines (cos), tangent (tan), cotangent (cot), secant (sec), dan cosecant (csc). Kategori instrumen yang masuk dalam jenis ini adalah *rubu' mujayyab*, *astrolabe*, dan *dastur quadrant*.

3. Instrumen Astronomi Prediksi Gerhana Matahari dan Bulan

⁹¹ Pusat Bahasa Departemen Pendidikan Nasional, *Kamus*,...h.473-474.

⁹² Ebook *Fundamentals of Astronomi*, Chapter 3, h.48.

Perhitungan Gerhana memang dikenal sebagai perhitungan yang membosankan karena harus mensinkronkan posisi Matahari, memahami orbit bulan dan kecepatannya.⁹³ Sejarah mencatat bahwa perkembangan instrumen prediksi gerhana sudah dimulai dari zaman prasejarah, seperti *Stonehenge*⁹⁴ yang diklaim sebagai media prediksi gerhana. *Antikythera*⁹⁵ yang dibangun pada abad ke-2 BCE dengan konsep design spiralnya. Bangsa Yunani mampu memprediksi gerhana secara kasar. Pada akhirnya tradisi-tradisi pembuatan instrumen digalakkan oleh ilmuwan Muslim pada abad ke-9, yaitu dengan hadirnya karya *Equatorium*⁹⁶. Sebuah instrumen yang dikonsept untuk menghitung posisi planet di masa lampau maupun masa mendatang. Instrumen ini mampu dikembangkan pada abad

⁹³ P. Duffet-Smith, *Practical Astronomy with Your Calculator*, Cambridge : Cambridge University Press, 1979, h.157 & 161.

⁹⁴ Stonehenge adalah salah satu monumen batu prasejarah yang paling mengesankan dan paling dikenal di dalam dunia. John Brian (26 February 2011). *Stonehenge : Glacial Transport of Bluestones Now Confirmed?* (PDF) (Press release). University of Leicester. Diakses pada 24 Desember 2018 jam 15.24 WIB.

⁹⁵ Antikythera adalah salah satu perangkat perhitungan astronomi atau kalender yang melibatkan pengaturan yang sangat canggih dengan lebih dari tiga puluh roda gigi. Derek de Solla Price, *Gears from the Greeks. The Antikythera Mechanism: A Calendar Computer from ca. 80 B. C.*, Transactions of the American Philosophical Society, New Series, Vol. 64, No. 7 (1974), h. 5.

⁹⁶ *Equatorium* adalah instrumen astronomi yang mulai muncul pada paruh kedua abad ke-13 M di Eropa di luar Spanyol. Fuat Sezgin, *Science and Technology in Islam*, Vol 1, Frankfurt : Institute for The History of Arabic-Islamic Science, 2010, h. 173.

ke-14 oleh Jamshid al-Kashi⁹⁷ yang merupakan ilmuwan terkenal di Observatorium Ulugh Beg. Dia mengembangkan instrumen tersebut sehingga bisa menemukan posisi lintang Bulan dan Matahari sebenarnya, jarak, serta equation planet.⁹⁸

C. Persamaan Aritmatika

1. Pola dalam Ilmu Matematika / Statistik

Pola secara bahasa artinya bentuk (struktur) yang tetap⁹⁹. Secara istilah merupakan bentuk atau model (atau, lebih abstrak, suatu set peraturan) yang bisa dipakai untuk membuat atau untuk menghasilkan sesuatu atau bagian dari sesuatu, khususnya jika sesuatu yang ditimbulkan cukup mempunyai suatu yang sejenis untuk pola dasar yang dapat ditunjukkan atau terlihat, yang mana sesuatu itu dikatakan memamerkan pola. Dalam Ilmu Matematika masalah pola sering dikaitkan dengan pembuatan rumus yang berguna untuk memudahkan mencari nilai n ketika perhitungan yang dicari berada di jarak sangat jauh dari titik awal perhitungan.

Materi pola dalam ilmu Matematika dipakai pada materi bilangan, terutama bilangan genap maupun bilangan

⁹⁷ *Jamshid ibn Mas'ud ibn Mahmud Ghiyath al-Din al-Kashi* (atau al-Kashani) adalah seorang ilmuwan kebangsaan Iran di abad ke-15. Baca E.S. Kennedy, *The Planetary Equatorium of Jamshid Ghiyath al-Din Al-Kashi*, Princeton : Princeton University Press, 1960, h. vii.

⁹⁸ Feza Gunergun and Dhruv Raina, *Science*,...h.106-107.

⁹⁹Bisa juga disebut dengan susunan bilangan dengan aturan tertentu (pola bilangan). Pusat Bahasa Departemen Pendidikan Nasional, *Kamus Bahasa Indonesia*, Jakarta : Pusat Bahasa, 2008, h. 1215-1216

ganjil. Sebagai contoh pola 5 bilangan genap 2, 4, 6, 8, dan 10. Suku pertama adalah 2, 4 menjadi suku kedua hingga 10 menjadi suku terakhir.

- 2 disebut suku pertama
- 4 disebut suku ke-2
- 6 disebut suku ke-3
- 8 disebut suku ke-4
- 10 disebut suku ke-5

Ternyata suku-suku tersebut di atas mengikuti pola tertentu. Perhatikan polanya:

- Suku ke-1 = 2 = 2.(1)
- Suku ke-2 = 4 = 2.(2)
- Suku ke-3 = 6 = 2.(3)
- Suku ke-4 = 8 = 2.(4)
- Suku ke-5 = 10 = 2.(5)

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pola jumlah 5 bilangan tersebut adalah $2.k$, dimana $k \in \{1,2,3,4,5\}$.¹⁰⁰

2. Barisan Aritmatika

Barisan aritmatika adalah suatu barisan dengan satu bilangan tertentu yang bisa ditambahkan pada suku ke berapa pun untuk mendapatkan suku berikutnya atau suku sebelumnya. Dengan demikian $U_1, U_2, U_3, \dots, U_n, \dots$ merupakan barisan aritmatika dengan selisih (beda) antar suku sama,

¹⁰⁰ Afidah Khairunnisa, *Matematika Dasar*, Jakarta : Rajawali Press, 2014, hlm. 180-181.

(*common difference*) yaitu b , maka : $U_{n+1} = U_n + b$ (bilangan real b bisa berupa positif, negative, atau nol).¹⁰¹

Barisan aritmatika yang juga disebut barisan hitung menggunakan notasi sebagai berikut:

$$b = \text{beda yang sama} = U_2 - U_1 = U_3 - U_2 = \dots = U_n - U_{n-1}$$

$$a = \text{suku pertama} = U_1 = f(1)$$

$$n = \text{banyaknya suku}$$

$$U_n = \text{suku ke-}n = f(n)$$

Dengan notasi tersebut, bentuk barisan aritmatika secara umum sebagai berikut:

$$\text{Nilai } U_n = a, a+b, a+2b, a+3b, a+4b, a+5b, \dots$$

$$\text{Nilai } n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, \dots$$

Perhatikan bahwa b memiliki koefisien 1 di suku ke dua. Koefisien ini selalu bertambah 1 setiap kita berpindah ke suku berikutnya. Karenanya koefisien dari b di tiap suku 1 angka lebih rendah dari pada suku tersebut. Misalnya:

$$\text{Suku ke-5} = a+4b$$

$$\text{Suku ke-8} = a+7b$$

$$\text{Suku ke-}n = a+(n-1)b$$

Hal ini menuntun ke rumus suku ke- n :

$$U_n = a+(n-1)b \dots \quad (19)$$

Secara umum dalam penentuan suku-suku suatu barisan, salah satu caranya adalah dengan memerhatikan selisih antara dua suku yang berurutan. Bila pada satu tingkat pengerjaan belum diperoleh selisih tetap, maka pengerjaan dilakukan pada tingkat berikutnya sampai diperoleh selisih tetap.

¹⁰¹ Afidah Khairunnisa, *Matematika*, ...h. 183.

¹⁰² Afidah Khairunnisa, *Matematika*, ...h. 184-185.

Suatu barisan disebut berderajat satu (linier) bila selisih tetap diperoleh dalam satu tingkat pengerjaan, dan disebut berderajat dua bila selisih tetap diperoleh dalam dua tingkat pengerjaan dst. Sebagaimana contoh :3,7,11,15,19,...disebut barisan berderajat satu (linier). 5,8,13,20,29,...disebut barisan berderajat dua dan 2,5,18,45,90,...disebut barisan berderajat tiga. Dengan demikian, kita bisa menyimpulkan bahwa intisari dari barisan aritmatika adalah suku-suku yang berurutan tersebut memiliki suatu perbedaan yang tetap.¹⁰³

¹⁰³ John Bird, *Matematika Dasar : Teori dan Aplikasi Praktis*, Jakarta : Erlangga, 2004, h. 211-212.

BAB III

VOLVELLE PHILIPPE DE LA HIRE SEBAGAI MESIN PENGHITUNG GERHANA

A. Profil Keilmuan Philippe De La Hire

Philippe De La Hire lahir pada 18 Maret tahun 1640 di Paris. Ia adalah putra tertua dari pasangan suami-istri yaitu Laurent De La Hyre dan Marguerite Coquin. Ayahnya bekerja sebagai pelukis dan sezaman dengan pelukis terkenal Poussin¹ atau Philippe de Champaigne.²



Gambar 6 : Philippe De La Hire³

Laurent De La Hyre juga banyak mendapat perintah dari beberapa tempat, seperti istana, bangsawan dan gereja-gereja untuk membuat

¹ Nicolas Poussin (Juni 1594 – 19 November 1665) adalah pelukis terkemuka asal Perancis yang memiliki gaya Barok Klasik Prancis. Baca https://en.wikipedia.org/wiki/Nicolas_Poussin diakses pada 13 Juni 2019 pukul 23.22 WIB.

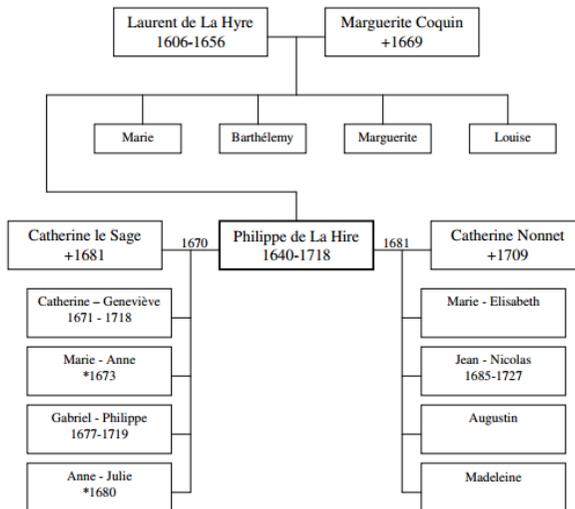
² Zbynek SIR, *Les sections coniques chez Philippe de La Hire*, These en co-tutelle, Paris, 2002, h.7.

³ Zbynek SIR, *Les sections, ...* h.8.

lukisan. Beberapa lukisanya pun terpajang di Museum Louvre dan Katedral Notre Dame, Paris. Ayah Philippe mempunyai karakter kuat dalam penggunaan perspektif dan minatnya pada pondasi teoretis seni.

Sedangkan ibunya tidak banyak literasi yang menyebutnya. Hanya saja Zbynek SIR⁴ berpendapat bahwa Marguerite Coquin berasal dari latar belakang Borjuis⁵ di Paris. Ibunya meninggal pada tahun 1669.

Philippe yang menjadi putra tertua memiliki empat saudara (dua lelaki dan dua perempuan). Dari empat saudaranya itu salah satunya bekerja sebagai pengacara di pengadilan yang membuat keadaan materi keluarga cukup mudah untuk menopang kehidupan sehari-hari.



Gambar 7 : L'arbre généalogique (Pohon keturunan).⁶

⁴ Zbynek SIR adalah pemilik penelitian tentang *Les sections coniques chez Philippe de La Hire* yang diujikan pada tahun 2002 di Paris.

⁵ **Bourgeois** adalah anggota kelas menengah dalam kehidupan social. Baca <https://www.vocabulary.com/dictionary/bourgeois> diakses pada 13 Juni 2019 pukul 23.29 WIB.

Suasana lingkungan ayahnya yang hidup dalam ranah keilmuan seni dan sains membuat Philippe hidup dalam situasi material yang mudah. Keadaan tersebut sangat menentukan bagi karir ilmiahnya. Philippe dikenal sebagai seorang pengamat yang kompeten, matematikawan dan menjadi salah satu anggota Academie de Sciences di Paris. Kecerdasannya terbukti dengan hadirnya karya-karya yang berhasil dipublikasikan. Satu di antara yang menonjol adalah *Tabulae Astronomicae*, sebuah buku astronomi yang menjelaskan tentang bagaimana menggunakan tabel-tabel serta bagaimana cara memecahkan masalah perhitungan gerhana Matahari dan Bulan dan tema-tema astronomi lainnya. Terbit pada tahun 1687 untuk edisi pertama dan edisi kedua dari teks ini diterbitkan pada tahun 1702 dan dicetak ulang pada tahun 1727.⁷

Philippe adalah seorang yang beragama Katolik. Wasiat dan pujiannya terhadap Fontelle menunjukkan bahwa ia memiliki sifat saleh yang solid tanpa terlihat luar biasa. Statusnya sebagai bapak dijalankan dengan asik, sederhana dan tetap bervisi.⁸

Perjalanan Ilmiah Philippe

Philippe di masa mudanya tidak pernah menghadiri lembaga pendidikan. Ia justru dididik oleh ayahnya tentang melukis dan menggambar. Ia juga tumbuh di antara seniman yang berusaha memberikan karya seninya sebagai dasar teori dan disinilah minat

⁶ Zbynek SIR, *Les sections*,... h.20.

⁷ Virendra Nath Sharma, Zij-I Muhammad Shahi and The Tables of De La Hire, *India Journal of History of Science*, 25, 1990, h. 1.

⁸ Zbynek SIR, *Les sections*,... h.17.

dalam melukis, menggambar, perspektif dan mekanika praktis tumbuh pada usia dini.⁹ Philippe juga belajar sains dengan ayahnya. Akan tetapi Philippe harus menerima keadaan sedih ketika ayahnya meninggal pada saat Philippe berusia 16 atau 17 tahun. Setelah itu, ia memutuskan untuk melakukan perjalanan ke Italia dari tahun 1660 – 1664, tepatnya di Venesia.¹⁰

Menurut penegasan Fontenelle, selama periode ini La Hire menyatakan pilihannya untuk belajar matematika dalam kaitannya dengan seni. Dia akan belajar matematika dan terutama bagian kerucut selama tinggal di Venesia. Pada waktu itu, Venesia masih merupakan tempat pengajaran ilmiah yang bagus. Akhirnya materi bagian kerucut telah dipelajari secara luas oleh Philippe pada abad ke-17. Philippe memanfaatkan waktunya di Italia untuk berkeliling, seperti belajar Geometri di Roma serta kota-kota lainnya.¹¹



Gambar 8 : Lukisan Philippe tentang lingkungan Roma¹²

⁹ Karl-Eugen Kurrer, *The History of the Theory of Structures*, Germany : Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische, 2008, h. 743.

¹⁰ Zbynek SIR, *Les sections*,... h.10.

¹¹ Zbynek SIR, *Les sections*,... h.10.

¹² Zbynek SIR, *Les sections*,... h.11.

Debut Philippe dalam Dunia Ilmiah (1664 – 1678)

Empat tahun menimba ilmu di Italia, Philippe kembali lagi ke Paris pada tahun 1664. Dan pada usia 29 tahun, dia berhasil mempunyai dua rumah di Paris. Pada 1670, ia menikahi Catherine, putri seorang pedagang di Paris dan mereka menetap di salah satu rumah di jalan Montmartre, yang memiliki 3 lantai dan sebuah taman dan mereka menyewa rumah lainnya. Pada tahun yang sama, anak pertama dari keluarga Catherine Geneviève lahir. Secara keseluruhan, Philippe de La Hire memiliki delapan anak.¹³

Sekembalinya ke Paris pada tahun 1664, Philippe memelihara komunikasi dengan Abraham Bosse, pengukir terkenal dan teman baik ayahnya dulu dan murid terakhir Desargues. Setelah kematian Desargues, Bosse membutuhkan bantuan seorang ahli matematika, yang akan memberinya landasan teori yang diperlukan untuk karyanya pada praktik dan teori arsitektur. Kesempatan ini membuat Philippe tertarik untuk membangkitkan minatnya di bidang kerucut dan pemotongan batu, geodetic dan astronomi.¹⁴

Karya pertamanya dipublikasikan pada tahun 1673, yaitu *Nouvelle méthode* (Metode Baru). Karya ini memancing pula beberapa karya kecil di tahun berikutnya. Pada tahun yang sama, lahir anak kedua yaitu Marie-Anne dan tahun 1677 lahir putra pertama yaitu Gabriel

¹³ Zbynek SIR, *Les sections*,... h.12.

¹⁴ Karl-Eugen Kurrer, *The History*,... h. 743.

Philippe. Pada periode ini La Hire mungkin berhubungan dengan Picard¹⁵ dan bersama-sama mereka mengejar pengamatan astronomi.

Masa-masa terbaik Philippe (1678-1702)

Ketika periode awal ilmiah Philippe dating dengan menerbitkan berbagai karya dalam beberapa bidang keilmuan, ia menerima banyak penghargaan atas karyanya tersebut. Dimulai dari tahun 1678, ia menjadi anggota Akademi Ilmu Pengetahuan. Menurut Zbynek, bahwa pamphlet yang pernah dibuat Philippe untuk didedikasikan kepada Colbert¹⁶ mengantarkannya menjadi anggota di Akademi itu dan tidak lupa karena kerja sama yang sudah terbentuk dengan Picard. Di akademi ini, Philippe memulai kerja pertamanya dengan Picard untuk melakukan pengamatan astronomi di berbagai kota di Perancis dari tahun 1679-1682. Pengamatan ini nantinya difungsikan untuk membangun peta baru Prancis. Apalagi La Hire akan dianggap sebagai "astronom akademisi" dan bukan sebagai surveyor.

Keberadaannya yang dekat dengan Observatory, membuat Philippe terasa mudah untuk akses instrument dan buku-buku guna karya ilmiah. Terlebih kata Zbynek Philippe sering kontak dengan ilmuwan-ilmuan lain, misalnya dengan Christian Huyghens yang membahas tentang perumahan di Observatorium. Di Observatorium, Philippe

¹⁵ Jean Picard (1620-1682) adalah ilmuwan Perancis yang memberikan kontribusi penting pada astronomi, geodesi, kartografi, dan hidrolika presisi awal. Ia menjadi senior Philippe de La Hire di Royal Academi des Sciences. Baca Thomas Hockey, *The Biographical Encyclopedia of Astronomers*, New York : Springer, 2007, h.903.

¹⁶ Colbert adalah pendiri Academie des Sciences de Paris pada 1666. Karl-Eugen Kurrer, *The History of the Theory of Structures*, Germany : Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische, 2008, h. 201.

melakukan pengamatan yang teratur dan tepat sehingga kontribusinya membuat kegiatan di Observatorium menjadi lancar bahkan ia disebut sebagai tokoh kunci di sana. Pengamatannya yang beraneka ragam dalam bidang Fisika, Meteorologi dan ilmu alam menjadi bukti akan tingginya rasa ingin tahunya.¹⁷

Buku *Gnomonique*¹⁸ menjadi karya selanjutnya yang terbit pada tahun 1682. Di tahun yang sama, Picard meninggal dunia dan Philippe diangkat sebagai professor di *Royal College*¹⁹ di posisi "astronomi" yang kosong sejak kematian Roberval pada 1675.²⁰ Tahun berikutnya, Philippe menjalin kerja sama dengan rute meridian Paris yang terkenal. Pada 1684, ia bertugas mengawasi pekerjaan meratakan yang diperlukan untuk pembangunan saluran yang membawa air ke Istana Versailles. Dalam keadaan ini ia memiliki kesempatan untuk menjalin hubungan dengan istana kerajaan.²¹ Ketika Philippe bisa berbicara dengan sang raja dan sangat mudah untuk tinggal di istana, tapi jiwa penelitiannya yang kuat membuatnya tidak betah di istana dan memilih kabur untuk bisa meneruskan penelitian-penelitiannya.

Pada 1685, La Hire menerbitkan buku besar bagian kerucut yang berjudul *Sectiones conicae*. Tahun 1687, ia diangkat sebagai profesor

¹⁷ Thomas Hockey, *The Biographical*, ... h.514.

¹⁸ Buku tentang bayang-bayang dari sebuah benda

¹⁹ Tempat Philippe meraih gelar Profesor Matematika.

²⁰ Pada 1682 ia menjadi penerus Gilles Personne de Roberval (1602-1675) di kursi matematika (yang telah kosong selama tujuh tahun) di Collège Royal. http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Biographies/La_Hire.html

²¹ Zbynek SIR, *Les sections*, ... h.13.

di Akademi Arsitektur setelah Blondel.²² Dengan demikian, sampai kematiannya pada 1718, La Hire secara teratur memegang tiga posisi yang dibayar. Pada tahun-tahun berikutnya, Philippe menggunakan waktunya untuk pengajaran, pengamatan, edisi karya dan publikasi karya asli. Hasilnya adalah karya berjudul *Mémoires de mathématique et de physique* terbit pada tahun 1694. Tahun berikutnya buku berjudul *Mécanique*. Adapun Pengamatan-pengamatan astronominya termasuk bersama Picard menyebabkan hadirnya karya yang terkenal, yaitu *Tabulae Astronomicae* (tabel-tabel astronomi) yang akhirnya menjadi buku utama penulis dalam penelitian ini.²³

Terbit pertama kali pada 1702 dan diterbitkan kembali pada 1702 dan dicetak pada tahun 1727 serta sering diterjemahkan. Hanya saja literature yang berhasil penulis dapatkan hanya dua buah, yaitu manuskrip asli dan sekitar 6 halaman²⁴ di buku milik Nicolas Bion *De Traite*²⁵ dan keduanya menggunakan bahasa Perancis.

Tahun-tahun terakhir (1702-1718)

²² Lima tahun kemudian ia menggantikan Nicolas François Blondel (1618-1686) di Académie Royale d'Architecture, di mana ia memberikan kuliah tentang teori arsitektur dan teori pemotongan batu sampai 1717. Baca http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Biographies/La_Hire.html

²³ Zbynek SIR, *Les sections*, ... h.14..

²⁴ Halaman 234 – 240.

²⁵ Nicolas Bion mempunyai buku berjudul “*The Traite de la construction et des principaux usages des instrumens de mathématique*” yang banyak mengulas instrument-instrumen astronomi, termasuk *Volvelle* Philippe de La Hire.

Tabulae Astronomicae menjadi karya besar terakhir Philippe de La Hire. Di sisi lain, hingga kematiannya ia terus dengan gigih melakukan pengamatan astronomi secara teratur, menerbitkan catatan-catatan yang sering kali ada penekanan matematikanya yang hebat. Ia tanpa lelah mengejar tugas mengajarnya dan berpartisipasi secara teratur dalam pertemuan-pertemuan di Akademi Ilmu Pengetahuan. Pada 1709, Istri keduanya meninggal dan Philippe sendiri lager. Menikmati kesehatan yang sangat baik, dapat bekerja hingga sebulan sebelum kematiannya, yang terjadi pada 21 April 1718, ketika dia berusia 78 tahun.²⁶

Kondisi Perekonomian Philippe de La Hire

Secara umum ekonomi Philippe terasa mudah dengan keadaan saudara lelakinya yang menjadi pengacara serta memberi saudaranya acara pernikahan yang menarik. Selain itu, Philippe yang juga merupakan putra tertua dari 7 saudaranya mampu membayar bagian warisan saudara-saudaranya dan memiliki dua rumah pada tahun 1669. Kemudian masing-masing wanitanya membawa mahar 4.000 pound dan yang lebih penting, mereka warisi dari orang tua mereka. Jadi pada saat kematian istri keduanya La Hire mewarisi jumlah 61.570 pound.²⁷

Di samping keadaan tersebut, Philippe mengadakan tiga pos yang mampu memberinya penghasilan 3.300 livre per tahun. Dia juga memiliki fasilitas tertentu, seperti biaya perjalanan diganti olehnya, dan sebagainya. Meski dengan kondisi yang bisa dibilang mewah,

²⁶ Zbynek SIR, *Les sections*,... h.14.

²⁷ Zbynek SIR, *Les sections*,... h.15.

Philippe juga pandai dalam mengelola keuangannya. Terbukti pada 1670, ia membangun salah satu rumahnya dan ia segera menyewa yang lain seharga 403 pound per tahun. Ketika dia pindah ke Observatory pada tahun 1680, dia menyewa rumah yang lain juga. Pada 1688 istrinya mewarisi setengah dari rumah lain dan, beberapa minggu kemudian, membeli paruh kedua dari saudara istrinya seharga 10.500 pound dan kemudian menyewa rumah tetangga seharga 2.000 pound. Selama bertahun-tahun ia menyewa properti ini seharga 1.100 poundsterling setahun. Terlepas dari investasi dalam real estat, Philippe berinvestasi dalam sekuritas negara. Pada 1681, dia memiliki gelar senilai 10.800 livre, pada 1709 89.800 livre, dan pada 1718 ketika dia meninggal 63.000 20 livre.²⁸

Patut ditiru bahwa Philippe yang bergelimang uang juga berusaha menghindari semua hal yang berlebihan dan memilih hidup dengan sederhana tanpa barang-barang mewah. Pengecualian adalah buku, instrumen ilmiah dan sejumlah tabel.²⁹ Dengan demikian kita melihat bahwa Philippe de La Hire adalah orang yang bijak dalam bisnisnya, investasi dengan aman, menghindari kehidupan mewah yang bisa menghabiskan uangnya, waktu, ketenangan dan tentunya tenaganya. Ia berhasil menjadi seorang putra panutan dan tokoh keluarga yang baik bagi anak-anaknya dengan menjaga situasi keuangan sepanjang hidup

²⁸ Zbynek SIR, *Les sections*,... h.15.

²⁹ Zbynek SIR, *Les sections*,... h.15.

dan memastikannya bekal untuk anak-anaknya dengan cara meninggalkan mereka properti yang penting.³⁰

Jumlah Karya Philippe De La Hire

Philippe adalah salah seorang yang mempunyai kecerdasan universal. Pelukis, juru gambar, professor, arsitek, dan lainnya. Mempunyai rasa ingin tahu yang tinggi mampu mengantarkan karya sebanyak 545 sepanjang hidupnya. Terbagi ke dalam beberapa bidang keilmuan sebagai berikut :

Sujet	Nombre de volumes
Géométrie	261
Astronomie	103
Architecture	46
Fortifications	15
Botanique	24
Littérature	68
Religion	28
Total	545

Gambar 9 : daftar karya Philippe de La Hire³¹

Jumlah tulisannya sendiri dan luasnya jurnal-jurnal dan banyak tugas mengajarnya menjadi saksi banyak kerja keras. Memang, itu hanya bisa seperti yang dikatakan Fontenelle,

“ Semua harinya adalah dari satu ujung ke ujung yang lain, ditempati oleh penelitian, dan malam-malamnya, sangat sering terganggu oleh pengamatan astronomi, Tidak ada hiburan selain dari pekerjaan yang berubah Tidak ada latihan fisik selain dari pergi dari Observatory

³⁰ Zbynek SIR, *Les sections*,... h.16.

³¹ Zbynek SIR, *Les sections*,... h.16.

ke the Akademi Ilmu Pengetahuan, ke Arsitektur, ke Royal College
.... "

Jadi kita melihat seorang pekerja menjalani kehidupan yang teratur dan teratur. Selain itu, ia memiliki keberuntungan untuk berbagi karya ilmiahnya dengan kedua putranya yang menjadi akademisi dan ia bahkan dibantu dalam pengamatannya oleh putrinya. Tulisan-tulisannya sangat jelas dan menunjukkan kemampuan pedagogis yang baik untuk menyajikan masalah. Selain itu, ia berusaha seakurat mungkin dan, seperti yang akan kami tunjukkan, untuk menghindari gagasan yang tidak umum diterima, seperti, misalnya, menunjuk ke tak terhingga dll.

La Hire adalah seorang Katolik dan wasiat serta pujiannya terhadap Fontenelle menjadi saksi kesalehan yang solid tanpa terlihat luar biasa. Kita akan menyimpulkan bab ini dengan perincian lain yang ditemukan dalam wasiat La Hire, yang menunjukkan kepada kita keasyikannya sebagai bapak sebuah keluarga besar.³²

B. Kontruksi dan Penggunaan *Volvelle* sebagai Calculator Gerhana

Sejarah penggunaan *Volvelle* sebagai perangkat komputasi punya tradisi panjang. Contoh yang terkenal luar biasa adalah *Volvelle* Petrus Apianus³³ dalam bukunya *Astronomicum Caesareum* yang memiliki tingkat prediksi sangat detail. Sebagai perbandingan, Lars Gislen menyebut bahwa *Volvelle* milik Philippe mempunyai keuntungan di

³² Zbynek SIR, *Les sections*, ... h.17.

³³ Astronom Perancis era sebelum Philippe

tingkat kemudahan menghitung dan cepat diatur.³⁴ Sedangkan Feza Gunergun juga mengatakan bahwa Phillippe telah menemukan Volvelle sudah lama.³⁵

Volvelle yang ditemukan oleh Philippe ini terdiri atas tiga piringan yang terbuat dari tembaga atau kardus, ada alidade atau penggaris, dan benang.³⁶ Dua piringan teratas pada instrumen ini digunakan dengan cara diputar.³⁷ Adapun instrument ini bisa digunakan di semua tahun imlek (1700-1750) hingga tahun 1854. Dia telah mencetak 10 dalam 10 tahun, sehingga alat ini akan mudah digunakan untuk memberikan data tahun bulan dan matahari. Adapun tahun-tahun lain dari siklus 179 tahun kami, tidak akan sulit untuk membuatnya selesai.³⁸

Feza menyebut *Volvelle* milik Philippe ini dengan “*Sebuah Kalkulator*” yang dibuat dari kuningan, kayu atau papan tulis. Instrument itu sangat praktis dan portable yang sekilas sama dengan Astrolabe yang digunakan oleh Turki Utsmani dalam beberapa abad. *Volvelle* difungsikan sebagai instrument prediksi gerhana.³⁹

³⁴ Lars Gislén dan Chris Eade, Philippe De La Hire’s Eighteenth Century Eclipse Predictor, *Journal of Astronomical History and Heritage*, 2016, h. 47

³⁵ Feza Gunergun, *Science*,...,h.109.

³⁶ Nicolas Bion, *The Traite de la construction et des principaux usages des instrumens de mathematique*, Paris : Pres La Rue Gille, 1752, h. 234.

³⁷ Lars Gislen, dan Chris Eade, *Philippe*,...h.47.

³⁸ Nicolas Bion, *The Traite*,... h. 235.

³⁹ Feza Gunergun, *Science*,...h.113.

Secara sempurna, ada dua sumber yang menjelaskan bagaimana konstruksi dan penggunaan dari Volvelle milik Philippe de La Hire tersebut. Pertama penulis dapatkan dari bukunya Nicolas Bion berjudul “ *Traite De La Construction Usages Des Instrumens* ” pada halaman 234-240. Penjelasan ini masuk dalam bab V yang diberi subjudul “ *De la construction & usage d'une Machine qui montre les Eclipses tant die Soleil que de la Lune, les Mois & les Annees lunaires avec les Epactes* ”.⁴⁰ Dalam hal ini penulis mencoba membagi ke dalam beberapa tahap, yaitu ; pertama, Komponen Vovelle , kedua , Konsep Algoritma Kalender dan Divisi, Ketiga Epoch, keempat penggunaan Volvelle, dan Kelima Contoh Perhitungan Prediksi Gerhana.

1. Kalender

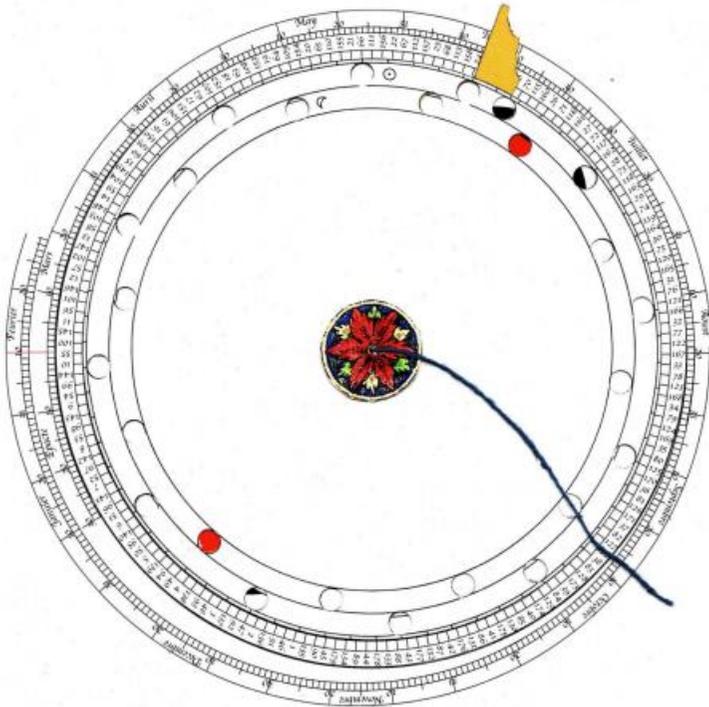
Komponen *Volvelle* pertama adalah piringan yang berfungsi untuk data kalender yang diawali dengan 1 Maret dan diakhiri 28/29 Februari.⁴¹ Pada bagian ini konsep desain berbentuk spiral dan terletak di bagian dasar (bawah). Pada bagian kalender di piringan terbawah ada tambahan 18/19 hari di bulan Februari yang menjulang keluar membentuk spiral. Penerapan konsep ini ada dua argument. Pertama, pada akhir tahun periode akan datang tahun kabisat. Kedua, sisa 18/19 hari pada akhir Februari memberi cara praktis perhitungan untuk perbedaan kalender gregorian dan tahun-tahun gerhana.⁴² Bentuk spiral ini tak lain karena tahun lunar lebih pendek daripada tahun masehi, sehingga mulai jam ke-16 tanggal 10 Februari kalender mulai

⁴⁰ Nicolas Bion, *The Traite,...* h. 234-240.

⁴¹ Lars Gislén dan Chris Eade, *Philippe,...* h. 47.

⁴² Lars Gislén dan Chris Eade, *Philippe,...*h. 47.

melompat dari satu lingkaran. 30 hari yang berada sebelum Maret adalah Epact.⁴³



Gambar 10 : Kalender Volvelle Philippe.⁴⁴

Philippe menyatakan bahwa konsep hari yang ada di instrumennya tidak dilakukan sesuai penggunaan para astronom,⁴⁵

⁴³ *Epact* adalah usia bulan pada tanggal tertentu, dihitung dengan perhitungan siklus. Lars Gislen, Philippe,...h.49.

⁴⁴ Lars Gislen dan Chris Eade, *Philippe*,...h.49. Ia juga memiliki prototype Volvelle yang diselesaikan pada 12 Januari 2016 dan bisa diunduh dan cetak dalam websitenya. <http://www.thep.lu.se/~larsg/EclipsePredictor.pdf>.

⁴⁵ Hal ini terjadi agar masyarakat umum bisa menghitungnya. Philippe de La Hire, *Tabulae*,...h.90.

tetapi seperti pernyataan vulgar bahwa hari dimulai pada tengah malam dan berakhir pada tengah malam berikutnya. Oleh karenanya, kapan pun itu adalah hari pertama dalam sebulan atau hari lainnya yang terdapat dalam ruang pembagian. Karena disini kita menghitung hari berjalan.⁴⁶

Lingkaran kalender dibagi sedemikian rupa sehingga memerlukan total sudut sebesar 368 derajat 2 menit 42 detik atau 368,045 yang nantinya akan dibagi untuk 354 hari 9 jam.⁴⁷ Dari sinilah satu lingkaran penuh harus mengandung 346 hari 15 jam yang dapat diambil tanpa kesalahan yang masuk akal selama 2/3 hari (16 jam). Angka 346 hari ini bisa kita hitung dari pembagian

$$368,045 / 354,375 \text{ (hari)} = 1,038575 / \text{hari}$$

Jika menghendaki sudut perjam maka,

$$368,045 / 8505 \text{ (jam)} = 0,043273956 / \text{jam}$$

346 bagian dan 2/3 itu ada kekurangan keseluruhan menjadi sepertiga, yang dalam contoh ini adalah 1040 (346 + 2/3 dikalikan 3); kemudian cari jumlah kelipatan terbesar dari 3, yang dapat dengan mudah dibagi dengan setengah & terkandung dalam 1040. Angka ini akan berada dalam perkembangan *geometrik ganda*⁴⁸, di mana istilah pertama & paling tidak akan menjadi 3, seperti 3, 6, 12, 24, 48, 96, 100, 384, 768.

⁴⁶ Nicolas Bion, *The Traite*,... h.235.

⁴⁷ Philippe menyebutkan redaksi 9 jam atau kurang sedikit. Tapi yang dipakai adalah 9 jamnya.

⁴⁸ Geometri ganda adalah barisan angka yang mempunyai rasio sama antara baris satu dan berikutnya.

Dalam keterangan ini, Bion menjelaskan kepada kita untuk memahami bahwa cara mendapatkan nilai sudut per hari sebanyak 346 hari lebih $\frac{2}{3}$ dari sudut penuh lingkaran 360 adalah sebagai berikut :

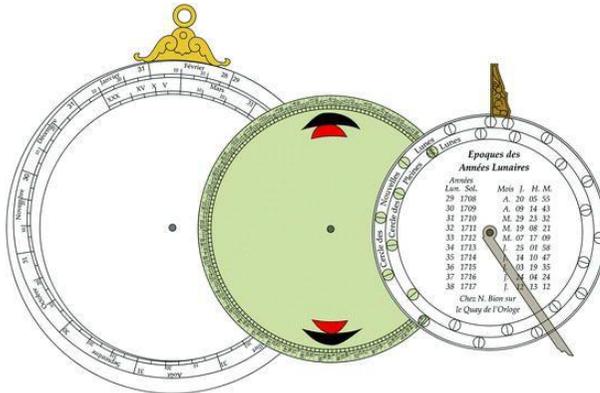
$$360 : (346 + \frac{2}{3}) = 1^{\circ} 2' 18,46'' \text{ atau } 1,038416538.$$

Sehingga sebagai contoh nilai sudut pada bagian 10 adalah

$$10 \times 1,038416538 = 10^{\circ} 23' 4.62'' \text{ atau } 10,38461538$$

Hari-hari ini akan didistribusikan ke masing-masing bulan dalam setahun, dengan menambahkan angka yang sesuai dengan mereka. Dimulai dengan bulan Maret dan berlanjut hingga jam ke 15 tanggal 10 Februari, yang segaris lurus dengan awal bulan Maret. Adapun sisa bulan Februari melampaui satu lingkaran.⁴⁹

2. Divisi



Gambar 11 : Bagian tengah adalah piringan divisi.⁵⁰

Plate tengah Volvelle adalah plate divisi yang terdapat dua komponen, yaitu data lunasi bulan selama 179 tahun dengan kombinasi

⁴⁹ Nicolas Bion, *The Traite*,... h. 236.

⁵⁰ Feza GunerGun and Dhruv Raina, *Science Between Europe and Asia*, London : Springer, 2011, h.117.

angka-angka yang mengikuti barisan *aritmatika*⁵¹ serta area bayang-bayang sebagai penanda gerhana serta jenisnya. Berwarna hitam untuk menandakan adanya gerhana Matahari dan berwarna merah untuk gerhana Bulan.

Philippe membuat dua model logika dalam membuat konsep divisi di instrumennya. Aturan ini menjelaskan bahwa antara akhir tahun pertama dan awal tahun kedua dipisahkan berdasarkan divisi 4 dari 179.⁵² Satu lingkaran penuh dibagi 179 bagian yang sama dan masing-masing berdurasi 354 hari 9 jam atau lebih. Tahun pertama instrumen dimulai dari angka 179. Tahun-tahun tersebut disimbolkan dengan angka 1,2,3,4 dan seterusnya sampai 179 dari 4 ke 4 divisi.

Gislen menerangkan bagaimana angka 4 itu didapat, yaitu sebagai berikut : Kita memiliki hasil dari selisih Lunar Year dan Eclipse Year yaitu 7.7472 hari. Ketika sisa tersebut dibagi dengan satu siklus tahun gerhana (346,61979) dan dikali dengan 179 maka akan menghasilkan angka 4,0008 yang artinya sangat dekat dengan angka 4.⁵³ Dengan demikian, slot ini dapat digunakan untuk mengoreksi pergerakan tahunan relatif lunar node ke bulan. Cara lain untuk mengekspresikan

⁵¹ Barisan Aritmatika adalah suatu barisan dimana setiap suku sesudah suku pertama ditentukan dengan cara menambahkan bilangan tertentu, *beda* kepada suku sebelumnya. Frank Ayres dan Philip A Schmidt, *Matematika Universitas Edisi Ketiga*, terj. Alit bondan, Jakarta : Erlangga, 2004, h. 64. Angka-angka tersebut tersusun melingkar sebanyak 179 lunasi. Seperti 1, 46, 91, 136, 2, 47, 92, 137, , n, n+45, n+90, n+135, dan seterusnya. Lars Gislén dan Chris Eade, *Philippe*,... h. 47.

⁵² Nicolas Bion, *The Traite*,... h.237.

⁵³ Lars Gislén dan Chris Eade, *Philippe*,...h. 47.

hubungan di atas adalah bahwa 179 tahun bulan adalah hampir sama dengan 183 tahun gerhana :

$$179 \text{ LY} = 63431,69 \text{ hari, dan}$$

$$183 \text{ EY} = 63431,42 \text{ hari}$$

Perbedaan antara tahun gregorian dan tahun gerhana adalah 18.6227 hari ($GY - EY = 365.2425 - 346.61979 = 18.6227$). Jumlah ini memungkinkan kita untuk beralih dari satu tahun gerhana ke lain.

Philippe De La Hire telah menempatkan simpul turun bulan di angka ke-4 yang dimulai bertepatan pada 17 Januari 1684 jam 1:38. Perhitungan modern menunjukkan bahwa memang bulan baru yang terjadi waktu itu sebenarnya sangat dekat dengan ascending node dan akibatnya ada gerhana matahari cincin. Namun itu tidak terlihat di Perancis karena Matahari di bawah horizon.⁵⁴

Angka-angka divisi ini digunakan untuk penanda awal *tahun lunar* yang juga berkaitan dengan *tahun solar*. System kalender yang digunakan adalah kalender Gregorian dengan meridian Paris. Tahun pertama harus bernilai 0 karena berkaitan dengan divisi 179 (angka 0 adalah sama dengan 179, sehingga secara total ada 180 barisan angka dan ini akan habis dibagi dengan 4 yang merupakan konsep divisinya).⁵⁵ Angka 179, Philippe gunakan sebagai awal Epoch yang bersesuaian keadaan Paris pada 29 Februari 1680 jam 14.24.⁵⁶

⁵⁴ Lars Gislén dan Chris Eade, *Philippe, ...* h. 48.

⁵⁵ Philippe menjadikan angka 179 sebagai titik awal dari siklusnya dan berakhir juga di titik 179. Philippe de La Hire, *Tabulae, ...* h.89.

⁵⁶ Nicolas Bion, *The Traite, ...* h. 235.

Adapun akhir tahun lunar pertama yang juga menjadi awal tahun kedua adalah pada divisi bertanda 1, tiba di Paris pada tahun 1681 tanggal 17 Februari pukul 11.15 (jika lihat di instrumennya, maka pukul 23.13 atau selisih 2 menit). Perlu di ingat bahwa satu hari adalah 24 jam berturut-turut dari satu tengah malam ke yang berikutnya.⁵⁷ Bion menegaskan bahwa jangan sampai ada kesalahan dalam mengaitkan pembagian tepi platinum kedua dengan tahun-tahun yang berhubungan dengan tahun-tahun bulan karena Philippe telah meletakkan angka yang sama satu sama lain.⁵⁸

Lebih detail Bion turut menguraikan bagaimana cara penyusunan angka 179 tersebut. pertama yang harus dilakukan adalah lingkaran dibagi menjadi 179 bagian yang sama, sehingga sudut per bagian sebesar $2,011173$ atau $2^{\circ} 0' 40,22''$ ⁵⁹. Sebagai contoh ketika kita menghendaki bagian 51, maka sudutnya sebesar 102.5698324 atau $102^{\circ} 34' 11.4''$.⁶⁰ Bion turut membuat logika Matematikanya dalam menjelaskan konsep ini, yaitu dengan mengambil angka terbesar dari 179 yang bisa dibagi setengah menjadi 1 adalah 128, maka hasilnya adalah angka 128.⁶¹

⁵⁷ Penyebutan jam dalam beberapa keadaan tidak jelas apakah itu untuk siang hari atau malam.

⁵⁸ Nicolas Bion, *The Traite*,... h. 235.

⁵⁹ Satu lingkaran mempunyai sudut 360° , maka untuk mendapatkan sudut perbagian dengan cara $360^{\circ} / 179 = 2,011173$.

⁶⁰ Kalikan 51 dengan $2,011173 = 102,5698324$.

⁶¹ Angka 128 ini adalah yang tepat pada aturan bisa dibagi setengah dan menjadi 1.

128	:	2	=	64
64	:	2	=	32
32	:	2	=	16
16	:	2	=	8
8	:	2	=	4
4	:	2	=	2
2	:	2	=	1

Setelah lingkaran terpotong sebesar $102^0 34' 11.4''$ (untuk 51 bagian). Maka sisa sudut lingkaran sebesar $257^0 35' 49''$. Nilai ini kalau dibagi dengan 128 bagian akan menghasilkan sudut sebesar 2,012476128 (2 derajat 0 menit 44 detik). Sehingga secara sempurna ada 360 derajat ($102^0 34' 11'' + 257^0 35' 49''$) dan 179 bagian (51 bagian + 128 bagian). Cara kedua untuk membagi bagian di patinum ini adalah dengan membagikan 360 dengan 179 yang hasilnya adalah 2,011173184 (2 derajat 0 menit 40,22 detik).⁶²

3. Epoch

Piringan teratas adalah area yang memuat tabel Epoch dan dua set lingkaran berlubang. Set pertama terletak di tepia terluar memuat 13 lingkaran kecil melingkar yang menggambarkan *new moon*⁶³ dan

⁶² Nicolas Bion, *The Traite*,... h.237.

⁶³ *Ijtima'* yang artinya “ kumpul “ atau *iqtirān* artinya “ bersama “, yaitu suatu keadaan alam yang menggambarkan posisi Matahari dan bulan berada pada satu bujur astronomi. Dalam astronomi dikenal dengan istilah *conjunction* (konjungsi). Para ahli astronomi/falak menggunakan *ijtima'* ini sebagai tanda bergantinya bulan qamariyah, sehingga ia disebut pula dengan *new moon*. Baca Muhyiddin Khazin, *Kamus Ilmu Falak*, Yogyakarta : Buana Pustaka, 2005, h. 32.

bagian paling dalam sejumlah 12 sebagai *full moon*⁶⁴. Lubang ini berfungsi agar kita bisa mengetahui tanda terjadinya gerhana Matahari atau Bulan melalui lingkaran yang dilubangi tersebut. Di piringan atas ini juga dicantumkan data *epoch*⁶⁵ yang dijadikan rujukan untuk perhitungan tahun berapa gerhana akan diprediksi.⁶⁶

179	45	90	135	1	46	91	136
2	47	92	137	3	48	93	138
4	49	94	139	5	50	95	140
6	51	96	141	7	52	97	142
8	53	98	143	9	54	99	144
10	55	100	145	11	56	101	146
12	57	102	147	13	58	103	148
14	59	104	149	15	60	105	150
16	61	106	151	17	62	107	152
18	63	108	153	19	64	109	154
20	65	110	155	21	66	111	156
22	67	112	157	23	68	113	158
24	69	114	159	25	70	115	160
26	71	116	161	27	72	117	162
28	73	118	163	29	74	119	164
30	75	120	165	31	76	121	166

⁶⁴ Suatu fenomena saat Matahari dan bulan sedang berhadap-hadapan, sehingga antara keduanya mempunyai selisih bujur astronomi sebesar 180⁰. Pada saat ini bulan berada pada phase purnama atau yang disebut dengan *Full Moon (Istiqbal)*. Muhyiddin Khazin, *Kamus, ...* h. 38.

⁶⁵ *Epoch* adalah pangkal tolak untuk menghitung. Secara bahasa Arab disebut *Mabda at-Tarikh*, dalam penggunaannya lebih populer dengan *Mabda'*, sedangkan dalam bahasa Inggris disebut *Principle of Motion*. Susiknan Azhari, *Ensiklopedi Hisab Rukyat*, Yogyakarta : Pustaka Pelajar, 2012, h. 62.

⁶⁶ Lars Gislén dan Chris Eade, *Philippe, ...* h. 47.

32	77	122	167	33	78	123	168
34	79	124	169	35	80	125	170
36	81	126	171	37	82	127	172
38	83	128	173	39	84	129	174
40	85	130	175	41	86	131	176
42	87	132	177	43	88	133	178
44	89	134	179				

Tabel 1 : Barisan angka-angka divisi instrumen *Volvelle*⁶⁷

EPOCHÆ ANNORUM LUNARIUM,
*Juxta Tempus Usuale, quod currentium dierum media nocte,
 ut vulgo numeratur, incipit sub Meridiano Parisiensi.*

Anni Lun.	Usuales.	Dist.	H.	M.	Anni Lun.	Usuales.	Dist.	H.	M.		
179.	1680. B.	Febr.	19	14	14	51.	1729.	August.	14	7	44
1.	1681.	Febr.	17	13	13	52.	1730.	August.	15	16	32
2.	1682.	Febr.	7	8	1	53.	1731.	August.	3	1	21
10.	1689.	Novem.	11	6	10	54.	1732.	B. Jul.	12	10	9
19.	1699.	Julij.	16	22	37	55.	1735.	Jul.	11	18	58
20.	1700.	Julij.	16	7	26	56.	1734.	Jul.	1	3	46
21.	1701.	Julij.	5	16	14	57.	1735.	Jun.	10	12	35
22.	1702.	Junij.	25	1	3	58.	1736.	B. Jun.	8	21	23
23.	1703.	Junij.	14	9	34	59.	1737.	Majj.	29	6	12
24.	1704.	B. Junij.	1	18	42	60.	1738.	Majj.	18	15	1
25.	1705.	Majj.	21	3	19	61.	1739.	Majj.	7	15	49
26.	1706.	Majj.	11	12	17	62.	1740.	B. April.	16	8	38

Gambar 12 : Tabel Epoch yang sebagian ada di instrument *Volvelle* dan secara penuh ada dalam bukunya.⁶⁸

Jarak antara bundaran berlubang adalah sesuai dengan jarak rata-rata new moon ke new moon, yaitu 29 hari 12 jam 44 menit.⁶⁹

⁶⁷ Secara detail Philippe maupun Bion tidak mengurutkan angka-angka yang ada di divisinya, hingga akhirnya penulis melakukannya. Meski secara rumus sudah bisa dibaca tapi langkah ini penulis lakukan agar lebih memudahkan. Cara membaca urutan angka divisi di atas adalah dimulai dari kiri ke kanan dan turun ke baris dua dengan cara yang sama. sehingga akan dimulai pada 179 dan berakhir di angka 179.

⁶⁸ Philippe De La Hire, *Tabulae Astronomicae Ludovici Magni Iussu Et Munificentia Exaratae Et In Lucem Editae*, Paris : ETH-Bibliothek Zurich, 1727, h.91.

Sedangkan diameter pada bundaran berlubang baik untuk new moon atau full moon adalah sama besar, yaitu sebesar 4 derajat.⁷⁰ Sebagai pembeda mana bundaran untuk new moon dan bundaran untuk full moon, Philippe menempatkan symbol Matahari dan Bulan pada instrumennya.⁷¹

Tabel epoch yang disusun Philippe ini untuk meridian Paris, tapi dapat dirubah dengan mudah untuk meridian lainnya. Jika tempat itu lebih oriental dari Paris.⁷² Philippe juga menambahkan waktu perbedaan meridian dan sebaliknya jika digunakan untuk tempat-tempat di barat. Penempatan tabel epoch di tengah instrumen sangat tepat karena mudah untuk dilihat.⁷³

Dengan begitu, permulaan semua tahun lunar bisa diketahui tanpa bantuan tabel. Namun, keadaan ini jika lama akan membuat kesalahan bertambah. Sehingga adanya tabel berfungsi untuk memperbaiki penggunaan volvelle ini. Perlu diingat bahwa perhitungan tabel epoch dibuat untuk bentuk rata-rata bulan baru yang menganggap gerakan

⁶⁹ Atau 29,530589 hari. Lebih detailnya adalah 29 hari 12 jam 44 menit 3 detik. Baca Jean Meeus, *Astronomical Algorithms*, Virginia: Willman Bell, Inc., 1991, h. 324.

⁷⁰ Nicolas Bion, *The Traite*,... h.234.

⁷¹ Lars Gislén dan Chris Eade, *Philippe*,...h. 47.

⁷² Table Epochs, yang ditempatkan untuk Meridian Paris dapat dengan mudah direduksi menjadi Meridian lainnya; jika untuk tempat-tempat di timur Paris, maka waktu perbedaan Meridian ditambahkan, dan untuk tempat-tempat di barat, waktu perbedaan Meridian dikurangi. M. Bion, *The Construction and Principal Uses of Mathematical Instruments*, Edmund Stone, Terj. London : H.W, M.Dcc.Xxiil, h.169.

⁷³ Nicolas Bion, *The Traite*,... h.235.

matahari dan bulan selalu sama. Inilah sebabnya ada perbedaan waktu munculnya waktu bulan baru dan purnama dan gerhana sebagaimana yang ada di ephemeris.

Gerakan yang dilakukan oleh matahari dan bulan serta planet-planet terkadang kita melihatnya lebih cepat dan lambat. Fakta ini adalah sebagian besar dari bentuk orbit yang tidak bulat (konsentris) dengan bumi. Kemudian karena busur ekliptik yang sama dan miring ke ekuator tidak selalu melewati meridian dengan bagian yang sama dari ekuator. Para astronom membutuhkan keadaan yang bisa memudahkan perhitungannya, sehingga mereka membayangkan gerakan yang disebut rata-rata atau setara.⁷⁴

Selain mencantumkan pada instrumennya. Tabel Epoch juga dimuat pada halaman 91 dalam bukunya *Tabulae Astronomicae*. Huruf B di sejumlah tahun. Itu adalah singkatan dari “*bissextile*.”⁷⁵ Perlu diketahui bahwa tanggal dari tahun 1806 dan yang lebih baru harus satu hari kemudian karena pada tahun 1800 Philippe De La Hire tidak menganggapnya tahun kabisat.⁷⁶ Terakhir ada 12 ruang untuk 12 bulan. Akhir bulan ke-12 adalah awal dari tahun lunar kedua (berikutnya) dan itu melampaui batas bulan baru pertama 4 dari 179 divisi.⁷⁷

⁷⁴ Nicolas Bion, *The Traite*,... h.234.

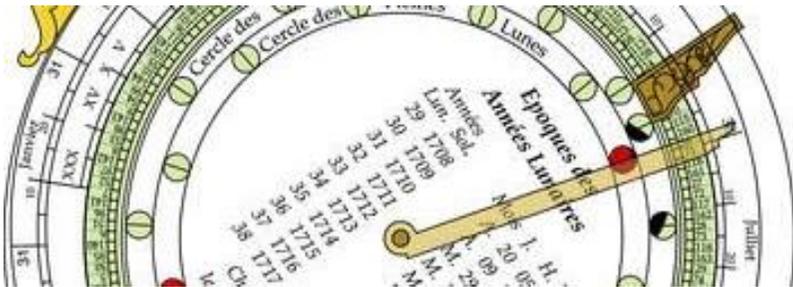
⁷⁵ Adalah tahun kabisat, yaitu 366 hari.

⁷⁶ Lars Gislén dan Chris Eade, *Philippe*,...h. 48.

⁷⁷ Nicolas Bion, *The Traite*,... h.234.

4. Penggaris

*Alidade*⁷⁸ (penggaris) yang memanjang dari pusat platinum ke tepi terbesar, mampu membawa kembali dari tiap divisi ke divisi yang lain. Instrumen ini jika digambarkan seperti jam, maka sempurna karena bisa mencapai ke semua bagian instrumen.⁷⁹ Kemudian penggaris tunggal yang berfungsi sebagai alat transfer dari data lunasi gerhana ke bagian kalender.⁸⁰



Gambar 13 : Penggaris Volvelle untuk menjangkau angka divisi dan kalender.

5. EPACT

Dalam instrument *Volvelle*, kita akan mendapati area yang mendahului bulan Maret. Itulah yang dinamakan *Epact*. Dalam kalender Gereja, *Epact* adalah usia bulan pada tanggal tertentu, dihitung dengan perhitungan siklus. Dalam kalender Julian, ini jatuh tanggal 22 Maret dan menurut kalender Gregorian jatuh pada 1

⁷⁸ Dalam beberapa instrument, adanya *alidade* atau penggaris mutlak digunakan. Contoh instrument astrolabe

⁷⁹ Nicolas Bion, *The Traite*,... h.236.

⁸⁰ Lars Gislen dan Chris Eade, *Philippe*,...h. 47.

Januari. Philippe De la Hire menggunakan rata-rata perhitungan astronomi dan untuk instrumen, usia Bulan jatuh pada 1 Maret.⁸¹

Jarak antara 1 Januari dan 1 Maret adalah 59 atau 60 hari, ini sangat dekat dengan dua bulan lunar 29,5 hari. Epact Philippe de la Hire pada tanggal 1 Maret sangat dekat dengan Epact 1 Januari dan juga hampir sama dengan Epact kalender Gregorian.

Philippe De la Hire memiliki tabel untuk menghitung epactnya setiap tanggal, akan tetapi sulit digunakan. Di samping dia menggunakan waktu yang telah kadaluarsa. Meskipun demikian, ketika kita ingin menemukan epact dalam instrumennya. Kita harus mensetting ke tahun lunar sebelumnya. Pindah ke tahun gerhana berikutnya, kemudian baca epact yang jatuh pada new moon yang ada di area epact.

Misalnya apa yang dimaksud epact pada 1 Maret 1703? Langkahnya kita setting instrument untuk tahun lunar 1702, yaitu pada angka 23 di piringan tengah dan posisikan awalnya pada 25 Juni. Kemudian gerakan dua piringan teratas mundur sebanyak 18 hari karena bukan kabisat, sehingga star tab new moon ada di tanggal 7 Juni. Bacalah epact yang segaris dengan new moon yang ada di area epact dan kita akan mendapatkannya pada nilai 11. Sebagai perbandingan epact dalam kalender Gregorian jatuh pada 12⁸²

⁸¹ *Epact* difungsikan untuk menyelaraskan bulan dengan kalender Matahari/Masehi. Feza Gunergun, *Science*,...h.120.

⁸² Lars Gislén dan Chris Eade, *Philippe*,...h. 49.

6. Penggunaan Instrumen

- ❖ Setting tab piringan atas ke angka tahun lunar pada piringan tengah.
- ❖ Pindahkan dua piringan atas bersamaan sampai tab (penggaris tepi) menunjuk ke tanggal permulaan sesuai dengan tabel
- ❖ Jika data tahun lunar jatuh pada bulan November, Desember, Januari atau Februari, maka kita kemungkinan harus memindah dua piringan atas mundur (berlawanan arah jam) ke 18/19 hari untuk bisa melihat gerhana mulai dari 1 Maret.
- ❖ Jika kita ingin mengetahui gerhana sebelum tanggal mula pada suatu tahun bulan, maka kita setting disk ke angka tahun lunar sebelumnya

Contoh :

- ❖ Tahun 1703 M. Tahun lunar adalah 24 yang bersesuaian dengan 14 Juni. Setting disk sesuai panduan nomor 1 dan 2. Hasilnya adalah adanya gerhana Matahari sebagian pada 14 Juli, 8 Desember, gerhana Bulan total pada 29 Juni dan 23 Desember.
- ❖ Tahun 1680 M. Bersesuaian dengan tahun lunar 179 pada tanggal 29 Februari. Untuk melihat kemungkinan gerhana setelah 29 Februari, kita harus memindah ke tahun berikutnya dengan memindahkan dua disk teratas kembali 19 hari⁸³ hingga tab menunjuk pada awal Maret / 10 Februari. Maka kita bisa mendapatkan bahwa ada gerhana Matahari total pada 30 Maret dan 22 September.

⁸³ karena tahun 1680 adalah kabisat jadi dikurangi 19 hari.

- ❖ Tahun 1681 M. Bersesuaian dengan tahun bulan 1 pada 18 Februari. Kita harus setting disk agar mundur 18 hari sehingga tepat pada 30 Januari. Kita bisa melihat instrumen bahwa akan ada gerhana Matahari sebagian pada 20 Maret dan 12 September. Gerhana Bulan parsial pada 4 Maret dan 29 Agustus.⁸⁴

Bion turut menjelaskan bagaimana penggunaan instrument ini untuk mengetahui adanya gerhana. Salah satu yang diusulkana sebagai contoh adalah tahun lunar ke-24. Hentikan garis / benang ke arah divisi 24 di platinum tengah. Dilihat dari tabel maka jatuh pada tanggal 14 Juni tahun 1703 jam 9 52 menit. Kumpulkan dua platinum teratas hingga garis / benang hingga terikat dengan platinum atas sesuai dengan jam ke-10 (lebih dari 14 Juni). Dilihat dari platinum bawah maka terlihatlah bulan baru tahun lunar.

Tanpa merubah ketiga platinum, arahkan penggaris dari tengah ke tepi platinum bagian bawah (kalender) mengarah ke tengah lingkaran berwarna merah. Diketahui bahwa ada bulan purnama pada tanggal 29 Juni jam 4.15. Bulan baru berikutnya jatuh pada tanggal 14 Juli jam 3 pagi dan ternyata ada gerhana Matahari sebagian.

Kemudian kita juga melihat ada gerhana pada bulan Desember tahun yang sama 1703 dan mau menuju awal tahun berikutnya. Tetapi ketika bulan baru ke sepuluh, ternyata tahun yang yang dihitung melewati tanggal 28 bulan Februari sudah melewati 1703, sehingga

⁸⁴ Lars Gislén dan Chris Eade, *Philippe, ...*h. 48.

dua platinum atas harus diatur kembali ke tanggal 1 Maret. Akhirnya kita bisa mengetahui kondisi bulan-bulan sisa dari tahun 1703.⁸⁵

Karena bulan baru ketiga belas adalah yang pertama dari tahun bulan berikutnya yang sesuai dengan divisi 25. Maka kita akan meninggalkan dua platinum sebelumnya dan mengarah ke angka 25. Dengan begitu, permulaan semua tahun lunar bisa diketahui tanpa bantuan tabel. Namun, keadaan ini jika lama akan membuat kesalahan bertambah. Sehingga adanya tabel berfungsi untuk memperbaiki penggunaan *Volvelle* ini.⁸⁶

C. Algoritma Prediksi Gerhana Matahari dan Bulan

Secara teori, Instrumen *Volvelle* menggunakan jumlah rata-rata gerakan Matahari dan Bulan, dengan demikian tanggal gerhana yang ditunjukkan dapat menyimpang satu hari dari yang benar. Waktu bersifat sipil, yaitu diperhitungkan dari tengah malam hingga tengah malam, dan berdasarkan meridian Paris.⁸⁷

Parameter Dasar

Tahun Gregorian : GY = 365,2425 Hari

Bulan Sinode : SM = 29,53059 Hari

⁸⁵ Tahun 1703 adalah tahun pendek, sehingga kita jumpai bahwa dari awal divisi 24 bertepatan dengan 14 Juni artinya ada 3 bulan yang melewati Februari. Permasalahan ini mengarahkan kita untuk memutar dua piringan atas (piringan epoch dan divisi) agar lubang pertama lurus dengan tanggal 31 April -18 hari = 13 April. Lars Gislén, *Philippe*, ...h.48.

⁸⁶ Philippe De La Hire, *Tabulae Astronomicae Ludovici Magni Iussu Et Munificentia Exaratae Et In Lucem Editae*, Paris : ETH-Bibliothek Zurich, 1727, h.93.

⁸⁷ Lars Gislén dan Chris Eade, *Philippe*, ...h. 47.

Bulan Drakonik⁸⁸ : DM = 27,21222 Hari

Tahun Bulan :LY = 12 x SM = 354, 354.36700 Hari

Tahun Gerhana⁸⁹ : EY = (SM.DM) / (SM - DM) =
346.61979 Hari

Philippe De La Hire menggunakan nilai-nilai untuk beberapa di antara parameter yang sedikit berbeda dari nilai-nilai modern, namun hal ini tidak akan serius mempengaruhi argumen yang disajikan di bawah ini. Perbedaan antara tahun lunar dan tahun gerhana:

$$LY - EY = 354.36700 - 346.61979 = 7.74721 \text{ hari}^{90}$$

Dengan parameter dasar ini, Bion menjelaskan algoritma prediksi gerhana yang ada dalam instrument Philippe de La Hire. dia menggunakan beberapa angka yang jika kita amati model-model perhitungan sekarang, sudah jarang yang menerapkannya. Adapun bagaimana cara kita memperoleh data adanya gerhana, baik gerhana Bulan maupun gerhana Matahari adalah sebagai berikut :

Bulan Baru / New Moon

- Jumlahkan lunasi dari lunasi acuan 8 Januari 1701⁹¹ ke tahun yang dihitung. Kalikan dengan 7361.
- Tambahkan hasil poin satu dengan 33890 dan bagi jumlahnya dengan 43200
- Setelah pembagian (tanpa memperhatikan hasil bagi), periksa sisanya atau perbedaan antara pembagi dan sisanya.

⁸⁸ Periode bulan yang diawali dari titik ascending ke ascending berikutnya.

⁸⁹ Periode kembalinya Matahari ke simpul bulan (Node).

⁹⁰ Lars Gislén dan Chris Eade, *Philippe, ...* h. 47.

⁹¹ Menurut kalender Gregorian.

- Jika satu atau yang lain kurang dari 4060, maka akan ada gerhana Matahari

Bulan Purnama / Full Moon

- Jumlahkan lunasi dari lunasi acuan 8 Januari 1701 ke tahun yang dihitung. Kalikan dengan 7361
- Tambahkan hasil point satu dengan 37326 dan bagi jumlahnya dengan 43200
- Jika sisanya atau perbedaan antara sisa dan pembagi kurang dari 2800, maka ada gerhana Bulan

Contoh : New Moon pada 22 Mei 1705 adalah di *Ekliptika*. Sejak 8 Januari 1701 sampai 22 Mei 1705, ada 54 lunasi. Dengan mengikuti panduan di atas kita hitung sebagai berikut :

Jumlah lunasi ada 54.

$$54 \times 7361 + 33890 = 431384$$

$$431384 / 43200 = 9,985740741 \text{ (sisa adalah 42584)}$$

Perbedaan antara sisa “42584” dan pembagi “43200” adalah 616 yang kurang dari 4060. Oleh karenanya, New Moon pada 22 Mei 1705 ada gerhana Matahari. Setelah saya cek memang ada gerhana dengan nilai F sebesar 357,38463.

Contoh : Full Moon pada 27 April 1706, maka diketahui ada 65 lunasi sejak tanggal 8 Januari 1701 sampai bulan purnama yang dicari. Dengan mengikuti panduan di atas kita hitung sebagai berikut :

Jumlah lunasi ada 65.

$$65 \times 7361 + 33890 = 515791$$

$$515791 / 43200 = 11,93961 \text{ (sisa adalah 40591)}$$

Perbedaan antara sisa “40591” dan pembagi “43200” adalah 2609 yang kurang dari 2800. Oleh karenanya, Full Moon pada 27 April 1706

ada gerhana Bulan. Setelah saya cek memang ada gerhana dengan nilai F sebesar 334,76025.

Penulis telah membagi dan mengukir papan dengan ukuran yang baik, untuk memasang instrumen dalam karton. Philippe juga memiliki buku kecil yang dicetak secara terpisah untuk menjelaskan tata cara penggunaannya.⁹²

Batas Gerhana

Philippe menggunakan batas gerhana sebesar $\pm 16^0$ di sekitar node untuk gerhana matahari dan sebesar $\pm 11^0$ untuk gerhana bulan. Batas-batas tersebut sesuai dengan baik dan bisa diterima oleh modern.⁹³

⁹² Nicolas Bion, *The Traite*,... h. 239.

⁹³ Lars Gislén dan Chris Eade, *Philippe*,...h. 47.

BAB IV

INOVASI *VOLVELLE* PHILIPPE DE LA HIRE DALAM PENENTUAN WAKTU GERHANA

A. Rekonstruksi Instrumen *Volvelle* Philippe de La Hire

1. Transformasi Algoritma dan Tabel Epoch

Epoch adalah patokan waktu yang dijadikan untuk menghitung.¹ Pada prinsipnya Philippe menggunakan tabel epoch ini untuk membantu orang dalam mempraktekan instrumennya. Di samping agar nilai perbedaan yang dihasilkan jika tanpa menggunakan epoch bisa diminimalisir.² Ia sendiri menyatakan bahwa perhitungan tabel epoch dibuat untuk bentuk rata-rata bulan baru yang menganggap gerakan Matahari dan Bulan selalu sama. Inilah sebabnya ada perbedaan waktu munculnya waktu new moon dan full moon serta gerhana sebagaimana di data-data ephemeris.³

Penulis mencoba mentransformasi epoch Philippe dengan model Jean Meeus. Perlu diingat bahwa epoch yang digunakan Jean Meeus adalah tahun 2000 yang diawali dengan $k = 0$. Maka dengan **persamaan [1 dan 2]**⁴ diketahui bahwa 29 Februari 1680 jam 14 menit

¹ *Epoch* adalah pangkal tolok untuk menghitung. Secara bahasa Arab disebut *Mabda at-Tarikh*, dalam penggunaannya lebih populer dengan *Mabda'*, sedangkan dalam bahasa Inggris disebut *Principle of Motion*. Susiknan Azhari, *Ensiklopedi Hisab Rukyat*, Yogyakarta : Pustaka Pelajar, 2012, h. 62.

² M. Bion, *The Construction and Principal Uses of Mathematical Instruments*, Edmund Stone, Terj. London : H.W, M.Dcc.Xxiil, h.169.

³ M. Bion, *The Construction*, ...h.170.

⁴ Persamaan mencari nilai perkiraan tahun untuk mendapatkan nilai k.
BAB II.

24 mempunyai nilai k (-3956), 17 Februari 1681 jam 23 menit 23 mempunyai nilai k (-3944) dan akhir epoch 2 Oktober 1854 bertepatan pada lunasi ke -1796. Maka kita akan mendapatkan pemahaman bahwa dari lunasi ke-3956 sampai lunasi ke-1796 memiliki jarak lunasi 2160 yang jika dibagi 12 lunasi akan menghasilkan angka 180 tahun. Itu sebabnya Philippe menggunakan 179 sebagai awal epoch dan akhir epoch dalam konsep divisinya.

Disini ada loncata 12 lunasi yang jika kita selisihkan antara tahun epoch pertama dengan berikutnya itu mempunyai 354 hari 8/9 jam.

Tahun 1680, 29 Februari 14 jam 24 menit	29,6	hari
Tahun 1681, 17 Februari 23 jam 13 menit	17,96736111	hari

366 - (29,6+31)	= 305,4	hari
17,96736111+ 31	= 48,96736	hari
305, 4 + 48,96736	= 354,3673611	hari / 354 hari 8 jam 48 menit

Tahun 1700, 16 Juli 7 jam 26 menit	16,30972	hari
Tahun 1701, 5 Juli 16 jam 14 menit	5,676389	hari

365 - (16,30972+181)	= 167,6902778	hari
5,676389+ 181	= 186,6764	hari
305, 4 + 48,96736	= 354,3666667	hari / 354 hari 8 jam 48 menit

Dari hasil ini kita bisa mengatakan bahwa Philippe mengabaikan sekitar 12 menit dari pegangan waktu yang dia gunakan yakni 354 hari 9 jam.⁵ Meski demikian, instrumen Philippe memiliki kelebihan di dalam kecepatan dan kemudahan.

Berdasarkan hal di atas, maka periode instrumen Philippe sudah habis sekitar 146 tahun yang lalu dan penulis tetap mengikuti konsep

⁵ Philippe menyebutkan redaksi 9 jam atau kurang sedikit. Tapi yang dipakai adalah 9 jamnya.

Philippe dengan menggunakan konsep rata-rata. Hanya saja penulis juga mencantumkan algoritma Jean Meeus yang dijadikan dasar menentukan awal epoch untuk tahun 2000 dan tahun kelipatan 4.

Jean Meeus melalui **persamaan [18]** telah membuat deksripsi algoritma untuk menghitung *New Moon* suatu tanggal dan dengan algoritma tersebut, maka penulis membuat periode baru selama 200 tahun, yakni 1900-2100⁶. Periode ini dijadikan penulis dengan konsep penggunaan 1 tahun untuk periode 4 tahun / 1 siklus masehi.⁷

Deskripsi Model Epoch Baru

Penulis menjadikan J2000 sebagai epoch baru yang akan digunakan dalam instrumen *Volvelle* pengembangan. Periode ini dimulai dari 1900-2100 yang dikonsep berbentuk sayap dengan beberapa komponen. Sebagaimana Philippe, tabel epoch ini akan dipasang pada piringan atas yang juga memuat lubang untuk tanda *New Moon* dan *Full Moon*. Ada 7 komponen yang ada di dalam tabel tersebut di antaranya : tahun, k (lunasi), nilai F, nilai M', nilai M, nilai 2M', tanggal jam dan menit, kode hari dan pasaran (HP).

Pertama adalah data tahun yang penulis ambil per empat tahun sekali dan dimulai pada tahun pendek⁸ pertama yaitu 1901.⁹ Kedua, nilai k atau lunasi digunakan sebagai kode untuk mengetahui nilai F

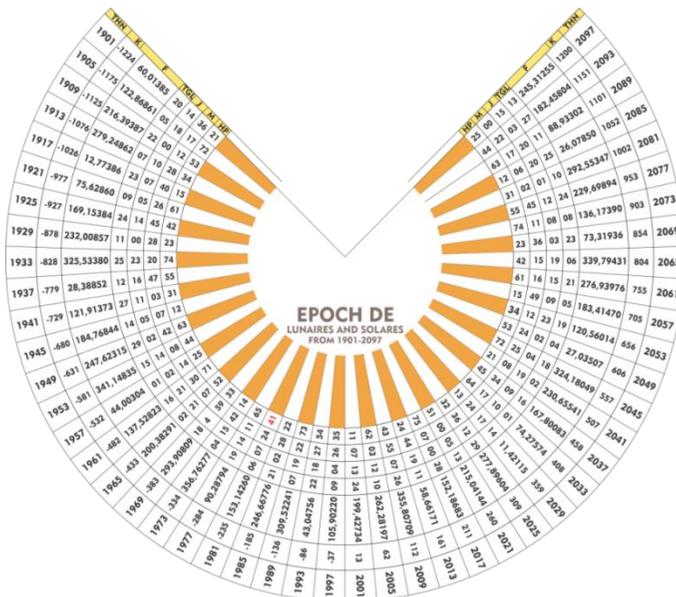
⁶ Pemilihan periode ini dimaksudkan untuk meminimalisir selisih nilai F aritmatika dengan konsep F asli Jean Meeus. Karena dari durasi ini selisih F di lunasi 1200 (tahun 2100) hanya 6,3 detik busur dan di lunasi -1200 (1900) hanya 17,3 detik busur.

⁷ Siklus tahun Masehi adalah 4 tahun.

⁸ Tahun pendek (basitah) adalah tahun yang mempunyai 365 hari.

⁹ 1901 digunakan sampai tahun 1904.

dan bulan hijriyah. Ketiga, nilai F adalah nilai lunasi yang menjadi informasi awal ada tidaknya gerhana Matahari atau gerhana Bulan. Keempat, nilai M yaitu anomaly Matahari yang difungsikan untuk koreksi. Kelima dan keenam, nilai M' dan 2M' yaitu anomaly Bulan yang difungsikan untuk koreksi. Ketujuh, tanggal jam dan menit digunakan sebagai korelasi antara nilai F dan kalender yang menjadi star memprediksi adanya gerhana di suatu tahun. Kedelapan adalah kode hari dan pasaran yang bisa digunakan sebagai penanggalan. Dimulai dari tanggal 1 Januari 2001 dengan hari Senin dan pasaran Pahing.¹⁰ Sebagaimana keterangan Philippe, tabel ini juga bisa diperpanjang dengan konsep menghitung 5 komponen di tiap 4 tahun sekali.



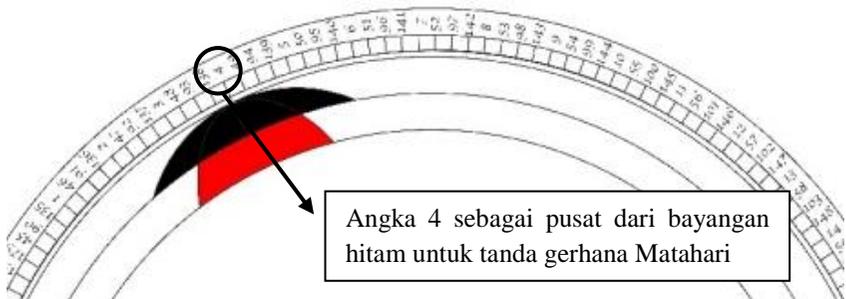
Gambar 14 : Design tabel epoch dalam instrumen *Volvelle* pengembangan

¹⁰ Dihitung dengan konversi tanggal Masehi dan Hijriyah.

2. Transformasi Divisi ke Argument of Moon Latitude (Piringan F)

Kita mengetahui bahwa gerhana secara keseluruhan terjadi sebanyak 7 kali dan minimal 4 kali.¹¹ Jumlah ini dipengaruhi oleh batas gerhana yang diterapkan. Sebagai contoh adalah batas yang digunakan oleh Philippe de La Hire adalah ± 16 untuk gerhana Matahari dan ± 11 untuk gerhana Bulan.¹²

Di bagian gerhana global ini, penulis menyatakan bahwa konsep yang digunakan Philippe tidak terlalu efektif apabila untuk memprediksi gerhana yang akan datang. Hal ini karena dia meletakkan gerhana yang terjadi pada 17 Januari 1684 jam 1.38 untuk ditempatkan pada angka 4 di divisinya.



Gambar 15 : Pemodelan titik pusat bayangan untuk tanda gerhana

Penempatan angka 4 sebagai titik pusat bayangan hitam adalah tidak tanpa alasan karena perhitungan modern seperti Fred Espenak

¹¹ Thomas Arny and Stephen Ewing, *Explorations : An Introduction to Astronomy*, New York : McGraw-Hill, 2014, h.34

¹² Lars Gislén dan Chris Eade, Philippe De La Hire's Eighteenth Century Eclipse Predictor, *Journal of Astronomical History and Heritage*, (2016), h. 47.

dalam websitenya pun memberikan data bahwa *new moon* saat itu sebenarnya sangat dekat dengan *ascending node*¹³ yang akibatnya ada gerhana Matahari cincin pada jam 17.18.52 UT, Magnitudenya 0.9597 dengan durasi cincin 4 menit 43 detik.¹⁴ Akan tetapi gerhana tersebut tidak terlihat di Paris karena Matahari masih di bawah horizon.¹⁵

Hemat penulis, model seperti itu akan mengalami dua kendala. Pertama ketika periode penggunaan instrumen habis, maka akan susah untuk diterapkan periode berikutnya. Kedua, dari segi ruang, maka angka 4 itu hanya memakan ruang yang sedikit. Oleh sebab itu, penulis mencoba mengembangkan model data global gerhana dengan memanfaatkan *argument of moon's latitude (F)* yang digunakan sebagai informasi awal ada tidaknya gerhana Matahari dan Bulan yang digunakan oleh Jean Meeus dengan pendekatan persamaan aritmatika.¹⁶

Jean Meeus sudah memberi kunci bahwa nilai *F* di setiap lunasi akan bertambah secara konstan sebesar 30,67050. Ini artinya ada pola yang terbentuk jika dibariskan setiap tahun (12 lunasi/13 lunasi). Hal

¹³ Titik naik Bulan. Lars Gislén menyebut bahwa gerhana saat itu di dekat *ascending node*. Keterangan ini akan berbeda jika menerapkan algoritma Jean Meeus karena *new moon* tersebut mempunyai nilai *F* dengan 180,36978, yang artinya gerhana terjadi di dekat titik turun bulan (*descending node*). Jean Meeus, *Astronomical Algorithms*, Virginia: Willman Bell. Inc., 1991, h. 350.

¹⁴ <http://eclipsewise.com/solar/SEprime/1601-1700/SE1684Jan16Aprime.html> diakses pada 30 Juni 2019 jam 20.40 WIB.

¹⁵ Lars Gislén dan Chris Eade, "Philippe, ...h. 48.

¹⁶ Jean Meeus, *Astronomical, ...* h. 350.

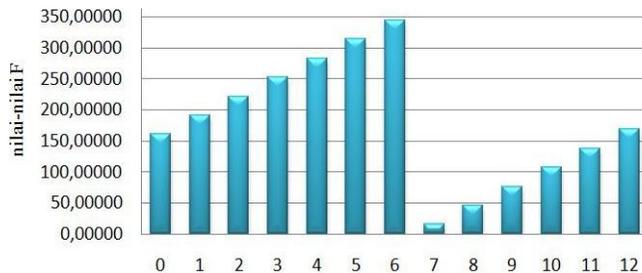
ini sebagaimana data dan pola yang dihasilkan dalam satu tahun melalui persamaan (7) di bab II, sebagai berikut :

Nilai Argumen Lintang Bulan (F)¹⁷

Nilai k	Hasil F
0	160,71080
1	191,38130
2	222,05181
3	252,72231
4	283,39281
5	314,06331
6	344,73382
7	15,40432
8	46,07482
9	76,74532
10	107,41583
11	138,08633
12	168,75683

Tabel 2 : Data F selama 13 *New Moon*.¹⁸

Pola Nilai Argumen Lintang Bulan (F)



Gambar 16 : Pola / Grafik Nilai F dalam 13 *New Moon*.

¹⁷ Hasil data-data yang ada di dalam tabel merupakan hasil yang didapatkan dari rumus asal melalui program excel yang dibuat oleh Rinto Anugraha.

¹⁸ Penulis mengambil jumlah 13 *new moon* dikarenakan dalam satu tahun kalender Masehi bisa terjadi *ijtima'* sebanyak 13 kali.

Dari hasil data dan pola di atas, pertama kita bisa membuktikan keteraturan angka yang ditampilkan oleh nilai argument lintang bulan di setiap lunasi. Sebagaimana contoh pengurangan nilai $F 191,38130 - 160,71080 = 30,67050$, kemudian $314,0633 - 283,3928 = 30,67050$, dan seterusnya. Maka, pembuktian statemen Jean Meus bisa kita pahami yakni di setiap satu lunasi F akan bertambah sebesar $30^{\circ}.6705$.¹⁹ Kedua kita bisa meyakinkan kembali bahwa angka-angka argument lintang bulan memiliki keteraturan melalui gambar pola yang ditampilkan. Pola naik di setiap *new moon* tampak jelas terkecuali untuk *new moon* ke-7 yang memberikan pola turun dari sebelumnya. Kasus ini bukanlah suatu permasalahan karena nilai F disini harus mengikuti aturan 360 derajat, sehingga nilai yang melampaui harus dikurangi 360 derajat.²⁰

Untuk mengetahui nilai F mana yang memenuhi batas gerhana, maka harus diselisihkan antara nilai argument lintang bulan di atas dengan 180 atau kelipatannya. Data selisih yang dihasilkan melalui perhitungan adalah :

¹⁹ Jean Meeus, *Astronomical*,... h. 350.

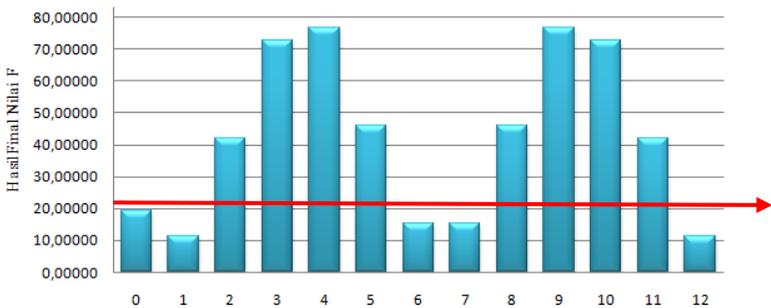
²⁰ Dalam ilmu hisab, satuan ukur yang dipakai untuk menyatakan besarnya sudut adalah derajat dengan symbol ($^{\circ}$), menit dengan symbol ($'$), dan detik dengan symbol ($''$). Pada lingkaran ukuran sudut satu derajat (1°) merupakan besar sudut yang diliputi oleh busur lingkaran sebesar $1/360$ kali keliling lingkaran. Sedangkan satu menit busur ($1'$) didefinisikan $1/60$ derajat dan satu detik busur didefinisikan $1/3600$ derajat atau $1/60$ menit busur. Sehingga karena nilai yang melebihi 360 derajat akan dikurangi dengan besar busur satu lingkaran tersebut. Hal ini sebagai cara untuk memudahkan dalam perhitungan. Baca Slamet Hambali, *Ilmu Falak 1 : Penentuan Awal Waktu Shalat & Arah Kiblat Seluruh Dunia*, Semarang : Program Pascasarjana IAIN Walisongo, 2011, h. 7-8.

Selisih Nilai Argumen Lintang Bulan (F) dengan 180^0 .

New Moon	Nilai k	Selisih F			Minimal
		Hasil Awal F	Absolut F-180	360-F	
Ke 1	0	160,71080	19,28920	199,28920	19,28920
Ke 2	1	191,38130	11,38130	168,61870	11,38130
Ke 3	2	222,05181	42,05181	137,94819	42,05181
Ke 4	3	252,72231	72,72231	107,27769	72,72231
Ke 5	4	283,39281	103,39281	76,60719	76,60719
Ke 6	5	314,06331	134,06331	45,93669	45,93669
Ke 7	6	344,73382	164,73382	15,26618	15,26618
Ke 8	7	15,40432	164,59568	344,59568	15,40432
Ke 9	8	46,07482	133,92518	313,92518	46,07482
Ke 10	9	76,74532	103,25468	283,25468	76,74532
Ke 11	10	107,41583	72,58417	252,58417	72,58417
Ke 12	11	138,08633	41,91367	221,91367	41,91367
Ke 13	12	168,75683	19,28920	199,28920	11,24317

Tabel 3 : Hasil F setelah mengalami pengurangan dengan 180 dan kelipatannya.²¹

Pola Akhir Nilai Argumen Lintang Bulan (F)



Gambar 17 : Pola di bawah panah merah artinya ada peluang gerhana, dan sebaliknya tidak ada gerhana jika di atas panah.

²¹ Format pengurangan F meliputi : hasil awal, abs (F-180), 360-F, dan minimal tersebut dihasilkan saat wawancara dengan Rinto Anugraha di kantor Jurusan Fisika FMIPA UGM pada tanggal 28 Desember 2016 jam 15.30 WIB.

Dari pola di atas, kemungkinan gerhana terjadi sebanyak 5 kali yaitu di nilai k ke-0, 1, 6, 7, dan 12 (dalam skala 13 *new moon*).²² Artinya pada tahun tersebut gerhana Matahari mencapai jumlah maksimal.²³ Pola teratur nilai F ini memberi ruang positif untuk aritmatika dalam transformasi rumus awal menghitung nilai F kepada rumus baru yang lebih sederhana. Melalui persamaan (19)²⁴ rumus baru nilai F adalah :

$$\begin{aligned} U_n &= 160,71080 + (n - 1) 30,6705 \\ &= 160,71080 + 30,6705n - 30,67050 \\ &= 130,04030 + n.30,67050..... \end{aligned} \quad (20)$$

Dengan a adalah suku pertama yaitu 160,71080, b (beda) adalah 30°.6705 dan n adalah nilai F kesekian yang akan dihitung. Perlu diingat bahwa n disini simbolkan sebagai nilai k yang dalam perhitungan gerhana adalah representative dari *new moon*, dan nilai k *new moon* tersebut adalah 0 sebagai patokan awal. Jadi, rumus baru untuk menghitung nilai argument lintang bulan (F) adalah :

$$\begin{aligned} F_k &= 130,04030 + (k+1) \times 30,67050.... \\ F_k &= a + (k+1) b. \end{aligned} \quad (21)$$

Penerapan rumus baru ini bisa digunakan untuk mengetahui satu persatu nilai F pada tabel [6] di atas. Dengan demikian, kita

²² Nilai k = 0 adalah permulaan *New Moon*.

²³ Salah satu fakta 5 gerhana Matahari dalam 1 tahun terpecahkan.

²⁴ Rumus umum persamaan aritmatika adalah $U_n = a+(n-1)b$. baca Afidah Khairunnisa, *Matematika Dasar*, Jakarta : Rajawali Press, 2014, h. 184-185.

²⁵ Untuk rumus F ini berbeda dengan kaidah umum yang memakai $U_n = a+(n-1)b$. Hal ini dikarenakan angka n pertama adalah 0, yaitu pada k=0.

mendapatkan relasi antara nilai argument lintang bulan (F) dengan teori persamaan aritmatika, yakni dengan penemuan rumus baru versi aritmatika.

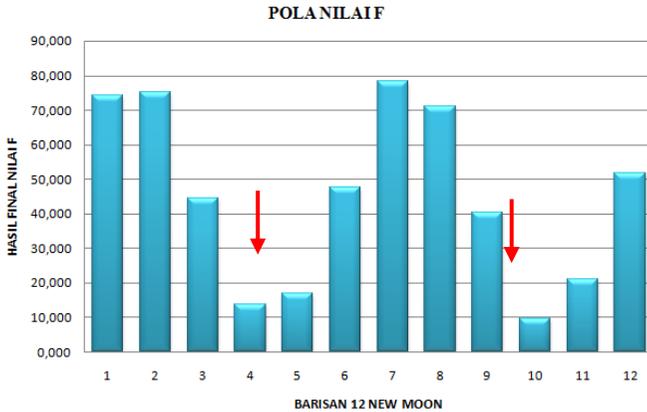
Rumus Awal Argumen Lintang Bulan (F)	Rumus Baru Argumen Lintang Bulan (F)
$F = 160.7108 + 390.670\ 502\ 74\ k - 0.001\ 6341\ T^2 - 0.000\ 002\ 27\ T^3 - 0.000\ 000\ 011\ T^4$	$F_k = 130,04030 + (k+1).30,67050$

Tabel 4 : Transformasi rumus awal dan baru versi aritmatika argument lintang bulan

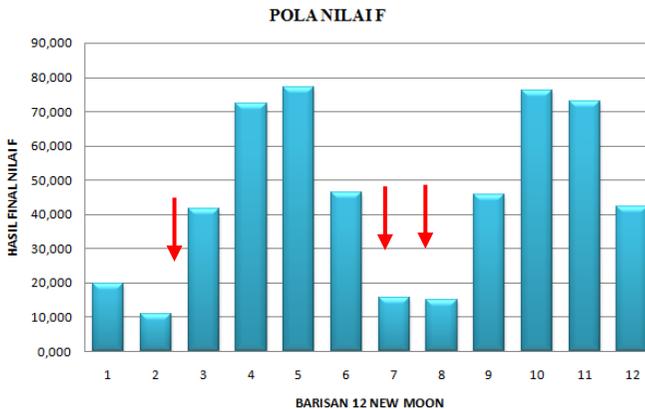
Argument Lintang Bulan dan Jumlah Minimal-Maksimal Gerhana

Argument lintang bulan (F) sudah memberi sebuah pemahaman bahwa dalam satu tahun kalender (1 Januari hingga 31 Desember), gerhana Matahari bisa terjadi minimal 2 dan maksimal 5 kali. Misalnya gerhana Matahari yang terjadi dua kali ; 1996 dan 2004, serta yang terjadi 5 kali ; 1805, 1935, dan 2206.²⁶ Gerhana 3 kali (2018) dan 4 kali (2000). Fakta ini sekilas bisa kita amati lewat pola-pola argument lintang bulan di bawah ini :

²⁶ Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit*, Yogyakarta : FMIPA UGM, 2012, h. 128.



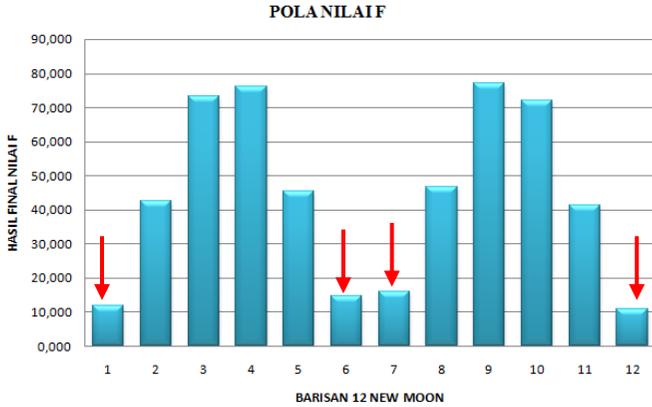
Gambar 18 : Gerhana Matahari 2 kali di tahun 2004 (19 April dan 14 Oktober)²⁷



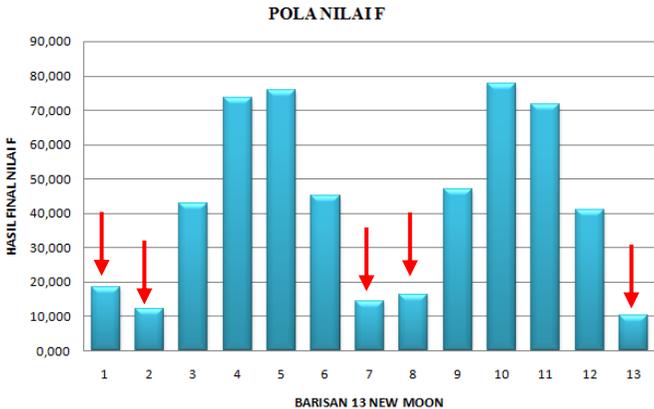
Gambar 19 : Gerhana Matahari 3 kali tahun 2018 (15 Februari, 13 Juli, dan 11 Agustus)²⁸

²⁷ Kasus pada *New Moon* kelima tidak ada gerhana lihat di poin C setelah ini, yaitu karena nilai F nya adalah 16,91794. Nilai ini dalam konsep batas Jean Meeus masuk kategori belum jelas.

²⁸ Nilai F-nya adalah 160,23286, sehingga selisih dengan 180^0 atau kelipatannya adalah 19,76714.



Gambar 20 : Gerhana Matahari 4 kali tahun 1982 (25 Januari, 21 Juni, 20 Juli, dan 15 Desember)



Gambar 21 : Gerhana Matahari 5 kali tahun 1935 (5 Januari, 3 Februari, 30 Juni, 30 Juli, dan 25 Desember)

Berdasarkan data tabel dan pola yang diberikan oleh nilai argument lintang bulan di atas, kita semakin paham bahwa jumlah gerhana Matahari dalam satu tahun bervariasi antara 2, 3, 4 dan 5 kali. Jumlah ini bisa diketahui melalui nilai awal argument lintang bulan di

permulaan *new moon* suatu tahun. Jumlah ini masih merupakan tinjauan dari kalender Masehi yang konsep perhitungannya didasarkan atas peredaran semu Matahari pada ekliptika sepanjang tahun.²⁹ Dari jumlah hari tersebut, tentunya sangat bisa terjadi tiga belas kali fase *new moon*, sehingga menjadi hal yang wajar jumlah gerhana Matahari bisa mencapai 5 kali.

Salah satu penjelasan dari gambar di atas adalah pada kasus gerhana Matahari tahun 1982. Secara data dan pola, nilai k pada urutan *new moon* ke 1, 6, 7, dan 12 menjadi ruang terjadinya gerhana Matahari dengan nilai akhir argument lintang bulan masing-masing 11,861, 14,786, 15,884, dan 10,763. Semuanya memenuhi batas-batas terjadinya gerhana yaitu $13,9^0$ (pasti terjadi) dan di antara $13,9^0 - 21^0$ (mungkin terjadi). Sehingga dua gerhana berstatus pasti dan dua yang lain berstatus mungkin. Untuk membuktikannya kita bisa merujuk salah satu data Fred Espenak dalam bukunya *Thousand Year Canon of Solar Eclipses 1501 to 2500*. Benar adanya gerhana Matahari tahun 1982 terjadi sebanyak empat kali dengan data tanggal dan bulan sebagai berikut : 25 Januari (*new moon* pertama), 21 Juni (*new moon* keenam), 20 Juli (*new moon* ketujuh) dan 15 Desember (*new moon* keduabelas). Semuanya berjenis gerhana Matahari parsial.³⁰ Jumlah ini akan berbeda ketika kita mengkajinya menggunakan sistem kalender

²⁹ Baca buku Ahmad Izzuddin, *Sistem,...* h. 76-77.

³⁰ Fred Espenak, *Thousand Year Canon of Solar Eclipses 1501 to 2500*, USA : Astropixels, 2017, h.72.

hijriyah.³¹ Gerhana Matahari merupakan peristiwa alam yang terjadi pada satu di antara fase-fase Bulan³² yaitu fase *new moon*.³³

Umur bulan ini lebih sedikit daripada umur kalender masehi dengan selisih berkisar 11 hari³⁴ dalam setahun. Jumlah bulan pada system kalender ini berjumlah 12, sebagaimana keterangan Al-Qur'an surat at-Taubah [9] : 36.

إِنَّ عِدَّةَ الشُّهُورِ عِنْدَ اللَّهِ اثْنَا عَشَرَ شَهْرًا.....

Sesungguhnya bilangan bulan pada sisi Allah adalah dua belas bulan,,,,

Ayat ini memberikan keterangan bahwa jumlah bulan dalam penanggalan Islam berjumlah 12 bulan. Nama-nama bulan itu adalah : Muharram, Shafar, Rabi'ul Awal, Rabi'ul Akhir, Jumadil Ula, Jumadil

³¹ Kalender hijriyah adalah kalender yang didasarkan pada peredaran Bulan mengelilingi Bumi. Satu kali edaran memakan waktu 29 hari 12 jam 44 menit dan 2,5 detik. Muhyiddin Khazin, *Ilmu Falak dalam Teori dan Praktik*, Yogyakarta : Buana Pustaka, t.t, h. 111.

³² Dalam perjalanannya mengelilingi Bumi, Bulan mempunyai 4 fase utama, yaitu bulan baru (*new moon*), kuartal pertama (*first quarter*), bulan purnama (*full moon*), dan kuartal ketiga atau terakhir (*third quarter* atau *last quarter*). *Ibid.* h. 9.

³³ Kalender Hijriyah merupakan penanggalan yang didasarkan atas peredaran bulan mengelilingi bumi. Penanggalan ini didasarkan pada perhitungan. Satu kali edar lamanya 29 hari 12 jam 44 menit 2,5 detik. Kalender ini memiliki jumlah 12 bulan dengan umur bulan ada yang 30 hari dan adapula yang 29 hari, yaitu untuk bulan-bulan ganjil berumur 30, sedangkan bulan-bulan genap berumur 29 hari, kecuali pada bulan ke-12 (Dzulhijjah) bisa berumur 30 hari ketika tahun tersebut adalah kabisat. Kalender Hijriyah memiliki 30 siklus yang 11 tahun merupakan tahun kabisat (355 hari) dan 19 tahun basitah (354 hari). Adapun tahun-tahun kabisatnya adalah urutan ke 2,5,7,10,13,15,18,21,24,26, dan 29. *Ibid.* h. 66-67.

³⁴ Watni Marpaung, *Pengantar Ilmu Falak*, Jakarta : Prenadamedia Group, cet I, 2015, h. 81.

Akhirah, Rajab, Sya'ban, Ramadhan, Syawwal, Dzulqo'dah, da Dzulhijjah. Jumlah hari setiap bulan sebanyak 30 hari untuk urutan bulan ganjil dan 29 hari untuk urutan bulan genap. Sebagai pengecualian, pada kasus tahun kabisat jumlah hari pada bulan Dzulhijjah ditambah 1 menjadi 30 hari.

Sama halnya dengan kalender masehi yang memiliki tahun pendek dan tahun panjang. Kalender hijriyah memiliki system tahun pendek (Basithah) dan tahun panjang (Kabisat) yang sedikit rumit. Setiap 30 tahun terdapat 11 tahun kabisat, yang artinya jumlah hari bulan Dzulhijjah 30 hari dan 19 tahun Basitah yang artinya jumlah hari bulan Dzulhijjah berjumlah 29 hari. Aturan ini mengakibatkan jumlah total hari tiap tahun berkisar antara 354 hari (Basitah) dan 355 hari (Kabisat).³⁵

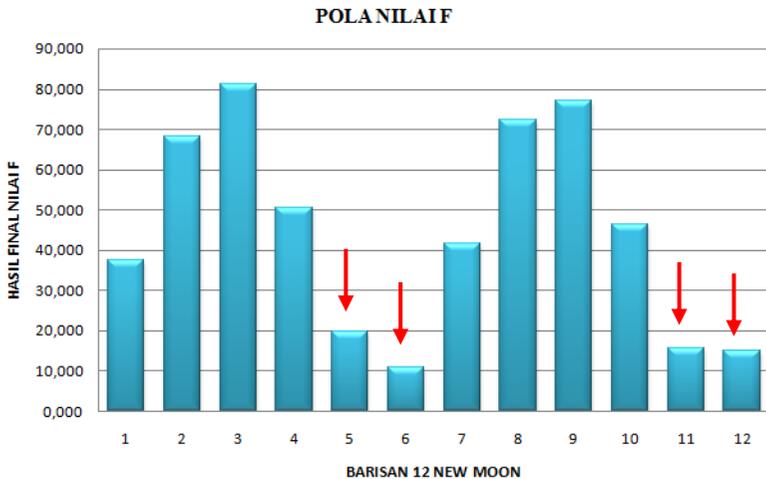
Dengan cara yang sama, penulis menemukan keterangan baru terkait jumlah minimal-maksimal terjadinya gerhana Matahari jika berdasarkan umur hari dalam kalender Hijriyah yang mana Rinto Anugraha melalui buku Mekanika Benda Langit menulis bahwa jumlah minimal-maksimal gerhana Matahari dalam satu tahun adalah 2 dan 5 kali.³⁶ Namun tidak dengan apa yang diperoleh dari kalender Hijriyah.

Di bawah ini penulis mengilustrasikan bagaimana pola argument lintang bulan yang terbentuk dengan pendekatan kalender hijriyah. Misal data yang dihitung adalah tahun 1438 H. Kita harus mendapati

³⁵ Muhyiddin Khazin, *Ilmu*, ... h. 111.

³⁶ Rinto Anugraha, *Mekanika*, ... h. 128.

konversi tanggal 1 Muharram 1439 H ke dalam penanggalan masehi. Kita mendapatkan tanggal 1 Muharram 1439 H bersesuaian dengan 22 September 2017 dan jika kita panjangkan satu satu penuh, maka rentang penanggalannya adalah 22 September 2017 – 10 September 2018.



Gambar 22 : Pola nilai F periode 22 September 2017-10 September 2018.

Kita akan mendapatkan keterangan di new moon mana gerhana Matahari bisa terjadi, yaitu new moon ke 5, 6, 11, dan 12. Untuk membuktikan kita bisa melihat data kontemporer di rentang waktu 22 September 2017 – 10 September 2018, penulis mengambil data dari Fred Espenak bahwa dalam rentang waktu tersebut gerhana terjadi pada : 15 Februari 2018 (gerhana Matahari parsial), 13 Juli 2018 (gerhana Matahari parsial) dan 11 Agustus 2018 (gerhana Matahari parsial).³⁷

³⁷ Fred Espenak, *Thousand, ...* h. 72.



Gambar 23 : Analogi posisi bulan yang berpeluang terjadi gerhana Matahari.

Secara teori data prediksi, gerhana terjadi pada new moon ke 5,6,11, dan 12. Sedangkan hasil data kontemporer hanya memberikan jawaban pada new moon ke 6, 11, dan 12. Mengesampingkan kasus pada new moon ke-5³⁸, data argument lintang bulan ini sudah memberikan pemahaman yang kuat bahwa penentuan jumlah gerhana secara aritmatika bisa diketahui melalui nilai argument lintang bulan pada new moon pertama suatu tahun.

Dengan memanfaatkan bentuk pola di atas, penulis lebih detail membuat interval-interval nilai argument lintang bulan dan keterkaitannya dengan jumlah gerhana Matahari yang diberikan berdasarkan kalender Masehi, yaitu pada tabel A dan tabel B.

TABEL INTERVAL A

No	Nilai Argument Lintang Bulan	Jumlah Gerhana	Pola New Moon
1	0 – 1	3	1 – 7 – 13
2	2 – 5	4	1 – 7 – 12 – 13
3	6 – 12	5	1 – 6 – 7 – 12 – 13
4	13 – 16	4	1 – 6 – 7 – 12
5	17 – 20	3	1 – 6 – 12
6	21 – 32	2	6 – 12
7	33 – 36	3	6 – 11 – 12
8	37 – 43	4	5 – 6 – 11 – 12
9	44 – 47	3	5 – 6 – 11
10	48 – 62	2	5 – 11
11	63 – 66	3	5 – 10 – 11

³⁸ Kasus ini masuk di poin C.

12	67 – 74	4	4 – 5 – 10 – 11
13	75 – 78	3	4 – 5 – 10
14	79 – 93	2	4 – 10
15	94 – 97	3	4 – 9 – 10
16	98 – 104	4	3 – 4 – 9 – 10
17	105 – 108	3	3 – 4 – 9
18	109 – 124	2	3 – 9
19	125 – 128	3	3 – 8 – 9
20	129 – 135	4	2 – 3 – 8 – 9
21	136 – 139	3	2 – 3 – 8
22	140 – 150	2	2 – 8
23	151 – 154	3	2 – 8 – 13
24	155 – 159	4	2 – 7 – 8 – 13
25	160 – 166	5	1 – 2 – 7 – 8 – 13
26	167 – 170	4	1 – 2 – 7 – 13
27	171 – 180	3	1 – 7 – 13

Tabel 5 : Interval nilai argumen lintang bulan dan jumlah jumlah gerhana matahari dengan 13 kali new moon.³⁹

TABEL INTERVAL B

No	Nilai Argument Lintang Bulan	Jumlah Gerhana	Pola New Moon
1	0 – 1	2	1 – 7
2	2 – 5	3	1 – 7 – 12
3	6 – 16	4	1 – 6 – 7 – 12
4	17 – 20	3	1 – 6 – 12
5	21 – 32	2	6 – 12
6	33 – 36	3	6 – 11 – 12
7	37 – 43	4	5 – 6 – 11 – 12
8	44 – 47	3	5 – 6 – 11
9	48 – 62	2	5 – 11
10	63 – 66	3	5 – 10 – 11

³⁹ Tabel interval A ini diproyeksikan untuk new moon yang terjadi pada tanggal 1-11 Januari di suatu tahun.

11	67 – 74	4	4 – 5 – 10 – 11
12	75 – 78	3	4 – 5 – 10
13	79 – 93	2	4 – 10
14	94 – 97	3	4 – 9 – 10
15	98 – 104	4	3 – 4 – 9 – 10
16	105 – 108	3	3 – 4 – 9
17	109 – 124	2	3 – 9
18	125 – 128	3	3 – 8 – 9
19	129 – 135	4	2 – 3 – 8 – 9
20	136 – 139	3	2 – 3 – 8
21	140 – 154	2	2 – 8
22	155 – 159	3	2 – 7 – 8
23	160 – 166	4	1 – 2 – 7 – 8
24	167 – 170	3	1 – 2 – 7
25	171 – 180	2	1 – 7

Tabel 6 : Interval nilai argumenlintang bulan dan jumlah jumlah gerhana matahari dengan 12 kali new moon.⁴⁰

Perlu diingat bahwa nilai F ini adalah dari komponen k dan T melalui **persamaan (7)**⁴¹. Oleh karenanya, muara dari nilai F ini akan jatuh dikisaran angka 0 derajat – 360 derajat. Pada tabel A dan tabel B hanya memberikan interval sampai 180 derajat. Hal ini karena setelah angka 180 – 360 mempunyai hasil yang sama, artinya dalam sudut penuh lingkaran pola yang dihasilkan sama antara 0-180 dan 181-360.

Keterangan lain yang ada dalam tabel ini adalah tabel A diterapkan untuk tahun yang mempunyai 13 new moon dengan penggunaan tanggal antara 1 – 11 Januari dan tabel B digunakan untuk

⁴⁰ Tabel interval B ini diproyeksikan untuk new moon yang terjadi pada tanggal 12-31 Januari di suatu tahun.

⁴¹ Rumus Persamaan F di BAB II.

tahun yang hanya mempunyai 12 new moon, yaitu antara tanggal 12-31 Januari. Secara pendekatan jarak antara new moon satu ke new moon berikutnya adalah 29 hari 12 jam 44 menit yang artinya setiap setiap new moon akan memiliki jarak yang konstan. Logika ini diperoleh melalui tabel berikut :

No	Jumlah New Moon	Tanggal Januari	Tanggal Januari	Tanggal Januari
1	1	1	11	12
2	2	30,53056	40,53056	41,53056
3	3	60,06112	70,06112	71,06112
4	4	89,59168	99,59168	100,5917
5	5	119,1222	129,1222	130,1222
6	6	148,6528	158,6528	159,6528
7	7	178,1834	188,1834	189,1834
8	8	207,7139	217,7139	218,7139
9	9	237,2445	247,2445	248,2445
10	10	266,775	276,775	277,775
11	11	296,3056	306,3056	307,3056
12	12	325,8362	335,8362	336,8362
13	13	355,3667	365,3667	366,3667
14	14	384,8973	394,8973	395,8973

Tabel 7 : Logika tahun yang memiliki 12 dan 13 new moon berdasarkan jarak rata-rata tiap ijtima.

Terlihat bahwa jika new moon pertama jatuh di tanggal 1 januari, maka untuk memiliki 13 new masih bisa karena masih ada sisa 10,63328 dari jumlah hari masehi setahun 365/366 dan tidak mungkin untuk bisa memiliki new moon ke-14 karena sudah melampaui. Begitu

juga jika new moon jatuh di tanggal 12, karena masih ada sisa 0,63328 hari dari 366 hari.⁴²

Namun demikian, tanggal 12 januari sudah menutup peluang untuk bisa terjadi new moon ke-13 karena batas hari sudah melebihi 366. Dengan demikian, kesimpulan sederhana yang bisa diambil adalah new tahun yang memiliki 13 new moon adalah jika new moon pertama di tahun tersebut terjadi di antara 1-11 januari dan selebihnya adalah tahun yang memiliki 12 new moon.

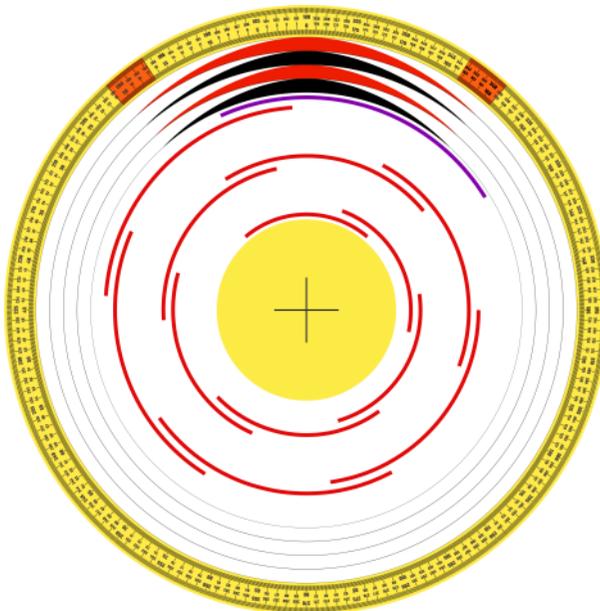
Adanya pola yang ditampilkan oleh nilai argument lintang bulan (F) memberikan data menarik untuk bisa dikembangkan ke dalam bentuk instrument gerhana Matahari.⁴³ Pendekatan aritmatika mengukuhkan kembali bahwa prediksi-prediksi selama ini kebanyakan berbentuk teori atau kalkulasi dan minim yang dalam bentuk instrument. Padahal perwujudan instrument sejatinya embrio dari instrument-instrumen berikutnya yang lebih mutakhir.⁴⁴

⁴² 366 ini dijadikan batas maksimal hari yang terjadi di tahun kabisat karena hasil pecahan dari tiga tahun sebelumnya yang menjadi 1 hari di tahun ke empat. Baca Fred Espenak, *Thousand...*h.22.

⁴³ Pengembangan yang berasal dari kontribusi angka-angka yang relative teratur juga digemakan oleh Titius Bode yang membuat hukum empiris jarak planet di tata surya dengan rumusnya $D = 0,4 + 0,3 \times 2^n$. Baca A. Gunawan Admiranto, *Menjelajahi Tata Surya*, Yogyakarta : Kanisius, 2009, h. 9-10.

⁴⁴ Abad pertengahan pernah menjadi abad keemasan astronom timur dalam pembuatan instrument yang membantu dalam pengembangan astronomi praktis. Kh. U. Sadykov, *Abu Raihan Al-Biruni dan Karyanya dalam Astronomi dan Geografi Matematika*, Jakarta : Suara Bebas, 2007, h. 109.

Tabel ini bisa kita gunakan sebagai prediksi untuk gerhana yang diinginkan. Namun demikian, ada langkah yang harus disiapkan oleh seseorang yaitu : Pertama, cari data tanggal new moon awal suatu tahun. Kedua, menghitung nilai k dengan **persamaan (1 dan 2)**. Ketiga, menghitung nilai F dengan rumus baru $F (F_k = 130,04030 + ((k+1) \times 30,67050)$). Kempat, hasil F dicari pada tabel untuk melihat terjadinya gerhana. sebagai contoh adalah peristiwa gerhana pada masa Nabi yaitu 27 Januari 632 M yang mempunyai nilai F sebesar 6,5213. Lihat pada bagian uji akurasi di bawah.⁴⁵



Gambar 24 : Design akhir piringan tengah instrumen Volvelle pengembangan (Piringan F)

⁴⁵ Pada bagian uji akurasi instrumen Volvelle, terdapat 5 tahun yang dijadikan contoh perhitungan dan salah satunya adalah prediksi di tahun 632 M, yaitu masa Nabi SAW 632 M.

3. ReDesign Kalender Berbasis Jam, Pasaran dan Hari

Kalender merupakan satu komponen dasar yang digunakan untuk memberi data gerhana terjadi. Philippe menggunakan model kalender Gregorian sebagai penyusun instrumennya. Hanya saja penggunaannya sedikit berbeda dengan para astronom lainnya, ia memulai hari dengan 1 Maret dan mengakhiri di tanggal 28/29 Februari.⁴⁶ Model ini memang dikatakan mempunyai kelebihan di dua aspek⁴⁷. Disamping itu model spiral kalender ini juga mempunyai kelebihan dibanding kalender model bulat seperti di astrolabe dan lain sebagainya.

Dalam beberapa hal, penulis masih mengikuti model spiral seperti Philippe. Hanya saja ada poin pengembangan yang menjadikan ruang kalender lebih luas dari apa yang ada di Instrumen Volvelle. Ruang kalender menjadi tempat penting untuk menempatkan grid jam maupun menit, sedangkan kita bisa mengakui bahwa Philippe hanya sampai di grid hari.



Gambar 25 : Terlihat grid-grid hari yang ada di kalender.

Dalam beberapa instrumen astronomi, model kalender yang digunakan adalah bulat sebagai contoh astrolabe. Namun demikian, model seperti itu sejatinya tidak menggunakan ruang sudut yang sama

⁴⁶ Lars Gislén dan Chris Eade, *Philippe,...* h. 47.

⁴⁷ Pertama mempermudah penambahan 1 hari diakhir bulan februari jika tahun kabisat. Baca Lars Gislén dan Chris Eade, *Philippe,...*h. 47.

untuk masing-masing tanggal. Sedangkan bentuk spiral ini tak lain karena memang tahun lunar lebih pendek daripada tahun masehi, sehingga mulai jam ke-16 tanggal 10 Februari kalender mulai melompat dari satu lingkaran.⁴⁸ Dari pembentukannya, sudut hari diperoleh melalui pembagian 368 derajat 2 menit 42 detik atau 368,045 dengan 354 hari 9 jam.⁴⁹ Oleh karenanya, jika dari bulatan asli lingkaran itu digunakan oleh 346 hari 15 jam. Logika penyusunannya adalah sebagai berikut :

$368,045 : 354,375$	$= 1,038574956$ derajat
$360 / 1,038574956$	$= 346,628809$
346,628809	346 hari
	15 jam
	5,5 menit

Kelemahan yang bisa dijumpai adalah karena ruang kalender per hari yang kecil, maka dalam pernyataannya 1 Maret segaris dengan 10 Februari dan tidak bisa sampai 15 jamnya. Tentunya ada 15 jam yang dibuang oleh Philippe. Dari sinilah penulis memberikan sisi pengembangan yang mana lebar ruangnya bisa dua kali lipatnya.

Sudut per hari instrumen Philippe adalah 1,038575, adapun jika menghendaki per jam maka menjadi $1,038575 / 24 = 0,043274$. Karena angka-angka kalender ada di sisi lingkaran / spiral, maka kita akan

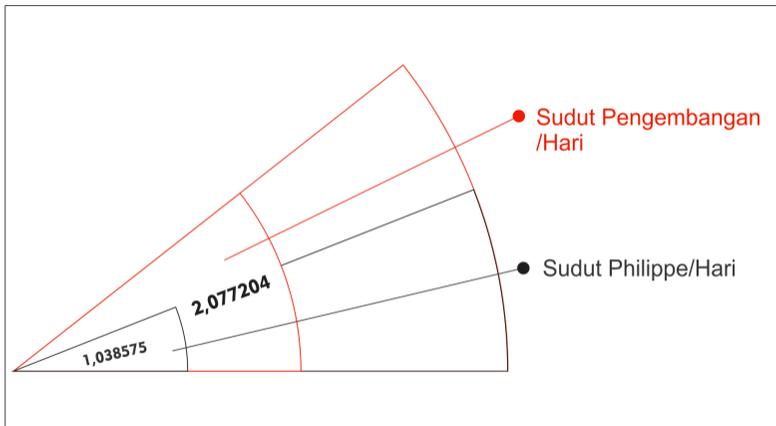
⁴⁸ *Epact* adalah usia bulan pada tanggal tertentu, dihitung dengan perhitungan siklus. Lars Gislen, Philippe,...h.49.

⁴⁹ 354 hari 9 jam ini berdasarkan panjang hari tahun lunar.

mencoba menggambar berapa panjang busur dengan sudut yang dimiliki oleh Philippe.

Diameter lingkaran 40 cm, dengan phi 3,14
Maka keliling lingkaran adalah phi x diameter
125,6 cm artinya sudut penuh 360 adalah 125,6 cm,
Selanjutnya kita analogikan perbandingan bahwa
360 derajat = 125,6 cm
1,038575 derajat = ???
???? = (1,038575 x 125,6) / 360
= 0,362347 cm

Berbeda dengan pengembangan yang akan mempunyai 0,724714 cm. Konstruksi dari kalender dikembangkan ada 3 hal. Pertama, melebarkan ruang sehingga memungkinkan untuk menambah grdi untuk jam. Kedua, menambahkan fungsi hari dan pasaran karena hari dan pasaran ini dalam masyarakat Indonesia sering digunakan.



Gambar 26 : perbandingan besar sudut per hari Philippe dengan model pengembangan

Penulis dalam hal nilai new moon rata-rata sama dengan Philippe yaitu 29 hari 12 jam 44 menit. Jika dilacak lebih jauh maka data

terbaru untuk kategori kontemporer sebagaimana Jean Meeus menyebutkan 29 hari 12 jam 44 menit 03 detik.⁵⁰ Nilai ini penulis korelasikan dengan konsep nilai F yang menjadi pengganti Dvisi. Jika menggunakan 30,67050 derajat untuk setiap satu new moon (29,53056 hari), maka akan menghasilkan besaran sudut :

$$30,67050 / 29,53056 = 1,038602045$$

Apabila 1 lingkaran berlaku hukum seperti biasanya yaitu besaran sudutnya 360, akan tetapi penulis memecah menjadi 2 bagian. 1 lingkaran pertama untuk 180 derajat dan 1 lingkaran lain untuk 180 derajat, sehingga sudut per hari di atas harus dikalikan 2 agar sesuai aturan pengembangan. hal ini menguntungkan penulis karena ada ruang yang lebih lebar sehingga memungkinkan untuk ditambah grdi jam.

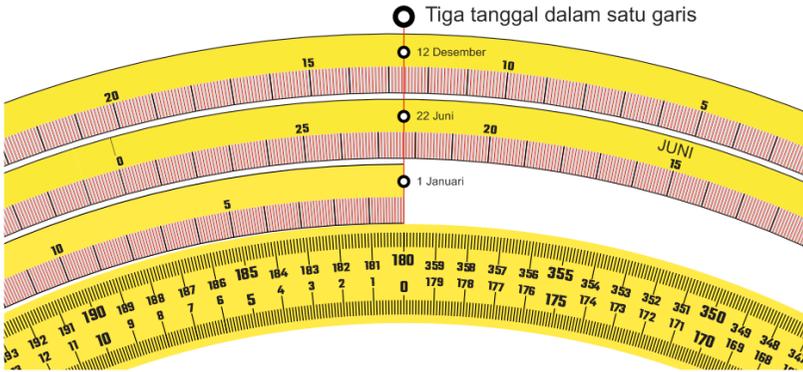
$$\text{Menjadi } 1,038602045 \times 2 = 2,07720409$$

Hari-hari ini otomatis akan didistribusikan ke masing-masing bulan dalam setahun, dengan menambahkan angka sesuai mereka. Konsep awal kalender instrumen pengembangan ini menggunakan 1 Januari sebagai awal dan akan segaris dengan tanggal 22 Juni jam 7⁵¹ lebih dengan besar sudut 359,3563615 derajat (359⁰ 21' 22'") serta segaris dengan 12 Desember jam 14⁵² lebih dengan sudut mencapai 358,7127231 derajat (358⁰ 42' 45'").

⁵⁰ Jean Meeus, *Astronomical*, ...h.324.

⁵¹ Jika tahun basitah dan segaris dengan 21 Juni jam 7 menit 26 detik 11 untuk tahun kabisat.

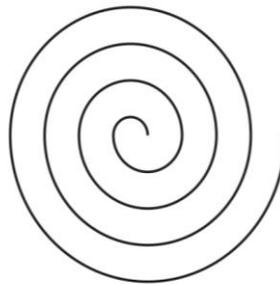
⁵² Untuk tahun basitah dan segaris dengan 11 Desember jam yang sama. Secara presisi tepat pada 11 Desember 14 jam 52 menit 23 detik.



Gambar 27 : tiga tanggal yang terletak satu garis lurus dalam 1 lingkaran.

Ada catatan yang tidak penulis dapatkan dalam keterangan Philippe dalam membuat garis-garis kalendernya dan penulis anggap sebagai sesuatu yang kurang menarik karena tidak memungkinkan orang untuk membuatnya meski bisa menghitung bagian-bagiannya. Penulis akhirnya menerapkan persamaan aritmatika sebagai catatan penting bagi pembaca untuk bisa memahami alur pembuatannya.

Sebagaimana kita ketahui bahwa garis pembentuk kalneder spiral adalah mengikuti proses barisan aritmatika yang setiap tanggal akan mengalami penambahan konstan.



Gambar 28 : Bentuk spiral yang dijadikan model kalender oleh Philippe

Dengan bantuan persamaan aritmatika, konstruksi pembuatan garis-garis pada kkalender spiral sebagai berikut : kita ambil banyak hari adalah 365 hari, artinya ada 365 baris yang harus mengikuti aturan aritmatika. Aturan aritmatika ini sebagaimana penjelasan bab ii bahwa setiap satu garis ke garis berikutnya mempunyai beda yang konstan. Dalam hal ini penulis membuat panjang tanggal 1 Januari sebagai acuan dan panjang hari ke-173 (22 Juni). Pemilihan ini karena tanggal 22 Juni terletak di sudut $359^{\circ} 21' 22''$ dan setelah tanggal tersebut adalah sudah melampaui 360° . Disinilah kita bisa menyesuaikan ukuran ruang kosong antara lapisan 1 dan kedua.

Penulis membuat sampel ukuran panjang garis 1 Januari adalah 18,202 cm sedangkan panjang garis 22 Juni (baris ke-173) sebesar 18,652 cm. dengan **persamaan** $(19)^{53}$, kita dapatkan nilai beda sebesar 0,002616279 cm, kemudian kita terapkan di setiap garis tanggal sebanyak 365 hari dengan menggunakan excel dan hasilnya adalah sebagaimana pada lampiran [variasi panjang penyusun kalender spiral⁵⁴.

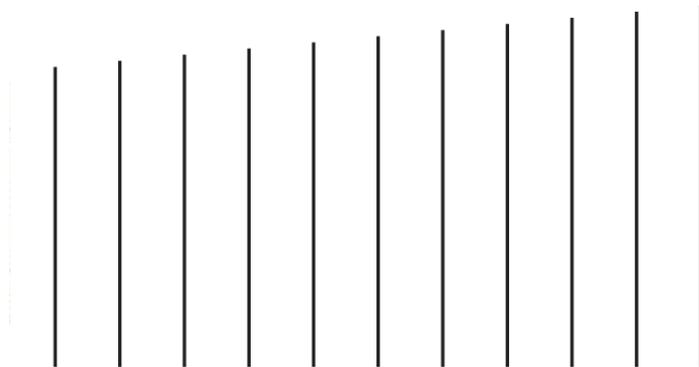
Tanggal	Sudut Penerapan	Panjang I	Panjang II	Panjang III
1	2,077204402	14,381	14,781	15,281
2	4,154408804	14,38675	14,78675	15,28675
3	6,231613206	14,3925	14,7925	15,2925
4	8,308817608	14,39825	14,79825	15,29825
5	10,38602201	14,404	14,804	15,304
6	12,46322641	14,40975	14,80975	15,30975

⁵³ Persamaan aritmatika di bab II

⁵⁴ Lampiran variasi panjang garis penyusun kalender spiral.

7	14,54043081	14,4155	14,8155	15,3155
8	16,61763522	14,42125	14,82125	15,32125
9	18,69483962	14,427	14,827	15,327
10	20,77204402	14,43275	14,83275	15,33275
.
.
.
365	38,17960673	16,474	16,874	17,374
366	40,25681113	16,47975	16,87975	17,37975

Tabel 8 : Variasi panjang garis penyusun kalender



Gambar 29 : Analogi barisan garis yang sudah mengalami pemotongan sesuai dengan ukuran pertanggal

Dari 365 hari tersebut disusunlah dengan besaran sudut masing-masing. Setidaknya perbesaran ruang tanggal penulis memanfaatkan untuk grid per 2 jam.

Inovasi Hari dan Pasaran

Hari dan pasaran adalah system penanggalan yang sering digunakan oleh masyarakat Jawa. Tentunya Philippe tidak mengenal konsep ini, dan menjadi satu sisi pengembangan yang penulis berikan. Dengan menggunakan algoritma penanggalan yang ada di beberapa

literature, maka konsep yang memungkinkan untuk dijadikan hari dan pasaran adalah jenis kalender urfi.⁵⁵

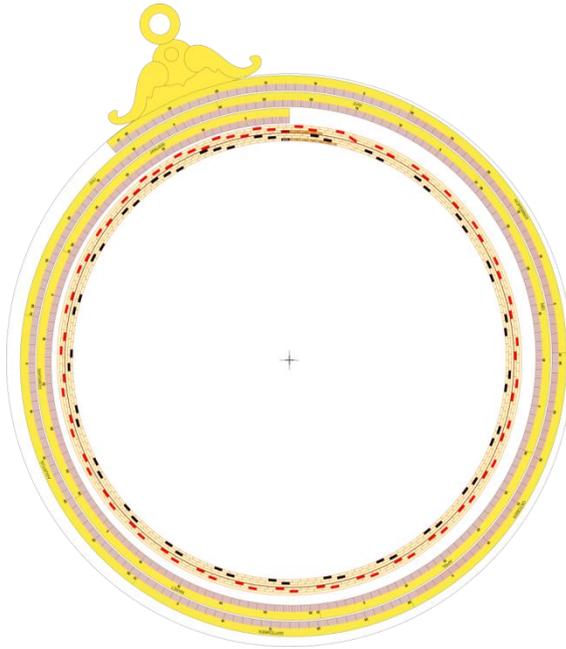
Sebagai awal acuan, penulis menjadikan tanggal 1 Januari di tiap tahun epoch sebagai kode permulaan hari dan pasaran. Mengambil tanggal 1 Januari 2001 sebagai patokan dalam instrumen memberikan data hari dan pasaran acuan, yaitu pada Senin Pahing. Dimulai dari Senin dan pasaran dari Pahing. Kode ini akan menjadi alat bantu yang terpasang pada piringan pertama di atas.

Kode	Nama Hari	Kode	Nama Pasaran
1	Senin	1	Pahing
2	Selasa	2	Pon
3	Rabu	3	Wage
4	Kamis	4	Kliwon
5	Jumat	5	Legi
6	Sabtu		
7	Minggu		

Tabel 9 : Penerapan kode hari dan pasaran untuk instrumen Volvelle pengembangan.

Penerapan dalam penghitungan hari dan pasaran dalam instrumen adalah dengan menambah 1 hari dan menetapkan jenis pasarannya. Sebagai contoh 1 Januari 2001 jatuh pada Senin, Pahing maka 1 Januari 2002 jatuh pada hari Selasa Pahing dan seterusnya selama 4 tahun. Adapun pada tahun kelima loncat 2 hari dan 1 pasaran. Hal ini karena jumlah hari dalam 1 tahun basitah berjumlah 365 hari.

⁵⁵ Pada umumnya hisab urfi digunakan dalam pembuatan kalender Hijriyah yang berkaitan dengan persoalan administrasi seperti kalender Hijriyah yang dikeluarkan oleh *Ummul Qura* kerajaan Arab Saudi Arabia. Baca Susiknan Azhari, *Ilmu Falak Perjumpaan Khazanah Island dan Sains Modern*, Yogyakarta : Suara Muhammadiyah, 2011, cet.III, 104.



Gambar 30 : Design akhir kalender dengan inovasi hari dan pasaran.

4. Penggunaan Instrumen

Dalam penggunaan instrumen Volvelle hasil inovasi tidak terlalu jauh berbeda dengan Philippe. Pada dasarnya penulis tetap mendasarkan konsep putar (geser) piringan untuk mendapatkan data. Dengan bertambahnya piringan hari dan pasaran, maka langkah-langkah penggunaan instrumen Volvelle inovasi sebagai berikut :

- Setting tab piringan epoch ke angka F pada piringan tengah.
- Pindahkan dua piringan atas (piringan *epoch* dan F) bersamaan sampai tab (penggaris tepi) menunjuk ke tanggal permulaan *New Moon* sesuai dengan tabel.
- Setting piringan hari dan pasaran berdasarkan kode sebagai berikut

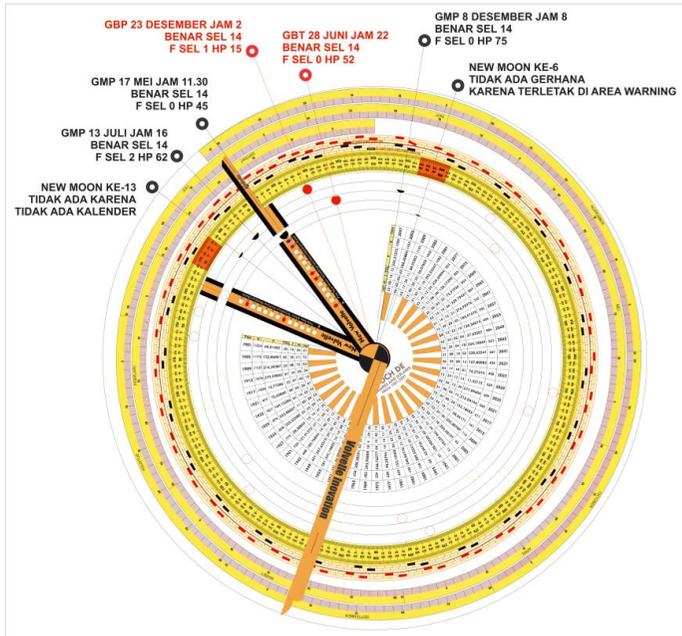
Jika Kode Hari, Maka	Putar Piringan Sebesar	Jika Kode Hari, Maka	Putar Piringan Sebesar
1	Tetap karena epoch	1	Tetap karena epoch
7	2,0772	5	2,0772
6	4,1544	4	4,1544
5	6,2316	3	6,2316
4	8,3088	2	8,3088
3	10,386		
2	12,463		

- Jika menghitung pada tahun kabisat, maka pengambilan data setelah tanggal 28 Februari adalah dengan mengurangi 1 hari karena jumlah tanggal Februari 29 hari. Ini dilakukan karena konsep permulaan kalender yang digunakan dalam instrumen adalah 1 Januari.
- Jika kita ingin mengetahui gerhana setelah tahun yang bersangkutan, maka pada *New Moon* yang melewati tanggal 31 Desember, piringan F harus diputar sebesar 18 hari 9 jam (untuk tahun pendek) dan 19 hari 9 jam.⁵⁶
- Amati lubang yang ada di piringan epoch, jika ada warna hitam maka artinya ada gerhana Matahari dan jika merah maka gerhana Bulan.

⁵⁶ secara garis lurus, maka tanggal 1 Januari akan sama dengan 346 hari 14 jam 52 menit 23 detik, sehingga tanggal setelah itu sebesar 18 hari 9 jam 7 menit 36 detik (tahun pendek) dan 19 hari 9 jam 7 menit 36 detik untuk tahun panjang. Konsep ini sebagaimana dilakukan oleh Philippe yaitu dengan memindahkan dua disk teratas kembali 19 hari karena tanggal melewati batas 29 Februari, sedangkan di instrumen ini karena melewati tanggal 31 Desember.

Contoh :

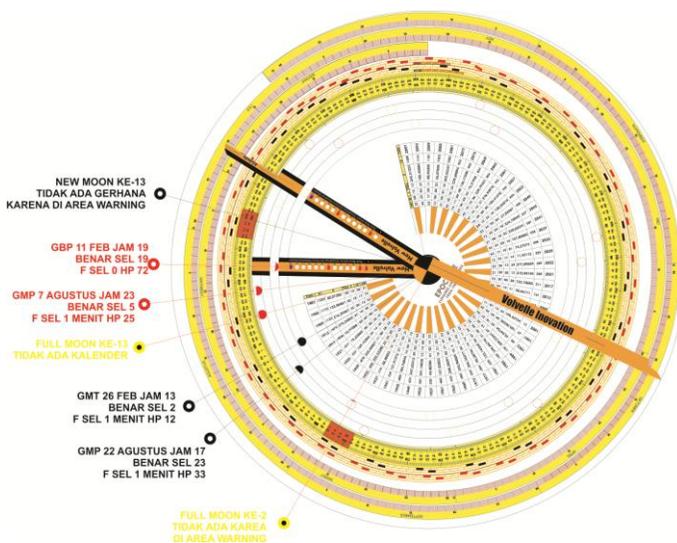
- **Tahun 1703 M**, bertepatan dengan nilai F New Moon pertama pada 17 Januari jam 11.32 sebesar 187,93983 dengan nilai k ke -3673. Dengan melihat lubang new moon dan full moon pada piringan F, maka bisa diketahui bahwa gerhana pertama yang terjadi adalah gerhana Matahari Total pada 17 Mei jam 11.30 dengan nilai F sebesar 187,93983 dan nilai k ke-3673, kode hari pada Kamis Legi. Gerhana kedua adalah gerhana Bulan Total pada 28 Juni jam 22 dengan nilai F sebesar 176,62763 dan nilai ke -3667,5, kode hari Jumat Pon. Gerhana selanjutnya adalah gerhana Matahari Parsial pada 13 Juli jam 16 dengan nilai F sebesar 11,96289 dan nilai k -3667, hari dan pasaran nya adalah Sabtu Pon. Gerhana Matahari Parsial pada 8 Desember jam 8 dengan nilai F sebesar 165,31544 dan nilai k -3662, jatuh pada hari Minggu Legi. Terakhir gerhana Bulan Total pada 23 Desember jam 2 dengan nilai F 0,65070 dan nilai k -3661,5, jatuh pada Senin Legi. Adapun new moon ke-13 tidak ada gerhana karena melewati batas tanggal. Dengan demikian diketahui bahwa total gerhana tahun 2017 berjumlah 5 kali.



Gambar 31 : Hasil uji coba prediksi gerhana tahun 1703 M.

- **Tahun 2017 M**, bertepatan dengan nilai F New Moon pertama pada 28 Januari sebesar 152,18683 dan nilai k 211. Dengan melihat lubang new moon dan full moon pada piringan F, maka bisa diketahui bahwa gerhana pertama yang terjadi adalah gerhana parsial pada 11 Februari jam 19 UT dengan nilai F sebesar 347,52208 dan pada nilai k ke-211,5 serta kode hari adalah Minggu Pon. Gerhana kedua yang teramati adalah gerhana Matahari total pada 26 Februari jam 13 dengan nilai F sebesar 182,85733 dan nilai k ke-212. Kode hari jatuh pada Senin Pon. Gerhana ketiga adalah gerhana Bulan parsial pada 7 Agustus jam 23 dengan nilai F sebesar 171,54510 dan nilai k ke-217,5 kode hari jatuh pada Selasa Legi. Gerhana

selanjutnya adalah gerhana Matahari Total pada 22 Agustus jam 17 dengan nilai F 6,88035 dan nilai k ke-218. Jatuh pada Rabu Wage. Adapun tiga lubang yang juga ada sedikit warna, yaitu pada Full Moon kedua dari penggaris menunjukkan ada berkas merah di area warning, sehingga tidak dianggap ada gerhana. New Moon ketiga belas juga di area warning dan Full Moon ketiga belas tidak ada gerhana karena tidak mencakup kalender.⁵⁷

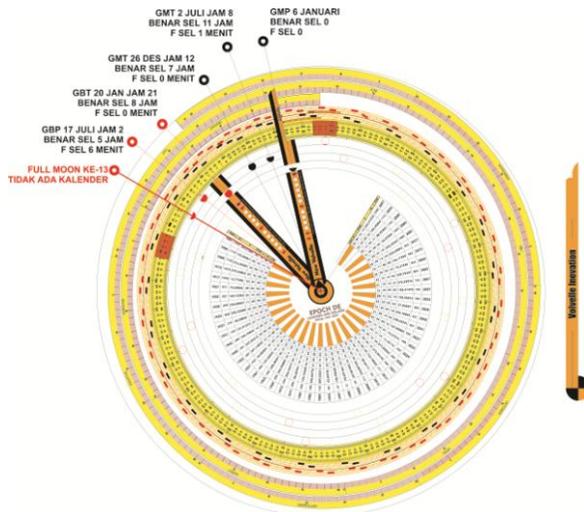


Gambar 32 : Hasil uji coba prediksi gerhana tahun 2017.

- **Tahun 2019 M**, bertepatan dengan nilai F New Moon pertama pada 6 Januari jam 1 28 menit sebesar 168,27888 dan nilai k 235. Dengan melihat lubang new moon dan full moon pada

⁵⁷ Sebagaimana keterangan pada interval tanggal berapa tahun akan mengalami 12 New Moon dan 13 New Moon. Pembahasan transformasi divisi ke argument of moon's latitude.

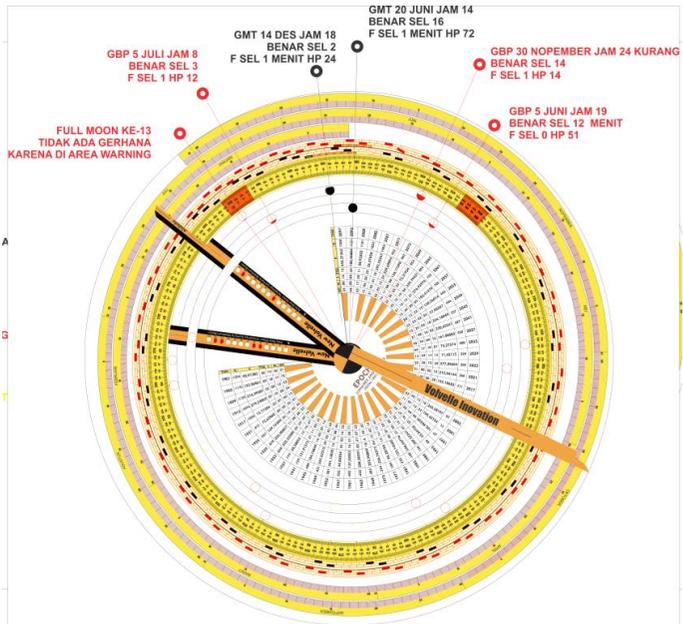
piringan F, maka bisa diketahui bahwa gerhana pertama yang terjadi adalah gerhana Matahari parsial pada 6 Januari dengan nilai F sebesar 168,27888, jatuh pada hari Senin Pahing. Gerhana kedua yang teramati adalah gerhana Bulan total pada 20 Januari jam 20 dengan nilai F sebesar 3,61414 dan nilai k ke-235,5. Kode hari jatuh pada Senin Legi. Gerhana ketiga adalah gerhana Matahari Total pada 2 Juli jam 02 dengan nilai F sebesar 352,30190 dan nilai k ke- 241, kode hari jatuh pada Rabu Wage. Gerhana selanjutnya adalah gerhana Bulan Parsial pada 17 Juli jam 0 dengan nilai F 187,63715 dan nilai k ke-241,5. Jatuh pada Kamis Wage. Gerhana terakhir adalah gerhana Matahari Total pada 26 Desember jam 10 dengan nilai F sebesar 176,32491 dan nilai k ke-247, jatuh pada Jumat Legi. Adapun pada Full Moon ke-13 tidak ada kalender karena tidak mengenai kalender.



Gambar 33 : Hasil uji coba prediksi gerhana tahun 2019.

- **Tahun 2020 M**, bertepatan dengan nilai F New Moon pertama pada 24 Januari jam 21.42 sebesar 206,99541 dan nilai k 248. Dengan melihat lubang new moon dan full moon pada piringan F, maka bisa diketahui bahwa gerhana pertama yang terjadi adalah gerhana Bulan parsial pada 5 Juni jam 19 dengan nilai F sebesar 165,01267 dengan nilai k ke-252,5, jatuh pada hari Kamis Legi (di instrumen Jumat Pahing).⁵⁸ Gerhana kedua yang teramati adalah gerhana Matahari total pada 20 Juni jam 14 dengan nilai F sebesar 0,34792 dan nilai k ke-253. Kode hari jatuh pada Sabtu Pahing (di instrumen terbaca Minggu Pon). Gerhana ketiga adalah gerhana Bulan Parsial pada 5 Juli jam 08 dengan nilai F sebesar 195,68318 dan nilai k ke- 253,5, kode hari jatuh pada Minggu Pahing (di instrumen Senin Pon). Gerhana selanjutnya adalah gerhana Bulan Parsial pada 30 Nopember jam 23.50 dengan nilai F 349,03569 dan nilai k ke-258,5. Jatuh pada Minggu Wage (di instrumen Senin Kliwon). Gerhana terakhir adalah gerhana Matahari Total pada 14 Desember jam 18 dengan nilai F sebesar 184,37094 dan nilai k ke-259, jatuh pada Senin Pon (di instrumen Selasa Wage). Adapun pada Full Moon ke-13 tidak ada kalender karena terletak di area warning.

⁵⁸ Dikurangi 1 hari karena itu tahun kabisat, yaitu dengan adanya tambahan 1 hari di bulan Februari mengakibatkan data setelah itu harus dikurangi 1 hari.



Gambar 34 : Hasil uji coba prediksi gerhana tahun 2020.

B. Uji Akurasi *Volvelle* Philippe De La Hire dalam Prediksi Waktu Gerhana

1. Uji Perbandingan Akurasi *Volvelle* Philippe De La Hire Model Awal dengan Model Pengembangan

Pada bagian pembahasan bab 3, kita bisa mengatakan kembali bahwa *Volvelle* Philippe de La Hire adalah instrumen yang didesain untuk memprediksi gerhana Matahari dan gerhana Bulan. Dengan menggunakan konsep rata-rata dari pergerakan Matahari dan Bulan, Philippe menampilkan

karyanya yang bisa dengan cepat dan mudah untuk mengetahui kapan dan gerhana jenis apa yang akan terjadi.⁵⁹

Adanya perbedaan dengan waktu yang ada di *Ephemeris*⁶⁰ atau data kontemporer sudah diakui dalam bukunya. Beberapa penelitian juga mengatakan hal yang sama, Lars Gislen menyebut instrumen Philippe bisa melenceng sampai 1 hari.⁶¹ Nicolas Bion yang juga disebut sebagai master instrumen astronomi asal Perancis dalam bukunya *De The Traite de la construction et des principaux usages des instrumens de mathematique* mengulas akurasi instrumen Philippe bisa eror sampai satu hari.⁶²

Ketika kita akan mengulas sisi akurasi instrumen Philippe, pada dasarnya sudah jelas bisa dilihat dari konsep kalender yang hanya menampilkan grid sampai tingkat hari. sedangkan jam bahkan menit yang sejatinya ingin kita dapatkan sebagaimana kebutuhan umat Islam dalam menanti ibadah

⁵⁹ Lars Gislén dan Chris Eade, Philippe De La Hire's Eighteenth Century Eclipse Predictor, *Journal of Astronomical History and Heritage*, (2016), h. 47.

⁶⁰ *Ephemeris* adalah hisab yang data-datanya sudah didasarkan pada peredaran matahari dan bulan setiap jam. Data yang berbentuk tabel tersebut merupakan data yang sudah di oleh sesuai dengan rumus matematika modern. Sehingga hasilnya pun akurat jika dibanding dengan hisab haqiqi lainnya.

⁶¹ Lars Gislen, Philippe, ...h.47.

⁶² Nicolas Bion, *The Traite de la construction et des principaux usages des instrumens de mathematique*, Paris : Pres La Rue Gille, 1752, h. 234.

salat gerhana tidak bisa kita temukan⁶³. Bion pun demikian ketika mendesain ulang instrumen Philippe hanya mempercantik sisi warna dan kerapihan garis.⁶⁴ Meski demikian, penulis tetap menampilkan hasil akurasi⁶⁵ prediksi gerhana Matahari dan Gerhana Bulan antara instrumen lama dengan instrumen model pengembangan sebagai penguatan akan apa yang pernah Philippe cantumkan dalam bukunya.

No	Tahun	Tahun Lunar (Divisi)	Tanggal Gerhana	Jenis Gerhana
1	1680	179 - 29 Februari	30 Maret	GMT ⁶⁶
			22 September	GMT
2	1681	1 - 18 Februari	4 Maret	GBP
			20 Maret	GMP
			29 Agustus	GBP
			12 September	GMP
3	1703	24 - 14 Juni	29 Juni	GBT
			14 Juli ⁶⁷	GMP
			8 Desember	GMP
			23 Desember	GBT

Tabel 10 : Hasil perhitungan prediksi gerhana dengan instrumen *Volvelle* lama

⁶³ Gerhana Matahari dan gerhana Bulan menjadi salah satu ruang ibadah bagi umat muslim.

⁶⁴ Nicolas Bion, *De Traite*,, h. 241.

⁶⁵ Akurasi sendiri adalah suatu kecermatan, ketelitian dan ketepatan yang diberikan oleh instrumen. Baca Pusat Bahasa Departemen Pendidikan Nasional, *Kamus Bahasa Indonesia*, Jakarta : Pusat Bahasa, 2008, h.32.

⁶⁶ Beberapa singkatan untuk jenis gerhana adalah GMT = Gerhana Matahari Total, GMP = Gerhana Matahari Parsial. Untuk GBT = Gerhana Bulan Total dan GBP = Gerhana Bulan Parsial.

⁶⁷ Bion menambahkan bahwa gerhana saat itu terjadi pada jam 03.00 pagi.

Dalam pandangan penulis, ada dua hal yang menjadikan akurasi instrumen ini sedikit kasar. Pertama, karena memang teori dari instrumen tersebut adalah mengandalkan pergerakan rata-rata Matahari dan Bulan, yaitu dengan menganggap jarak antara *New Moon* sebesar 29 hari 12 jam 44 menit. Kedua, karena memang *space* kalender Philippe hanya membuat grid sampai di skala hari dan itu pun mempunyai lebar yang kecil.⁶⁸

Keadaan ini bisa dilihat dari contoh perhitungan yang ada di bukunya *Tabulae Astronomicae* yang akhirnya penulis kembangkan dengan cara menambah lebar *space* kalender hingga satuan jam. Namun demikian dalam hal pergerakan rata-rata masih sama seperti Philippe yaitu 29,53056 hari. Hasil dari instrumen pengembangan bisa lebih jelas sebagai berikut :

No	Tahun	Lunasi ke-	Tanggal dan Jam Gerhana	Jenis Gerhana
1	1680 ⁶⁹	-3955,5	15 Maret jam 18.00	GBP
		-3949,5	8 September jam 23.00	GBP
		-3955	30 Maret jam 13.00	GMT
		-3949	23 September jam 07.00	GMT
		-3954,5	14 April jam 07.00	GBP
			08 Oktober jam 12.00	GBP ⁷⁰

⁶⁸ Lihat *Space* hari di BAB IV.

⁶⁹ Tahun 1680 adalah masuk kategori tahun kabisat, sehingga pembacaan pada instrumen harus dikurangi 1 hari setelah bulan februari.

⁷⁰ Gerhana ini terletak di area warning, sehingga tidak di anggap adanya gerhana.

2	1681	-3943,5	5 Maret jam 03.00	GBP
		-3937,5	29 Agustus jam 23.00	GBT
		-3943,5	19 Maret jam 21.00	GBT
		-3937	13 September jam 01.45	GMP
3	1703	-3673	17 Januari jam 11.30	GMT
		-3667,5	28 Juni jam 22.00	GBT
		-3667	13 Juli 16.00	GMP
		-3662	8 Desember jam 08.00	GMP
		-3661,5	23 Desember jam 02.00	GBT

Tabel 11 : Hasil perhitungan prediksi gerhana dengan *Volvelle* pengembangan.

Dari tiga contoh di atas, kita bisa amati bahwa di tahun 1680 dengan instrumen Philippe gerhana yang bisa dihitung hanya ada dua. Sedangkan dengan instrumen hasil pengembangan menampilkan 6 gerhana (4 gerhana Bulan dan dua gerhana Matahari). Tahun 1681, Philippe menampilkan gerhana sebanyak 4 gerhana (2 gerhana Bulan dan 2 gerhana Matahari), begitu juga pada instrumen baru. Tahun 1703, *Volvelle* Philippe menghasilkan 4 gerhana, 2 gerhana Bulan dan 2 gerhana Matahari, sedangkan instrumen hasil pengembangan menampilkan 5 gerhana dengan 3 gerhana Matahari dan 2 gerhana Bulan.

No	Tahun	Data Gerhana		
		Philippe	Model Pengembangan	Data NASA
1	1680	22 September	23 September jam 17.00	22 September
2	1681	4 Maret	5 Maret jam 03.00	4 Maret
		20 Maret	19 Maret jam 21.00	20 Maret
		12 September	13 September jam	12 September

			01.45	
		29 Juni	28 Juni jam 22.00	29 Juni
		14 Juli	13 Juli 16.00	14 Juli

Tabel 12 : Beberapa perbedaan tanggal antara Philippe, Model Pengembangan dan NASA.

Jika merunut pada data NASA, maka jumlah gerhana tahun 1680 sesuai dengan instrumen *Volvelle* pengembangan. Begitu juga untuk tahun 1703 yang mendekati jumlah kontemporer. Adapun di tahun 1681 antara *Volvelle* lama dengan pengembangan sama-sama sesuai.

Meski dari segi jumlah instrumen *Volvelle* hasil pengembangan lebih baik, tetapi dari segi tanggal bisa dikatakan *Volvelle* lama lebih bagus karena dari total 10 gerhana di instrumen *Volvelle* lama sesuai dengan data NASA. Sedangkan di instrumen baru terdapat 8 tanggal yang sesuai dari total 15 gerhana. Dalam hal ini, penulis sedikit mengklarifikasi bahwa antara teori Philippe yang menganggap jarak antara new moon adalah 29 hari 12 jam 44 menit dengan hasil yang diberikan adalah janggal secara kalkulasi. Di bawah ini penulis cantumkan data new moon menggunakan model rata-rata, artinya jarak antara new moon sama.

Karena Philippe menggunakan tahun lunar, maka penulis mengujinya dengan dua cara. Pertama, dengan menggunakan tahun lunar yaitu new moon pertama adalah 29 Februari jam 14 menit 24. Kedua, dengan menggunakan model pengembangan yaitu new moon januari sebagai permulaan.

Data gerhana versi NASA

No	Tahun	Tanggal	Jam	Jenis Gerhana
1	1680	15 Maret	06.42 TD	GB Penumbra
		30 Maret	10.32 TD	GMT
		13 April	23.18 TD	GB Penumbra
		08 September	17.35 TD	GB Penumbra
		22 September	19.06 TD	GMC
		08 Oktober	03.06 TD	GB Penumbra
2	1681	04 Maret	11.27 TD	GB Sebagian
		20 Maret	00.53 TD	GMH
		29 Agustus	03.26 TD	GB Sebagian
		12 September	02.33 TD	GMH
3	1703	3 Januari	06.58 TD	GBP
		17 Januari	11.24 TD	GMH
		29 Juni	01.13 TD	GBT
		14 Juli	02.37 TD	GMP
		8 Desember	15.41 TD	GMP
		23 Desember	06.30 TD	GBT

Tabel 13 : Data gerhana NASA

2. Uji Perbandingan Akurasi *Volvelle* Model Pengembangan dengan Data Gerhana Kontemporer

Uji akurasi yang dilakukan pada instrumen *Volvelle* pengembangan ini penulis bagi menjadi tiga aspek, yaitu akurasi nilai F, akurasi data tanggal dan jam serta akurasi jenis gerhana yang dihasilkan.

a. Uji Akurasi F

Piringan F menjadi inti pengembangan dalam instrumen *Volvelle* yang dibuat oleh Philippe yang sekaligus mengganti konsep divisi pada piringan tengahnya. Transformasi divisi ke nilai F ini mempunyai beberapa kelebihan. Pertama, dengan penggunaan nilai F maka fungsional instrumen akan lebih lama

digunakan daripada konsep divisi. Sebagaimana kita ketahui bahwa konsep divisi sejatinya adalah plot data new moon per tahun lunar yang disimbolkan dengan angka dari interval 1-179. Tentunya jika periode ini habis, maka otomatis harus membuat data tabel epoch dan angka-angka divisinya. Berbeda dengan konsep nilai F yang tanpa mengubah piringannya tersebut, kita hanya menambah tabel epoch saja.

Kelebihan kedua adalah konsep nilai F ini bisa digunakan untuk mengecek data-data gerhana yang terjadi di masa lampau, seperti masa Nabi, sahabat dan kerajaan-kerajaan Islam pada abad pertengahan. Dengan ketentuan harus menyediakan data tanggal new moon pertama tahun yang bersangkutan.

Oleh karena itu, nilai F ini harus diuji lebih lanjut dalam hal akurasi. Karena konsep nilai F yang dibuat juga berdasarkan persamaan aritmatika yang mengartikan bahwa jarak antara nilai F di satu new moon dengan berikutnya adalah konstan, sedangkan secara algoritma aslinya bisa saja ada sedikit yang berbeda.

Penulis menguji akurasi nilai F ini selama 1000 lunasi, yaitu dimulai dari tahun 2020 sampai sekitar tahun 2100 dihasilkan selisih terbesar antara nilai F aritmatika yang digunakan dalam instrumen dengan nilai F algoritma Jean Meeus adalah 5.73 detik dan terkecil adalah 0.1 detik. Selisih 0.1 detik adalah pada nomor k ke 251 yaitu tanggal 23 April 2020 dan selisih 5.73 detik pada lunasi ke 1251 yaitu tanggal 28 Februari 2101. Dengan demikian dari rentang 1000 lunasi,

ternyata selisih rata-rata nilai F antara konsep aritmatika dengan algoritma Jean Meeus hanya 00,01 detik.

Keadaan di atas masih dalam kalkulasi yang artinya bisa menggunakan excel. Adapun ketika praktek secara langsung maka penulis mencatat pembacaan nilai F dalam instrumen sebagai berikut :

No	Tahun	Bulan	Nilai F Kalkulasi	Selisih di Instrumen
1	1703 M	17 Januari	187,93983	Sama
		28 Juni	176,62763	Sama
		13 Juli	11,96289	2 Menit
		8 Desember	165,31544	Sama
		23 Desember	0,65070	1 Menit
2	2017 M	28 Januari	152,18683	Sama
		11 Februari	347,52208	Sama
		26 Februari	182,85733	1 Menit
		7 Agustus	171,54510	1 Menit
		22 Agustus	6,88035	1 Menit
3	2019 M	6 Januari	168,27888	Sama
		20 Januari	3,61414	Sama
		2 Juli	352,30190	1 Menit
		17 Juli	187,63715	6 Menit
		26 Desember	176,32491	Sama
4	2020 M	24 Januari	206,99541	Sama
		5 Juni	165,01267	Sama
		20 Juni	0,34792	1 Menit
		5 Juli	195,68318	1 Menit
		30 Nopember	349,03569	1 Menit
		14 Desember	184,37094	1 Menit
5	632 M	27 Januari	6,16917	Sama
		23 Juli	190,19241	1 Menit
		8 Juli	354,85714	2 Menit
		8 Desember	343,54510	1 Menit

Tabel 14 : Selisih nilai F instrumen dengan kalkulasi Jean Meeus.

Nilai selisih ini dalam hemat penulis adalah karena grid F yang digunakan dalam instrumen Volvelle

pengembangan memang hanya sampai 2 menit. Meski demikian, ada jarak yang kita bisa mengira bahwa nilai bisa terjadi di antara grid per 2 menit, sehingga penulis mengambilnya sebagai 1, 3, 5 atau kelipatannya.

b. Uji Akurasi Tanggal, Jam dan Jenis Gerhana

Secara prediksi, kemampuan instrumen untuk bisa mencapai tanggal sejatinya sudah bisa diterima. Namun dengan ketentuan bahwa ada-tidaknya gerhana memang sudah bisa dipastikan kebenarannya. Begitu juga Philippe yang hanya mencukupkan mengetahui sampai tingkat tanggal berapa gerhana akan terjadi.

Berbeda dengan tradisi umat Islam yang harus mengetahui tanggal dan jamnya. Hal ini karena keberadaan gerhana mengundang taklif yaitu anjuran salat gerhana, baik gerhana Matahari maupun gerhana Bulan. oleh karena itu, penulis mencoba mengukur akurasi instrumen Volvelle hasil pengembangan dengan data kontemporer yang dalam hal ini adalah data NASA. Hasil perbandingannya adalah sebagai berikut :

No	Tahun	Bulan	Tanggal dan Jam	Jenis Gerhana	Data Kontemporer	Selisih Jam
1	1703 M	17 Januari	11.30	GMT	11.24 TD ⁷¹	0 jam 1 menit
		28 Juni	22.00	GBT	29 Juni 01.13 TD	3 jam 5 menit

⁷¹ Untuk mendapatkan waktu UT, maka $TD - \Delta T$. Karena tahun 1703 M mempunyai ΔT sebesar 9 detik, maka $UT = 11.24 - 9 \text{ detik} = 11.23.51$. Baca Fred Espenak, *Thousand, ...* h.19.

		13 Juli	16.00	GMP	14 Juli 02.37 TD	10 jam 37 menit
		8 Desember	08.00	GMP	15.41 TD	7 jam 41 menit
		23 Desember	02.00	GBT	06.30 TD	4 jam 30 menit
2	2017 M	11 Februari	19.00	GBP	Jam 00.33	18 jam 27 menit
		26 Februari	13.00	GMT	Jam 14.58	1 jam 58 menit
		7 Agustus	23.00	GMP	Jam 18.11	4 jam 49 menit
		22 Agustus	17.00	GMP	21 Agst Jam 18.30	22 jam 30 menit
3	2019 M	6 Januari	01.28	GMP	Jam 01.28	Sama
		20 Januari	21.00	GBT	21 Jan jam 05.16	8 jam 16 menit
		2 Juli	08.00	GMT	Jam 19.16	11 jam 16 menit
		17 Juli	02.00	GBP	16 Juli Jam 21.38	4 jam 22 menit
		26 Desember	12.00	GMT	Jam 05.13	6 jam 47 menit
4	2020 M	5 Juni	19.00	GBP	Jam 19.12	0 jam 12 menit
		20 Juni	14.00	GMT	21 Juni jam 06.41	16 jam 41 menit
		5 Juli	08.00	GBP	Jam 04.44	3 jam

						16 menit
		30 Nopember	23.40	GBP	Jam 09.30	14 jam 10 menit
		14 Desember	18.00	GMT	Jam 16.17	1 Jam 43 Menit
5	632 M	27 Januari	06.38	GMT	07.45 TD	0 Jam 6 Menit
		22 Juli	11.00	GMP	23 Juli 00.35 TD	12 Jam 9 Menit
		8 Juli	17.00	GBT	7 Juli 15.22 TD ⁷²	21 Jam 8 Menit
		17 Desember	03.00	GMP	09.23 TD	5 Jam 42 Menit

Tabel 15 : Selisih Tanggal dan Jam antara Instrumen dengan data kontemporer Jean Meeus.

Dari tabel ini kita akan mendapati keterangan tentang selisih bahwa selisih antara instrumen *Volvelle* pengembangan dengan masih konsep rata-rata mempunyai selisih terkecil sama. hal ini adalah keuntungan karena terletak pada awal tahun. Ada juga yang selisih 0 jam 1 menit, 0 jam 6 menit dan 0 jam 12 menit. Sedangkan selisih terbesar adalah di antaranya 22 jam 30 menit, 18 jam 27 menit dan 16 jam 41 menit. Selisih ini bisa dikatakan lebih baik daripada instrumen lama yang tidak mencantumkan jamnya, hanya saja mengatakan selisih bisa satu hari. Sedangkan dalam instrumen *Volvelle* hasil pengembangan ini belum ada yang mencapai 1 hari.

⁷² Delata_T tahun ini adalah 4436 detik atau 1 jam 14 menit, sehingga waktu UT-nya adalah 7 Juli 14.8 UT. Lihat <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/5MCSE/5MCSE-Maps-07.pdf> diakses pada 6 Juli jam 15.09 WIB.

Selisih ini bisa dikatakan wajar karena beberapa hal. *Pertama*, konsep rata-rata yang digunakan dasar dari instrumen ini adalah 29 hari 12 jam 44 menit. *Kedua*, karena secara detail jarak antara new moon ke new moon berikutnya dengan algoritma kontemporer sendiri mencatat variasi jarak sebagai berikut :

Dari <i>New Moon</i>	Ke <i>New Moon</i>	Durasi
25 Juni 1903	24 Juli 1903	29 Hari 6 Jam 35 Menit
6 Juni 2035	5 Juli 2035	29 Hari 6 Jam 39 Menit
16 Juni 2053	15 Juli 2053	29 Hari 6 Jam 35 Menit
27 Juni 2071	27 Juli 2071	29 Hari 6 Jam 36 Menit
14 Desember 1955	13 Januari 1956	29 Hari 19 Jam 54 Menit
24 Desember 1973	23 Januari 1974	29 Hari 19 Jam 55 Menit

Tabel 16 : Jarak terdekat dan terjauh antara *New Moon* satu dengan *New Moon* berikutnya⁷³

Kita bisa melihat bahwa Jean Meeus mencatat jarak terpendek antara New Moon adalah 29 hari 6 jam 35 menit, sedangkan jarak terpanjang mencapai 29 hari 19 jam 55 menit. Ini artinya variasi jarak antara new moon satu dan berikutnya berada di interval 29 hari 6 jam 35 menit – 29 hari 19 jam 55 menit. Keadaan ini tentunya sangat rumit apabila konsep rata-rata yang diterapkan instrumen ingin mendekati nilai berdasarkan konsep algoritma modern. Kita bisa ambil contoh 1 tahun variasi jarak antara new moon, yaitu tahun 2002 sebagai berikut :

No	Bulan	New Moon			Selisih New Moon		
		Tgl	Jam	Menit	Tgl	Jam	Menit
1	Januari	13	13	29	29	18	12

⁷³ Jean Meeus, *Astronomical*, ...h.324.

2	Februari	12	7	41	29	18	22
3	Maret	14	2	3	29	17	18
4	April	12	19	21	29	15	24
5	Mei	12	10	45	29	13	2
6	Juni	10	23	47	29	10	39
7	Juli	10	10	26	29	8	49
8	Agustus	8	19	15	29	7	55
9	September	7	3	10	29	8	7
10	Oktober	6	11	17	29	9	17
11	Nopember	4	20	34	29	11	0
12	Desember	4	7	34			

Tabel 17 : Contoh selisih antara New Moon pada tahun 2002.⁷⁴

Variasi jarak antara new moon pada tahun 2002 terletak di antara 29 hari 7 jam 55 menit hingga 29 hari 18 jam 22 menit. Dengan keadaan ini tingkat akurasi yang dihasilkan instrumen *Volvelle Philippe* maupun pengembangan masih dalam tingkat yang kasar yaitu bisa mencapai 1 hari (untuk instrumen *Philippe*), dan 22 jam untuk hasil pengembangan.

Di samping itu, transformasi konsep *divisi* ke bentuk *nilai F* memberikan hasil yang bisa mendekati algoritma *Jean Meeus* yakni dengan selisih terbesar 6 menit. Sedangkan secara kalkulasi hanya berkisar di 5,73 detik dalam waktu 1000 lunasi.

Kelemahan dalam akurasi tanggal yang diberikan oleh instrumen hemat penulis bisa diperhalus melalui 4 tabel koreksi, yaitu koreksi

⁷⁴ Data new moon ini bisa kita ambil di buku *Rinto Anugraha, Mekanika, ...* h. 176-177. Kemudian diolah dengan bantuan excel.

JDE, koreksi anomaly Bulan (M'), koreksi anomaly Mathari (M), dan koreksi dua kali anomaly Bulan ($2M'$). Koreksi-koreksi ini sebagaimana tercantum dalam algoritma Jean Meeus sejatinya memiliki angka konstanta yang sangat banyak, sehingga penulis meringkasnya agar lebih sederhana.

- **Koreksi pertama adalah JDE**

Koreksi ini perlu ditambahkan dengan alasan karena data epoch yang digunakan dalam instrumen *Volvelle* inovasi adalah data pada new moon sebenarnya, sehingga untuk penambahan/pengurangan koreksi yang lain (M , M' dan $2M'$) bisa selaras dengan konsep epoch J2000. Hasil jam setelah mengalami koreksi JDE melalui persamaan (4) sebagai berikut :

No	Tahun	Tgl, Bulan	JAM I	Tgl, Bulan	Koreksi JDE	JAM II
1	1703 M	17 Januari	11:30	17 Januari	+06:24	17:54
		28 Juni	22:00	29 Juni	+06:00	04:00
		13 Juli	16:00	13 Juli	+06:00	22:00
		8 Desember	08:00	8 Desember	+06:00	14:00
		23 Desember	02:00	23 Desember	+06:00	08:00
2	2017 M	11 Februari	19:00	11 Februari	-11:00	08:00
		26 Februari	13:00	26 Februari	-11:00	02:00
		7 Agustus	23:00	7 Agustus	-11:00	12:00
		22 Agustus	17:00	22 Agustus	-11:00	06:00
3	2019 M	6 Januari	01:28	6 Januari	+05:23	06:51
		20 Januari	21:00	21 Januari	+04:00	01:00
		2 Juli	08:00	2 Juli	+03:00	11:00
		17 Juli	02:00	17 Juli	+04:00	06:00
		26 Desember	12:00	26 Desember	+04:00	16:00
4	2020 M	5 Juni	19:00	5 Juni	-17:00	02:00
		20 Juni	14:00	20 Juni	+06:24	20:00
		5 Juli	08:00	5 Juli	+06:24	14:00

		30 Nopember	23:40	30 Nopember	-17:40	06:00
		14 Desember	18:00	15Desember	+07:00	01:00

Tabel 18 : Koreksi JDE

▪ **Hasil perhitungan dengan koreksi anomali Bulan (M')**

Koreksi anomaly Bulan (M') ini bisa memberi perubahan besar pada jam rata-rata. Hal ini karena melihat konstanta yang ada di algoritma Jean Meeus sangat tinggi yaitu sebesar -0.4072 atau setara dengan 9,6 jam. Melalui persamaan (6), hasil M' tersebut di sinuskan dengan konstanta koreksi terbesar yaitu $(-0.4072 \times \sin M')$. Hasil jam setelah dikoreksi oleh anomaly Bulan sebagaimana berikut :

No	Tahun	Tgl, Bulan	JAM II	Nilai M'	Nilai Koreksi (-0.4072 x sin M')	Jam III (Setelah Koreksi)
1	1703 M	17 Januari	17:54	56°03'20"	-08:06:26	09:47:34
		29 Juni	04:00	18°02'54"	-03:01:12	00:58:48
		13 Juli	22:00	210°57'24"	05:01:37	14 Juli 03:01:37
		8 Desember	14:00	340°02'28"	03:20:09	17:20:09
		23 Desember	08:00	172°56'59"	-01:11:47	06:48:13
2	2017 M	11 Februari	08:00	81°50'47"	-09:38:56	10 Februari 22:21:04
		26 Februari	02:00	274°45'18"	09:44:21	11:44:21
		7 Agustus	12:00	236°44'53"	08:09:05	20:09:05
		22 Agustus	06:00	69°39'23"	-09:09:48	21 Agust 20:50:12
3	2019 M	6 Januari	06:51	148°32'40"	-05:05:59	01:45:01
		21 Januari	01:00	341°27'11"	03:06:02	04:06:02
		2 Juli	11:00	303°26'46"	08:09:16	19:09:16
		17 Juli	06:00	136°21'16"	-06:43:39	23:16:21
		26 Desember	16:00	98°20'52"	-09:40:09	06:19:51
4	2020 M	5 Juni	02:00	60°20'27"	-08:28:13	17:31:47
		20 Juni	20:00	253°14'58"	09:21:29	21 Juni 05:21:29
		5 Juli	14:00	86°09'28"	-09:43:32	04:16:28

		30 Nopember	06:00	215°14'33"	05:37:29	11:37:29
		15 Desember	01:00	48°09'04"	-07:16:47	14 Desember 17:43:13

Tabel 19 : Hasil jam setelah koreksi Anomali Bulan (M')

▪ **Hasil perhitungan dengan koreksi anomali Matahari (M)**

Koreksi anomaly Matahari (M) tergolong kecil dibandingkan anomaly Bulan. Anomali Matahari ini hanya memiliki konstanta koreksi terbesar 0,17241 x 0,0167. Melalui persamaan (5), hasil M tersebut di sinuskan dengan konstanta koreksi terbesar yaitu (0,17241 x 0,0167 x sin M). Hasil jam setelah dikoreksi oleh anomaly Matahari sebagaimana berikut

No	Tahun	Tgl, Bulan	Jam III	Nilai M	Nilai Koreksi	Jam IV (Setelah Koreksi)
1	1703 M	17 Januari	09:47:34	18°34'41"	01:19:41	11:07:15
		29 Juni	00:58:48	178°39'27"	00:05:53	01:04:41
		14 Juli	03:01:37	193°12'37"	-00:57:09	02:4:28
		8 Desember	17:20:09	338°44'13"	-01:30:42	15:49:27
		23 Desember	06:48:13	353°17'23"	-00:29:20	06:18:53
2	2017 M	10 Februari	22:21:04	38°20'11"	02:34:28	11 Februari 00:55:32
		26 Februari	11:44:21	52°53'20"	03:17:54	15:02:15
		7 Agustus	20:09:05	212°58'07"	-02:15:31	17:53:34
		21 Agustus	20:50:12	227°31'16"	-03:03:02	17:47:10
3	2019 M	6 Januari	01:45:01	02°18'44"	00:10:01	01:55:02
		21 Januari	04:06:02	16°51'54"	01:12:15	05:18:17
		2 Juli	19:09:16	176°56'40"	00:13:14	19:22:30
		17 Juli	23:16:21	191°29'49"	-00:49:38	22:26:43
		26 Desember	06:19:51	351°34'35"	-00:36:21	05:43:30
4	2020 M	5 Juni	17:31:47	151°39'21"	01:58:14	19:30:01
		21 Juni	05:21:29	166°12'31"	00:59:09	06:20:38
		5 Juli	04:16:28	180°45'41"	-00:03:19	04:13:09
		30 Nopember	11:37:29	326°17'17"	-02:18:13	09:19:16
		14 Desember	17:43:13	340°50'27"	-01:21:26	16:21:47

Tabel 20 : Hasil jam setelah koreksi Anomali Matahari (M)

▪ **Hasil perhitungan dengan koreksi 2xM'**

Koreksi dua kali anomaly Bulan (2M') ini juga bisa memberi tambahan di skala menit. Hal ini karena melihat konstanta yang ada di algoritma Jean Meeus sangat tinggi yaitu sebesar 0,01608 atau setara dengan 23 menitan. Melalui persamaan (6), hasil 2M' tersebut di sinuskan dengan konstanta koreksi terbesar yaitu (0.01608 x sin 2M'). Hasil jam setelah dikoreksi oleh dua kali anomaly Bulan sebagaimana berikut :

No	Tahun	Tgl, Bulan	Jam IV	Nilai 2M'	Nilai Koreksi	Jam V (Setelah Koreksi)
1	1703 M	17 Januari	11:07:15	112°06'39"	00:21:27	11:28:43
		29 Juni	01:04:41	36°05'48"	00:13:42	01:18:23
		14 Juli	02:04:28	61°54'49"	00:20:26	02:24:54
		8 Desember	15:49:27	320°04'56"	-00:14:52	15:34:35
		23 Desember	06:18:53	345°53'57"	-00:05:40	06:13:13
2	2017 M	11 Februari	00:55:32	163°41'34"	00:06:32	01:02:04
		26 Februari	15:02:15	189°30'35"	-00:03:50	14:58:25
		7 Agustus	17:53:34	113°29'46"	00:21:19	18:14:53
		21 Agustus	17:47:10	139°18'47"	00:15:06	18:02:16
3	2019 M	6 Januari	01:55:02	297°05'20"	-00:20:37	01:34:25
		21 Januari	05:18:17	322°54'21"	-00:14:01	05:04:16
		2 Juli	19:22:30	246°53'32"	-00:21:18	19:01:12
		17 Juli	22:26:43	272°42'33"	-00:23:13	22:03:30
		26 Desember	05:43:30	196°41'44"	-00:06:39	05:36:51
4	2020 M	5 Juni	19:30:01	120°40'55"	00:19:59	19:50
		21 Juni	06:20:38	146°29'55"	00:12:47	06:33:25
		5 Juli	04:13:09	172°18'56"	00:03:06	04:16:15
		30 Nopember	09:19:16	70°29'06"	00:21:54	09:41:10
		14 Desember	16:21:47	96°18'07"	00:23:01	16:44:48

Tabel 21 : Hasil jam setelah koreksi dua kali Anomali Bulan (2M')

Dengan membandingkan data jam NASA, maka bisa diketahui bahwa penambahan ataupun pengurangan koreksi anomali Bulan, anomali Matahari dan JDE mampu memberi pengaruh besar terhadap selisih yang diberikan. Tercatat bahwa sebelum dikoreksi, data jam

yang ditampilkan instrumen memiliki interval selisih antara 0 jam – 22 jam 30 menit. Namun demikian, setelah adanya koreksi interval selisih yang ditampilkan hanya berkisar antara 0 menit – 29 menit. Ini artinya data yang diberikan sudah mampu dijadikan pedoman untuk mengetahui waktu gerhana gua keperluan ibadah. Hanya saja koreksi ini masih berupa tabel-tabel yang mau tidak mau tidak bisa dilepaskan dari instrumen *Volvelle* pengembangan ini. Berikut akumulasi selisih data terkoreksi dengan data jam NASA.

No	Tahun	Tgl, Bulan	Jam V	Jam NASA	Selisih
1	1703 M	17 Januari	11:29	11:24 TD ⁷⁵	0 jam 5 menit
		29 Juni	01:18	29 Juni 01:13 TD	0 jam 5 menit
		14 Juli	02:25	14 Juli 02:37 TD	0 jam 12 menit
		8 Desember	15:35	15:41 TD	0 jam 6 menit
		23 Desember	06:13	06:30 TD	0 jam 17menit
2	2017 M	10 Februari	01:02	Jam 00:33	0 jam 29 menit
		26 Februari	14:58	Jam 14:58	Sama
		7 Agustus	18:15	Jam 18:11	0 jam 4 menit
		21 Agustus	18:02	21 Agst Jam 18:30	0 jam 28 menit
3	2019 M	6 Januari	01:34	Jam 01:28	0 jam 6 menit
		21 Januari	05:04	21 Jan jam 05:16	0 jam 12menit
		2 Juli	19:01	Jam 19:16	0 jam 15 menit
		17 Juli	22:04	16 Juli Jam 21:38	0 jam 26 menit
		26 Desember	05:37	Jam 05:13	0 jam 24 menit
4	2020 M	5 Juni	19:50	Jam 19:12	0 jam 12 menit
		21 Juni	06:33	21 Juni jam 06:41	0 jam 8 menit
		5 Juli	04:16	Jam 04:44	0 jam 5 menit
		30 Nopember	09:41	Jam 09:30	0 jam 28 menit
		14 Desember	16:45	Jam 16:17	0 Jam 28 Menit

Tabel 22 : Hasil akhir jam gerhana dengan empat koreksi

⁷⁵Untukmendapatkanwaktu UT, maka TD – Delta_T. Karenatahun 1703 M mempunyaiDelta_Tsebesar 9 detik, maka UT = 11.24 – 9 detik = 11.23.51. Baca Fred Espenak, *Thousand, ...* h.19.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

1. Pengembangan instrumen *Volvelle* Philippe De La Hire meliputi transformasi algoritma, transformasi piringan *divisi* menjadi piringan F , membuat tabel epoch dan penambahan piringan hari dan pasaran membantu untuk mengetahui terjadinya gerhana tidak harus diprediksi satu-satu tiap *new moon*, melainkan bisa dinarasikan melalui bentuk instrumen yang hanya cukup mengerti data di *new moon* awal tahun. Perubahan algoritma prediksi yang digunakan oleh Phillippe dengan model modern yang ada di Jean Meeus mampu melahirkan tabel epoch yang bisa digunakan selama 200 tahun, yaitu dari tahun 1900-2100. Transformasi piringan *divisi* yang ada di piringan kedua (tengah) dirubah dengan konsep *Piringan F* mampu memberikan ketelitian sangat tinggi, yaitu hanya selisih 5,73 detik busur dari 1000 lunasi. Nilai F ini bisa dijadikan pedoman untuk membuat koreksi-koreksi guna memperhalus data tanggal dan jam gerhana yang masih kasar. Pengembangan berupa penambahan piringan hari dan pasaran mampu dijadikan kalender sebagai pedoman atau pengingat untuk melakukan atau merencanakan kegiatan. Tentunya dengan desain yang lebih bagus dan segar menjadikan instrumen *Volvelle* pengembangan ini bisa dinikmati oleh pegiat falak maupun orang umum.

Meski demikian, itu adalah hasil kalkulasi yang jika diterapkan dalam pembacaan instrumen dengan skala grid hanya di 6 menit, maka pembacaan setiap orang bisa berbeda. Hanya saja dari uji coba yang ada selisih bisa mencapai 6 menit.

2. Konsep rata-rata dengan menganggap pergerakan Matahari dan Bulan menjadikan angka 29 hari 12 jam 44 menit ini sebagai inti dari instrumen *Volvelle* Philippe De La Hire yang juga penulis pertahankan. Adanya perbedaan data tanggal dan jam gerhana adalah hal yang sangat pasti karena sebagaimana diketahui bahwa gerhana yang diterjadi di phase *new moon* memiliki interval jarak beragam dari 29 hari 6 jam 35 menit hingga 29 hari 19 jam 56 menit. Namun demikian, dengan konsep Nilai F maka tingkat akurasi ada dan tidak adanya gerhana sudah sangat membantu. Karena secara prediksi dengan Nilai F, hasil pengembangan ini mampu menjawab dengan baik dengan apa yang ada di data kontemporer. Adanya empat koreksi anomaly Matahari, Bulan dan JDE juga mempengaruhi data tanggal dan jam yang lebih bagus dengan selisih kisaran 0 – 29 menit.

B. Saran

1. Ketika dulu umat islam mampu mengadopsi ilmu astronomi dari peradaban Yunani dan India hingga kemudian mengembangkannya dalam beragam bentuk, tabel, karya tulis dan instrumen, maka mulailah untuk membangkitkannya kemabli. Sebagaimana instrumen *Volvelle* pengembangan ini adalah karya orang Katolik dari Perancis abad ke-17 yang mempunyai nilai tinggi, meski masih dengan akurasi kasar.

2. *Volvelle Philippe de La Hire* sebagai instrumen prediksi gerhana abad ke-18 sudah seharusnya diangkat dan dikembangkan sebagai kekayaan kajian yang ada di lingkungan Ilmu Falak di UIN Walisongo. Karena Islam telah memberi tauladan bagaimana instrumen satu bisa melahirkan instrumen-instrumen baru yang lebih bagus.
3. Instrumen tidak hanya sebagai alat bantu mengambil data untuk keperluan ibadah salat, melainkan bisa menjadi alat bantu untuk lebih mengenal alam semesta yang luas.
4. Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik lagi, penulis merekomendasikan adanya penambahan kurva koreksi. Hal ini karena koreksi-koreksi yang ada bisa membantu meminimalisir selisih dalam instrumen ini.

C. Penutup

Puji syukur pada Allah SWT, salawat dan salam semoga selalu tercurah limpahkan kekasih kita Muhammad SAW, penelitian ini bisa selesai dengan hasil yang lumayan memuaskan. Pengalaman dalam penelitian pengembangan ini setidaknya membuat penulis sadar bahwa instrumen adalah simbol agung yang mampu mengangkat sebuah peradaban bangsa. Meski dengan kekurangan yang masih banyak, penulis sudah mencoba sekuat tenaga agar hasil ini bisa memberi manfaat untuk orang banyak. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat dinanti agar hasil ini bisa dikembangkan lebih baik dan manfaat.

DAFTAR PUSTAKA

Jurnal :

- Brian, John, "Stonehenge : Glacial Transport of Bluestones Now Confirmed?" (PDF), (26 February 2011).
- Crupi, Gianfranco, "Mirabili Visioni": From Movable Books to Movable Texts", *Italian Journal of Library, Archives, and Information Science (JLIS.it)*, Vol. 7, n. 1 (January 2016).
- Ellis, Timothy J & Yair Levy,dkk, "Towards a Guide for Novice Researchers on Research Methodology : Review and Proposed Methods", *Issue s in Informing Science and Information Technology*, Volume 9, (2009).
- Gingerich, Owen, "Apianus's Astronomicum Caesareum And Its Leipzig Facsimile", *Journal for The History of Astronomical*, Vol 02, (1971).
- Gislén, Lars dan Chris Eade, "A Lunar Eclipse Volvelle In Petrus Apianus' Astronomicum Caesareum", *Journal of Astronomical History and Heritage*, 19(03), 2016.
- _____, "Apianus' Latitude Volvelles – How Were They Made?", *Journal of Astronomical History and Heritage*, 20(1), (2017).
- _____, "Philippe De La Hire's Eighteenth Century Eclipse Predictor", *Journal of Astronomical History and Heritage*, (2016).
- Kanas, Nick, "Volvelles! Early Paper Astronomical Computers", *Mercury*, Vol. 34, no. 2, (2005).
- Price, Derek de Solla, Gears from the Greeks. The Antikythera Mechanism: A Calendar Computer from ca. 80 B. C, *Transactions of the American Philosophical Society*, New Series, Vol. 64, No. 7 (1974).

Sharma, Virendra Nath, "Zij-I Muhammad Shahi and The Tables of De La Hire", *India Journal of History of Science*, 25, (1990).

Zazkis, Rina and Peter Liljedahl, "Arithmetic, Sequence as A Bridge Between Conceptual Fields", *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, Januari, (2002).

Buku :

A. Kadir, *Formula Baru Ilmu Falak*, Jakarta : AMZAH, 2012.

Admiranto, A. Gunawan, *Eksplorasi Tata Surya*, Bandung : Mizan, 2017.

_____, *Menjelajahi Tata Surya*, Yogyakarta : Kanisius, 2009.

Aimi, Antonio; De Pasquale, Nicolino (2005), *Andean Calculators.pdf*

Akiyama, Toshiyuki, *Islamic Perspectives on Science and Technology*, Japan : The Institute of Middle Eastern Studies International University of Japan, 1988.

Akker, Jan Van Der, *Design Approaches and Tools in Education and Training*, USA : Kluwer Academic Publishers, 1999.

al-Asqalani, Ibnu Hajar, *Fathul Bāri*, Jakarta : Pustaka Azzam, 2008.

Anugraha, Rinto, *Mekanika Benda Langit*, Yogyakarta : FMIPA-UGM, 2012.

Ariasti, Adriana Wisni, Fajar Dirghantara, Hakim Luthfi Malasan, *Perjalanan Mengenal Astronomi*, Bandung : ITB, 1995.

Arny, Thomas and Stephen Ewing, *Explorations : An Introduction to Astronomy*, New York : McGraw-Hill, 2014.

Ayres, Frank dan Philip A Schmidt, *Matematika Universitas Edisi Ketiga*, terj. Alit bondan, Jakarta : Erlangga, 2004.

Azhari, Susiknan, *Ensiklopedi Hisab Rukyat*, Yogyakarta : Pustaka Pelajar, 2012.

_____, *Ilmu Falak Perjumpaan Khazanah Islam dan Sains Modern*, Yogyakarta : Suara Muhammadiyah, 2011.

Badan Hisab dan Rukyat Dep. Agama.

Barlian, Tatang, *Jagad Raya Hologram vs Konsep Takdir*, Jakarta : Dapur Buku, t.th.

Bird, John, *Matematika Dasar : Teori dan Aplikasi Praktis*, Jakarta : Erlangga, 2004.

Bion, Nicolas, *The Traite de la construction et des principaux usages des instrumens de mathematique*, Paris : Pres La Rue Gille, 1752.

Brahe, Tycho, *Astronomiae Instauratae Mechanica*, Noribergae : Apud Levinvn, 1598.

al-Bukhary, Abi Abdillah Muhammad ibn Ismail, *Matnu Masykul al-Bukhary*, Beirut : Dar al-Fikr, Jilid I, 1994.

Charette, François, *Mathematical Instrumentation In Fourteenth-Century Egypt And Syriah*, Boston : Brill, 2003.

E.S. Kennedy, *The Planetary Equatorium of Jamshid Ghiyath al-Din Al-Kashi*, Princeton : Princeton University Press, 1960.

Espenak, Fred, *Thousand Year Canon of Solar Eclipses 1501 to 2500*, USA : Astropixels, 2017.

Fathullah, Ahmad Ghozali Muhammad, *Bughyah al-Rafiq*, Madura : Lafal, t.t.

_____, *Faiḍ al-Karīm ar-Rauf*, Madura : Lafal, cet II, 1422 H.

- Gunergun, Feza and Dhruv Raina, *Science Between Europe and Asia*, London : Springer, 2011.
- Hadi, Sutrisno, *Metodologi Riset*, Yogyakarta : Pustaka Pelajar, 2015.
- Hambali, Slamet, *Ilmu Falak 1 : Penentuan Awal Waktu Shalat & Arah Kiblat Seluruh Dunia*, Semarang : Program Pascasarjana IAIN Walisongo, 2011.
- Harun, M. Yusuf, *Pengantar Ilmu Falak*, Banda Aceh : Yayasan Pena, 2008.
- Hockey, Thomas, *The Biographical Encyclopedia of Astronomers*, New York : Spinger, 2007.
- Izzuddin, Ahmad, *Fiqih Hisab Rukyah*, t.t : Erlangga, 2007.
- _____, *Ilmu Falak Praktis*, Semarang : PT. Pustaka Rizki Putra, 2012.
- Jauhari, Syaikh Thonthowi, *al-Jawahir fi Tafsir al-Qur'an al-Karim*, Juz 6, Mesir : Mustafa al-Bab al-Halbi wa Wiladah, 1346.
- Julian, Stubbe, *Artikulating Novelty in Science and Art : The Comparative Technography of a Robotic Hand and a Media Art Installation*, London : Springer, 2017.
- Kementerian Agama RI, *Al-Qur'an dan Tafsirnya*, Jakarta : KEMENAG RI, 2012.
- Kh. U. Sadykov, *Abu Raihan Al-Biruni dan Karyanya dalam Astronomi dan Geografi Matematika*, Jakarta : Suara Bebas, 2007.
- Khairunnisa, Afidah, *Matematika Dasar*, Jakarta : Rajawali Press, 2014.
- Khazin, Muhyiddin, *Kamus Ilmu Falak*, Yogyakarta : Buana Pustaka, 2005.

- _____, *Ilmu Falak dalam Teori dan Praktik*, Yogyakarta : Buana Pustaka, t.t.
- Kurrer, Karl-Eugen, *The History of the Theory of Structures*, Germany : Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische, 2008.
- La Hire, Philippe De, *Tabulae Astronomicae Ludovici Magni Iussu Et Munificentia Exaratae Et In Lucem Editae*, Paris : ETH-Bibliothek Zurich, 1727.
- Littmann, Mark, Fred Espenak, and Ken Willcox, *Totality Eclipse of The Sun*, New York : Oxford University Press, Edisi 3, 2008.
- M. Bion, *The Construction and Principal Uses of Mathematical Instruments*, Edmund Stone, Terj. London : H.W, M.Dcc.Xxiil.
- Marpaung, Watni, *Pengantar Ilmu Falak*, Jakarta : Prenadamedia Group, cet I, 2015.
- Maskufa, *Ilmu Falaq*, Jakarta : Gaung Persada Press, 2009.
- Meeus, Jean, *Astronomical Algorithms*, Virginia: Willman Bell. Inc., 1991.
- Montenbruck, Oliver, dkk., *Astronomy On The Personal Computer*, Translated Dr. Storm Dunlop, Berlin : Springer-Verlag, 1999.
- Mottelay, Paul Fleury, *Bibliographical History of Electricity & Magnetism*, London : Charles Griffin & Company Limited, 1922.
- Munawwir, Ahmad Warson, *Al-Munawwir Kamus Arab-Indonesia*, Surabaya : Pustaka Progressif, cet XIV, 1997.
- Nata, Abuddin, *Metodologi Studi Islam*, Jakarta : PT. Raja Grafindo Persda, 2006.

- Pingree, David, *The Drkpaksasarani : A Sanskrit Version of De La Hire's Tabulae Astronomicae*, Netherlands : IAU, 1998.
- Pusat Bahasa Departemen Pendidikan Nasional, *Kamus Bahasa Indonesia*, Jakarta : Pusat Bahasa, 2008.
- Richey & Rita C, "Developmental Research: The Definition and Scope", *ERIC* , (1994).
- Rida, Muhammad Rasyid, dkk., *Hisab Bulan Kamariyah: Tinjauan Syar' I Tentang Penetapan Awal Ramadhan, Syawal, dan Zulhijah*, Yogyakarta : Suara Muhammadiyah, 2013.
- Setyanto, Hendro, *Membaca Langit*, Jakarta : Al Ghuraba, 2008.
- Sezgin, Fuat, *Science and Technology in Islam*, Vol 1, Frankfurt : Institute for The History of Arabic-Islamic Science, 2010.
- Syarif, Muh. Rasywan, *Fiqh Astronomi Gerhana Matahari*, Tesis, Semarang : Program Pasca Sarjana UIN Walisongo, 2012.
- Tim Perumus, *Panduan Penulisan Karya Tulis Ilmiah*, Semarang : Pascasarjana UIN Walisongo, 2017.
- Tjasyono, Bayong, *Ilmu KeBumian dan Antariksa*, Bandung : PT Remaja Rosdakarya, 2013.
- SIR, Zbynek, *Les sections coniques chez Philippe de La Hire*, These en co-tutelle, Paris, 2002.
- Smith, P.Duffet, *Practical Astronomy with Your Calculator*, Cambridge : Cambridge University Press, 1979.
- Sugondo, Dendy, *Kamus Bahasa Indonesia*, Jakarta : Pusat Bahasa, 2008.
- Yunus, Mahmud, *Kamus Arab – Indonesia*, Jakarta : PT. Hidakarya Agung, cet VIII, 1990.

Yusuf, Muhammad Ibn Ahmad Ibn, *Mafatih al-Ulum lil-Khawarizmi*, Beirut : Dar al-Kitab al-Arabi, 1989.

Wawancara :

Wawancara dengan Rinto Anugraha di kantor Jurusan Fisika FMIPA UGM pada tanggal 28 Desember 2016 jam 15.30 WIB.

Website :

Anugraha, Rinto, *Seminar dan Observasi Gerhana Bulan Total 10 Desember 2011*, Semarang : Masjid Agung Jawa Tengah.

Faizah, Ayu Nurul, *Gerhana Pada Masa Nabi Muhammad SAW (Studi Analisis Gerhana Bulan Periode Madinah Perspektif Astronomi)*, Tesis : Pascasarjana UIN Walisongo, 2015.

<http://eclipsewise.com/solar/SEprime/1601-1700/SE1684Jan16Aprime.html> diakses pada 30 Juni 2019 jam 20.40 WIB.

<http://www.infoastronomy.org/2016/05/nasa-rilis-jadwal-gerhana-matahari-dan-bulan-untuk-1000-tahun.html> diakses pada 22 Februari 2017 Jam 03.07 WIB.

<http://www.thep.lu.se/~larsg/EclipsePredictor.pdf>.

http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Biographies/La_Hire.html

http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Biographies/La_Hire.html

<https://eclipse.gsfc.nasa.gov/5MCSE/5MCSE-Maps-07.pdf> diakses pada 6 Juli jam 15.09 WIB.

https://en.wikipedia.org/wiki/Ibn_al-Akfani diakses pada 26 Juni 2019 jam 10.20 WIB.

https://en.wikipedia.org/wiki/Nicolas_Poussin diakses pada 13 Juni 2019 pukul 23.22 WIB.

https://id.wikipedia.org/wiki/Bangsa_Portugis diakses pada Senin, 10 Desember 2018 jam 9.57 WIB.

<https://www.vocabulary.com/dictionary/bourgeois> diakses pada 13 Juni 2019 pukul 23.29 WIB.

LAMPIRAN - LAMPIRAN

Lampiran 1 : Garis Penyusun Tanggal dan Jam Kalender Spiral

Tgl	Sudut Aritmatik	Sudut Penerapan	Panjang Garis 1	Panjang Garis 2	Panjang Garis 3
1	2,0772	2,0772	14,381	14,781	15,281
2	4,1544	4,1544	14,38675	14,78675	15,28675
3	6,2316	6,2316	14,3925	14,7925	15,2925
4	8,3088	8,3088	14,39825	14,79825	15,29825
5	10,3860	10,3860	14,404	14,804	15,304
6	12,4632	12,4632	14,40975	14,80975	15,30975
7	14,5404	14,5404	14,4155	14,8155	15,3155
8	16,6176	16,6176	14,42125	14,82125	15,32125
9	18,6948	18,6948	14,427	14,827	15,327
10	20,7720	20,7720	14,43275	14,83275	15,33275
11	22,8492	22,8492	14,4385	14,8385	15,3385
12	24,9265	24,9265	14,44425	14,84425	15,34425
13	27,0037	27,0037	14,45	14,85	15,35
14	29,0809	29,0809	14,45575	14,85575	15,35575
15	31,1581	31,1581	14,4615	14,8615	15,3615
16	33,2353	33,2353	14,46725	14,86725	15,36725
17	35,3125	35,3125	14,473	14,873	15,373
18	37,3897	37,3897	14,47875	14,87875	15,37875
19	39,4669	39,4669	14,4845	14,8845	15,3845
20	41,5441	41,5441	14,49025	14,89025	15,39025
21	43,6213	43,6213	14,496	14,896	15,396
22	45,6985	45,6985	14,50175	14,90175	15,40175
23	47,7757	47,7757	14,5075	14,9075	15,4075
24	49,8529	49,8529	14,51325	14,91325	15,41325
25	51,9301	51,9301	14,519	14,919	15,419
26	54,0073	54,0073	14,52475	14,92475	15,42475
27	56,0845	56,0845	14,5305	14,9305	15,4305
28	58,1617	58,1617	14,53625	14,93625	15,43625

29	60,2389	60,2389	14,542	14,942	15,442
30	62,3161	62,3161	14,54775	14,94775	15,44775
31	64,3933	64,3933	14,5535	14,9535	15,4535
.
dst	dst	dst	dst	dst	dst
.
.
364	756,1024	36,1024	16,46825	16,86825	17,36825
365	758,1796	38,1796	16,474	16,874	17,374
366	760,2568	40,2568	16,47975	16,87975	17,37975

Algoritma yang digunakan adalah persamaan aritmatika :

- Un = $a + (n-1)b$
- a = panjang garis awal
- b = beda tiap tanggal
- Un = panjang garis yang dihitung

Contoh : Panjang Garis 1

a	14,381 cm
U173	15,370 cm
b	?
$Un = a + (n-1)b$	$U173 = 14,381 + (173-1)b$
$U1 = 14,381 + (1-1)b$	$15,370 = 14,381 + 172b$
$U1 = 14,381 + (0)b$	$172b = 15,370 - 14,381$
$U1 = 14,381$ cm	$b = (15,370 - 14,381) / 172$
	$b = 0,00575$ cm

Dengan nilai beda ini, maka panjang garis 1, 2 dan 3 dari tanggal 1 – 366 bisa hitung menggunakan excel. Perlu diingat bahwa setiap 1 tanggal ada 12 garis, sehingga total garis ada 366 hari x 12 = 4392 garis yang mengikuti aturan sama dengan pertanggal.

Lampiran 2 : Garis Penyusun Hari dan Pasaran Kalender Spiral

Tgl	Hari		Pasaran	
	Panjang Garis 1	Panjang Garis 2	Panjang Garis 1	Panjang Garis 2
1	17,364	17,733	18,202	18,602
2	17,36644	17,73544	18,20462	18,60462
3	17,36887	17,73787	18,20723	18,60723
4	17,37131	17,74031	18,20985	18,60985
5	17,37374	17,74274	18,21247	18,61247
6	17,37618	17,74518	18,21508	18,61508
7	17,37862	17,74762	18,2177	18,6177
8	17,38105	17,75005	18,22031	18,62031
9	17,38349	17,75249	18,22293	18,62293
10	17,38592	17,75492	18,22555	18,62555
11	17,38836	17,75736	18,22816	18,62816
12	17,3908	17,75980	18,23078	18,63078
13	17,39323	17,76223	18,2334	18,6334
14	17,39567	17,76467	18,23601	18,63601
15	17,3981	17,7671	18,23863	18,63863
16	17,40054	17,76954	18,24124	18,64124
17	17,40298	17,77198	18,24386	18,64386
18	17,40541	17,77441	18,24648	18,64648
19	17,40785	17,77685	18,24909	18,64909
20	17,41028	17,77928	18,25171	18,65171
21	17,41272	17,78172	18,25433	18,65433
22	17,41516	17,78416	18,25694	18,65694
23	17,41759	17,78659	18,25956	18,65956
24	17,42003	17,78903	18,26217	18,66217
25	17,42247	17,79147	18,26479	18,66479
26	17,4249	17,7939	18,26741	18,66741
27	17,42734	17,79634	18,27002	18,67002
28	17,42977	17,79877	18,27264	18,67264

29	17,43221	17,80121	18,27526	18,67526
30	17,43465	17,80365	18,27787	18,67787
31	17,43708	17,80608	18,28049	18,68049
.	
dst	dst	dst	dst	
.	
.	
364	18,24829	18,61729	19,15171	19,55171
365	18,25072	18,61972	19,15433	19,55433
366	18,25316	18,62216	19,15694	19,55694

Algoritma yang digunakan adalah persamaan aritmatika :

- Un = $a + (n-1)b$
- a = panjang garis awal
- b = beda tiap tanggal
- Un = panjang garis yang dihitung

Contoh : Panjang Garis 1 (Hari)

a	17,364 cm
U173	17,783 cm
b	?
$Un = a + (n-1)b$	$U173 = 17,364 + (173-1)b$
$U1 = 17,364 + (1-1)b$	$17,783 = 17,364 + 172b$
$U1 = 17,364 + (0)b$	$172b = 17,783 - 17,364$
$U1 = 17,364$ cm	$b = (17,783 - 17,364) / 172$
	$b = 0,002436$ cm

Dengan nilai beda ini, maka panjang garis 1 dan 2 dari tanggal 1 – 366 bisa hitung menggunakan excel. Perlu diingat bahwa sudut aritmatik dan penerapan untuk hari dan pasaran adalah sama dengan tanggal, sehingga total garis dari hari dan pasaran ini adalah $366 \times 2 = 732$ garis yang mengikuti aturan sama dengan pertanggal.

Lampiran 3 : Garis Penyusun Piringan F

Piringan ini berbentuk lingkaran dengan 2 kelompok garis / grid. Setiap kelompok terdiri atas 180 grid yang melambangkan 180 derajat. 1 derajat terdiri atas 10 grid (1 grid melambangkan 6 menit). Jadi semuanya ada $180 \times 10 = 1800$ garis / grid. karena ada 2 kelompok garis, maka total untuk membentuk piringan F ada 3600 garis / grid dengan sudut yang sama.

Kurva Hitam (untuk gerhana Matahari) dan Merah (untuk gerhana Bulan) tersusun berdasarkan batas yang diterapkan oleh Jean Meeus, yaitu $13,9^0 - 21^0$ dengan ketentuan area $< 13,9^0$ pasti ada gerhana, area $> 21^0$ pasti tidak ada gerhana, dan area di antara keduanya belum jelas. Maka dengan batas maksimal ini, pembuatan kurva mengikuti aturan aritmatika sebagai berikut :

Algoritma yang digunakan adalah persamaan aritmatika :

- Un = $a + (n-1)b$
- a = panjang garis awal
- b = beda tiap tanggal
- Un = panjang garis yang dihitung

Contoh : Panjang Garis Kurva Pertama (atas)

a	20,256 cm
U ₂₁₀ ¹	19,23 cm
b	?
$Un = a + (n-1)b$	$U_{173} = 20,256 + (210-1)b$
$U_1 = 20,256 + (1-1)b$	$19,23 = 20,256 + 209b$
$U_1 = 20,256 + (0)b$	$210b = 20,256 - 19,23$
$U_1 = 20,256$ cm	$b = (20,256 - 19,23)/209$
	$b = -0,004909091$ cm

No Garis	Panjang Garis Kurva 1 (Atas)	Panjang Garis Kurva 2
----------	------------------------------	-----------------------

¹ Sesuai dengan posisi batas maksimal, yaitu di 21 derajat.

1	20,256	19,230
2	20,251	19,225
3	20,246	19,220
4	20,241	19,215
5	20,236	19,210
...
dst	dst	dst
...
208	19,240	18,214
209	19,235	18,209
210	19,230	18,204

Garis lengkung yang ada di lubang urutan penggaris k (untuk tanda jumlah dan urutan gerhana) terdiri atas 13 buah garis yang tersusun di area 360 derajat.

Lampiran 4 : Penyusun Piringan Epoch

Ada 50 kelompok angka yang masing-masing kelompok terdiri atas 7 komponen. 13 lubang new moon dan 13 lubang full moon. Lubang jumlah dan urutan gerhana ada 26 (13 di penggaris permulaan dan 13 di penggaris kedua). Ada penggaris yang berfungsi sebagai transfer data piringan epoch, piringan F, piringan hari pasaran dan piringan kalender.

Lampiran 5 : Surat Bukti Wawancara

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mutoha Arkanuddin
Alamat : Jl. Soropadan XII, No.04, Condongcatur,
Kec. Depok, Sleman, DIY

Dengan ini menerangkan bahwa :

Nama : Ehsan Hidayat
NIM : 1702048005
Perguruan Tinggi : UIN Walisongo Semarang
Program Studi : Program Studi S2 Ilmu Falak Fakultas
Syari'ah dan Hukum
Judul Tesis : **Inovasi Instrumen *Volvelle* Philippe de
La Hire dalam Penentuan Waktu
Gerhana**

Mahasiswa tersebut telah melakukan penelitian/wawancara pada tanggal 13 Juli 2019. Demikian surat keterangan ini kami buat dibuat sebagaimana mestinya.

Semarang, 13 Juli 2019

Mengetahui,



Muntoha Arkanuddin

Lampiran 6 : Angket Validasi

Angket Validasi

No	Aspek penilaian	Deskripsi	Skala				
			1	2	3	4	5
1	Desain	Tampilan instrumen menarik dan mudah dibawa/ dipindahkan				✓	
		Desain instrumen sesuai dengan proyeksi materi					✓
		Pemilihan warna dalam instrumen				✓	
		Diberi judul / keterangan instrumen				✓	
2	Algoritma	Penyajian instrumen mampu mengembangkan minat keilmuan					✓
		Algoritma yang digunakan sesuai perkembangan mutakhir				✓	
		Pengemasan algoritma dalam instrumen sesuai dengan pendekatan keilmuan yang bersangkutan (pendekatan saintifik)					✓
		Mampu memberikan akurasi yang baik			✓		
3	Penggunaan	Mudah digunakan dan dipahami			✓		
		Cepat mendapatkan hasil prediksi					✓
		Mampu memprediksi dalam jangka lama					✓

Saran:

- quarkv perlama + terakhir
- Pemilihan warna Gradasi
- Panduan penggunaan
- Judul instrumen
-

Yogyakarta, 13 Juli 2019
Ahli Media



Muntoha Arkanuddin

ANGKET VALIDASI

LEMBAR VALIDASI UNTUK AHLI MATERI

Komponen :

Peneliti : Ehsan Hidayat.

Judul Penelitian : Inovasi Instrumen Volvelle Philippe De La Hire dalam Penentuan Waktu Gerhana

A. TUJUAN

Lembar validasi ini bertujuan untuk mengetahui pendapat Bapak tentang kevalidan Fungsi pada

B. PETUNJUK PENILAIAN

1. Mohon kesediaan Bapak untuk memberikan penilaian terhadap dengan meliputi aspek-aspek yang diberikan.
2. Mohon diberikan tanda checklist (V) pada skala penilaian yang dianggap sesuai. Rentang skala penilaian adalah 1, 2, 3, 4 dan 5 dengan kriteria bahwa semakin besar bilangan yang dirujuk, maka semakin baik/ sesuai dengan aspek yang disebutkan.
3. Mohon Bapak/ Ibu memberikan saran revisi/ komentar pada tempat yang telah disediakan.

Keterangan skala penilaian:

1 = tidak relevan/ tidak baik,

2 = kurang relevan/ kurang baik,

3 = cukup relevan/ cukup baik,

4 = relevan/ baik,

5 = sangat relevan/ sangat baik

4. Peneliti mengucapkan terimakasih atas kesediaan Bapak/ Ibu untuk mengisi lembar validasi ini. Masukan yang Bapak/ Ibu berikan menjadi bahan perbaikan berikutnya.

Instrumen Angket Validasi

Tabel Penilaian Media

SURAT BUKTI WAWANCARA

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dr. Eng. Rinto Anugraha NQZ, S.Si, M.Si
Alamat : Anugraha Catering Krangkungan RT 003 RW 008 No 70, Condongcatur,
Sanggrahan, Kec. Depok, Kab. Sleman, Yogyakarta 55281

Dengan ini menerangkan bahwa :

Nama : Ehsan Hidayat
NIM : 1702048005
Perguruan Tinggi : UIN Walisongo Semarang
Program Studi : Program Studi S2 Ilmu Falak Fakultas Syari'an dan Huku
Judul Tesis : **Inovasi Instrumen Volvelle Philippe de La Hire dalam Penentuan Waktu Gerhana**

Mahasiswa tersebut telah melakukan penelitian/wawancara pada tanggal 13 Juli 2019. Demikian surat keterangan ini kami buat dibuat sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, 13 Juli 2019

Mengetahui,



Dr. Eng. Rinto Anugraha NQZ, S.Si, M.Si

Angket Validasi

Tabel Penilaian Media

No	Aspek penilaian	Deskripsi	Skala				
			1	2	3	4	5
1	Desain	Tampilan instrumen menarik dan mudah dibawa/ dipindahkan					✓
		Desain instrumen sesuai dengan proyeksi materi					✓
		Pemilihan warna dalam instrumen					✓
		Diberi judul / keterangan instrumen					✓
		Penyajian instrumen mampu mengembangkan minat keilmuan					✓
2	Algoritma	Algoritma yang digunakan sesuai perkembangan mutakhir				✓	
		Pengemasan algoritma dalam instrumen sesuai dengan pendekatan keilmuan yang bersangkutan (pendekatan saintifik)					✓
		Mampu memberikan akurasi yang baik				✓	
3	Penggunaan	Mudah digunakan dan dipahami					✓
		Cepat mendapatkan hasil prediksi					✓
		Mampu memprediksi dalam jangka lama					✓

Saran:

- membedakan warna untuk 6 bulan pertama dan terakhir
- membedakan label untuk NM dan FM
- perlu diperjelas untuk tahun yang tidak tercantum di instrumen
- untuk pengembangan, waktu terjadinya gempa juga bisa ditambahkan instrumennya

Yogyakarta, 13 Juli 2019

Pihak Ahli



Dr. Eng. Rinto Anugraha NQZ,S.Si, M.Si

Lampiran 7 : Foto-foto



Bersama Bapak Mutoha Arkanuddin, Yogyakarta



Bersama Bapak Rinto Anugraha, Yogyakarta

BIODATA PENULIS

A. Biodata Penulis

1. Nama Lengkap : Ehsan Hidayat
2. Tempat & Tgl. Lahir : Pekalongan, 28 Oktober 1994
3. Alamat Rumah : Ds. Sidomulyo RT/RW 08/02
Kec. Kesesi Kab. Pekalongan
HP : 0857 4240 1480 (wa)
Email : ehsan.hidayat@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

1. Pendidikan Formal :
 - a. SD N 2 Sidomulyo, Kesesi, Pekalongan, lulus tahun 2007
 - b. MTs N Kesesi Pekalongan, lulus tahun 2010
 - c. MA Salafiyah Simbangkulon Buaran Pekalongan, lulus tahun 2013
 - d. S1 UIN Walisongo Semarang Jurusan Ilmu Falak, lulus tahun 2017
2. Pendidikan Non-Formal :
 - a. Ma'had Takhassus Simbangkulon, 2010-2013
 - b. YPMI Al-Firdaus, Ngaliyan Semarang, 2013-2016

C. Karya Ilmiah

- a. Studi Analisis Pola Gerhana Matahari Ditinjau Dari Kriteria Nilai Argumen Lintang Bulan (F), Gamma (y), dan Magnitudo (u) – **Skripsi**
- b. Sejarah Perkembangan Hisab Rukyat – **Jurnal Elfalaky Vol. 3, No 1, Tahun 2019/ 1440 H**

Semarang, 15 Juli 2019

Ehsan Hidayat
NIM : 1702048005