

*Jurnal Tarjih* - ISSN: 1410-332X (p), 2540-2979 (e)  
Volume 14 Nomor 1 (2017), hlm. 51-64  
<https://jurnal.tarjih.or.id/index.php/tarjih/article/view/14.104>

## WAKTU SUBUH Tinjauan Pengamatan Astronomi

**Dhani Herdiwijaya**  
Institut Teknologi Bandung  
email: dhani@itb.ac.id

### Abstrak

*Fenomena peralihan siang dan malam yang dalam Islam terkait dengan penentuan awal waktu subuh dan isya, berlangsung relatif singkat, yaitu orde satu jam. Salah satu cara untuk mengkuantifikasi fase peralihan malam menuju siang adalah mengukur kecerahan langit dengan alat sederhana pengukur intensitas cahaya yang disebut fotometer. Makalah ini menyajikan hasil pengukuran kecerahan langit untuk hari tertentu yang dipilih dengan kriteria yang ditentukan, yaitu cuaca cerah, minimal awan, dan tidak ada sabit bulan. Pengukuran kecerahan langit dilakukan di empat lokasi, yaitu Observatorium Bosscha, Cimahi, Yogyakarta, dan Kupang. Pengukuran mengonfirmasi bahwa cahaya Matahari berinteraksi dengan lapisan atas atmosfer Bumi mulai terjadi pada sudut elevasi 17 derajat atau sekitar 65 menit sebelum Matahari terbit. Hasil lainnya adalah kecerahan langit fajar (morning twilight) dan senja (evening twilight) mempunyai profil yang relatif sama, sehingga sudut elevasi 17 derajat dapat menjadi awal dari waktu salat Subuh dan Isya. Polusi cahaya sangat berpengaruh terhadap nilai kegelapan malam hari. Efek malam semu ditemukan dalam studi ini, yaitu kondisi kecilnya perubahan kecerahan langit sampai sudut elevasi 11 derajat, akibat dari cahaya Matahari yang*



*terserap oleh partikel-partikel polutan di atmosfer rendah.*

**Kata Kunci:** waktu subuh, waktu isya, fajar astronomi, cahaya zodiak, kecerahan langit.

## Pendahuluan

Sampai sekarang para ilmuwan tidak bisa mengetahui seberapa besar, seberapa luas, seberapa banyak dan jenis isinya, seberapa tua, dan seberapa cepat perubahan alam semesta ini, sebagai skala ruang, waktu, dan isi atau materi makrokosmos. Jika skala tersebut dengan cepat diperkecil, maka dijumpai skala tata surya, yaitu Matahari (sebagai bintang) dan planet-planet yang mengitarinya. Dengan demikian, tidak terhitung banyaknya planet, bintang, dan tata-surya. Kompleksitas alam semesta ini semakin bertambah, yaitu semua komponen-komponennya (dari debu, planet, bintang, galaksi, dll.) saling bergerak mengitari dan berputar terhadap sumbu putarnya. Dinamika ini digerakkan oleh energi. Dengan demikian alam semesta, secara tinjauan ruang, waktu, materi, dinamika, dan energinya masih sangat jauh dari pemahaman ilmu dan teknologi sekarang.

Dalam satu sistem tata surya, peredaran Bumi atau planet-planet lainnya mengelilingi Matahari, berakibat munculnya musim, yaitu musim hujan, musim kemarau, musim semi, musim salju, dll., serta iklim (perubahan

cuaca jangka panjang) di masing-masing planet. Semakin jauh jarak planet terhadap Matahari (bintang), maka semakin dingin planet tersebut akibat berkurangnya energi atau panas Matahari. Adapun perputaran Bumi atau planet-planet lainnya terhadap porosnya menyebabkan pergantian siang dan malam, termasuk di dalamnya perbedaan energi yang diterima dari Matahari. Kompleksitas kembali terjadi. Pergantian siang dan malam ini bergantung terhadap atmosfer (selubung lapisan udara tipis) masing-masing planet, baik ketebalannya, temperaturnya, ataupun komposisi kimianya, sehingga prosesnya unik untuk setiap planet. Dinamika angin dan gelombang laut merupakan sedikit fenomena alam yang dipengaruhi pergantian siang dan malam.

Atmosfer Bumi sekaligus berfungsi sebagai perisai, yaitu pertama, melindungi kehidupan dari hantaman langsung bebatuan yang datang dari luar Bumi, misalkan pecahan komet, asteroid, dll., dalam skala ukuran mm sampai kilometer. Kedua, melindungi kehidupan dari paparan radiasi energi tinggi seperti ultraviolet, sinar-X, atau sinar gamma, yang berasal dari Matahari atau obyek-obyek lainnya. Dengan demikian, manusia di permukaan Bumi, terlindung dengan sangat aman, seperti jabang bayi yang sangat nyaman dalam kandungan ibu. Terlebih pelangi kehidupan mewarnai satwa dan flora, baik di darat dan di air, serta manusia bergantung terhadap



tiga serangkai proses ini, yaitu berupa siklus siang, malam, serta peralihannya. Kehadiran satelit alami misalkan Bulan untuk planet Bumi menambah rona warna pelangi kehidupan di Bumi. Banyak jenis binatang malam hari mengandalkan cahaya Bulan atau bintang untuk mencari makan dan navigasi perpindahan tempat.

Ibadah salat ditentukan oleh pergerakan Bumi mengitari Matahari dan perputaran Bumi pada sumbunya. Secara khusus, proses pergantian siang dan malam, dan sebaliknya, ditandai dengan salat Subuh dan Isya. Momen Matahari tenggelam untuk salat Maghrib, dan Matahari di posisi tertinggi untuk salat Zuhur, serta pergantian siang-sore untuk salat Asar. Dalam satu hari di Bumi, permukaan Bumi yang mengalami siang sekitar 42-45%, sedangkan malam hari mencakup 33-35%.

Adapun daerah transisi pergantian siang-malam sebesar 20-25%. Seperti telah disebutkan di atas, waktu salat tidak hanya ditentukan oleh posisi Matahari, tetapi juga bergantung terhadap atmosfer Bumi yang berlapis-lapis dan sangat kompleks. Proses interaksi cahaya (energi) Matahari dengan atmosfer berdampak terhadap semua aspek kehidupan, dari flora dan fauna, dengan berbagai spesiesnya, termasuk pengaruh terhadap metabolisme, fisiologis dan psikologis, bahkan awal komunikasi kehidupan (burung, ikan, dll.). Sayangnya, proses yang sangat penting ini dianggap perkara

yang sepele, yang seharusnya perlu dikaji dan dipahami secara mendalam dan multi-disiplin. Dengan kata lain, proses determinasi awal salat menjadi jembatan untuk studi penciptaan langit dan bumi (dan yang ada diantaranya), sehingga pilar-pilar tersebut diisi oleh pengetahuan dengan data dari riset yang berkesinambungan.

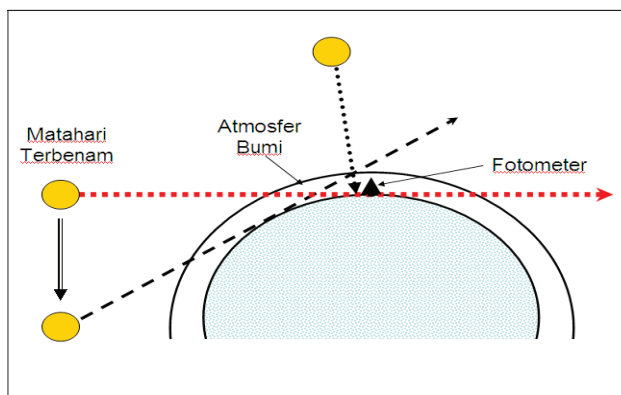
Tulisan singkat ini hanya termotivasi oleh dua ayat dalam al-Quran, yaitu al-Fatihah (1:1) dan al Alaq (96:1), serta ditujukan sebagai pemicu kajian tentang proses pergantian siang-malam yang sangat kompleks, sehingga harus dilakukan riset dan sosialisasi yang berkelanjutan untuk bahan diskusi dan renungan. Pembagian tulisan ini dimulai dari pendahuluan, pengenalan atmosfer Bumi, cahaya zodiak, waktu senja dan fajar (*twilight*), hasil penelitian kecerahan langit, dan kesimpulan.

### **Atmosfer Bumi**

Lapisan udara tipis yang melindungi Bumi dan isinya disebut atmosfer Bumi. Temperatur akan semakin dingin sampai ketinggian sekitar 12 km, kemudian akan naik lagi sampai ketinggian sekitar 50 km, dan seterusnya. Komposisi atmosfer Bumi sebagian besar berupa gas Nitrogen (78%), Oksigen (21%), dan gas lainnya (1%). Struktur molekul dan gas netral berada di lapisan rendah, yaitu troposfer dan stratosfer. Sedangkan gas terionisasi dan elektron dominan di lapisan atmosfer yang tinggi, yaitu mesosfer dan termosfer. Meskipun tipis, tapi atmosfer

Bumi berfungsi vital untuk melindungi kehidupan di permukaannya, yaitu menyerap radiasi sinar-X dan ultraviolet dari Matahari. Radiasi energi tinggi ini sangat berbahaya bagi kehidupan. Batuan dari luar Bumi juga akan bergesekan dengan atmosfer Bumi, sehingga panas dan terbakar sebelum menyentuh permukaan. Kepadatan atmosfer paling besar berada pada ketinggian kurang dari 10 km atau di lapisan troposfer, sehingga dinamika perpindahan energi, panas, dan massa (berupa awan, hujan, petir, angin, badai, dll.) sebagian besar terjadi di lapisan ini. Demikian pula cahaya Matahari secara efektif akan mengalami proses hamburan dan penyerapan di lapisan troposfer sampai stratosfer, sehingga cahayanya menjadi lebih redup. Proses ini menyebabkan terjadinya warna yang bermacam-macam dan berganti-ganti di atmosfer. Setiap warna (panjang gelombang) dapat mengindikasikan

lapisan tertentu di atmosfer, dan mekanisme fisis tertentu sehingga terjadi warna tersebut. Warna yang berlainan juga terjadi untuk sudut ketinggian obyek langit yang berbeda (lihat Gambar 1). Misalkan, warna langit ketika Matahari terbenam berbeda dengan warna langit ketika Matahari berada tegak lurus di atas kepala. Cahaya Matahari di sore/pagi hari harus melewati lapisan atmosfer Bumi yang lebih panjang, sehingga cahaya tsb. lebih banyak dihamburkan dan diserap oleh partikel-partikel di atmosfer. Akibat hamburan cahaya, maka warna dengan panjang gelombang yang besar, yaitu warna merah yang dapat melewatinya, sehingga warna langit menjadi merah. Warna lain sebagian besar diserap oleh atmosfer. Porsi penyerapan energi cahaya akan semakin besar, jika Matahari semakin tenggelam di bawah ufuk, sehingga langit akan semakin "gelap". Sebaliknya



Gambar 1: Pengukuran kecerahan langit arah zenit. Alur cahaya Matahari dari bawah ufuk mengalami proses pembiasan, penghamburan, dan penyerapan oleh partikel atmosfer Bumi.



untuk posisi Matahari arah tegak lurus (zenith), maka warna didominasi oleh panjang gelombang pendek atau warna biru, sehingga langit akan dipenuhi warna biru. Dengan demikian kecerahan langit dan warna langit yang indah menakjubkan merupakan proses fisis matematis yang kompleks. Kemudian, dinamika atmosfer yang selalu bergerak atau turbulensi dalam setiap lapisan atmosfer menyebabkan jejak cahaya berinteraksi dalam skala waktu yang cepat. Akibat turbulensi maka, kenampakan dalam teleskop, citra planet akan tampak kabur dan bintang akan bergerak acak (istial dalam astronomi disebut "seeing").

Malam hari tidak gelap sempurna karena ada kontribusi dari cahaya alami, yaitu hamburan oleh atmosfer Bumi dari cahaya bintang dan adanya cahaya zodiak atau dikenal dengan istilah fajar semu (*fajr al-kādhīb*). Cahaya zodiak tampak di sepanjang garis semu ekliptika, berupa kabut berpendar yang melebar di bagian bawah dan mengkerucut semakin menyempit ke atas, seperti bentuk piramid atau ekor serigala. Bagian bawah lebih terang dari bagian atasnya. Akan tetapi untuk melihat langsung cahaya zodiak memerlukan langit yang gelap, tanpa cahaya Bulan dan polusi cahaya dari lampu kota. Bahkan tidak diperlukan teleskop untuk melihat cahaya zodiak, tetapi cukup langsung dengan mata atau direkam dengan kamera yang dilengkapi lensa fotografi bermedan luas. Oleh karena cahayanya yang sangat

lemah, maka tidak mungkin melihatnya di dalam kota yang penuh dengan polusi cahaya yang kuat. Cahaya zodiak berasal dari hamburan cahaya Matahari oleh partikel-partikel debu (berukuran sekitar 1-300 mikrometer) di ruang antar planet atau di luar atmosfer Bumi. Debu-debu tersebut mengelilingi Matahari dan berasal dari debu komet periode pendek atau komet lainnya. Cahaya zodiak merupakan fenomena di luar atmosfer Bumi, sehingga dapat dibedakan dari cahaya senja/fajar (*twilight*) atau *fajr shadiq*, baik proses pembentukannya, warna dan fisisnya.

### **Waktu Senja dan Fajar (*twilight*)**

Untuk satu lokasi di permukaan Bumi, waktu fajar (*morning twilight*) didefinisikan sebagai waktu yang berawal ketika posisi Matahari masih di bawah ufuk, tetapi cahaya Matahari mulai dihamburkan oleh atmosfer Bumi sampai terbitnya Matahari. Proses sebaliknya untuk waktu senja (*evening twilight*), yaitu waktu yang berawal dari Matahari terbenam sampai cahaya Matahari relatif tidak dihamburkan oleh atmosfer Bumi. Proses hamburan cahaya di atas menyebabkan warna-warni fajar/senja. Kenampakan fisis waktu senja/fajar (*twilight*) tidaklah semudah untuk dilihat dan dirasakan pancaindera seperti fenomena Matahari terbit atau terbenam, meskipun semuanya juga dipengaruhi oleh kondisi atau kepadatan atmosfer Bumi. Hal ini terbukti dengan indahnya warna merah langit sore atau pagi hari, akibat sebaran



cahaya Matahari oleh molekul dan partikel di atmosfer Bumi. Akhir/awal waktu senja/fajar lebih sulit dipahami karena suasana yang gelap dan mata tidak sensitif untuk melihat perubahan intensitas cahaya dan pergantian warna yang redup, sehingga memerlukan alat bantu untuk mengukur hamburan cahaya dan warnanya, baik bersumber cahaya alami dan atau polusi cahaya (lampu-lampu buatan manusia), akibat struktur lapisan dan komposisi atmosfer yang tidak homogen.

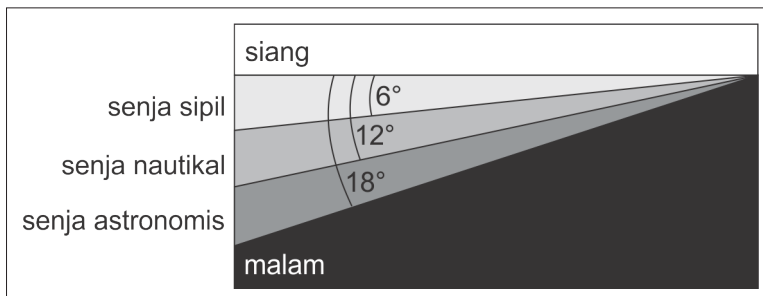
Klasifikasi fajar/senja terbagi menjadi tiga waktu, tergantung sudut kedalaman posisi Matahari di bawah ufuk.

a) Fajar/senja sipil: waktu fajar ketika pusat geometris Matahari pada sudut kedalaman/elevasi 6 derajat di bawah ufuk sampai Matahari terbit atau 0,5 derajat di bawah ufuk, dan sebaliknya. Ciri waktu fajar/senja sipil adalah hamburan cahaya Matahari sudah cukup kuat (meskipun Matahari belum terbit), sehingga dengan mudah dibedakan benda-benda luar di sekitar kita dan

tidak perlu bantuan lampu. Dalam kondisi cuaca cerah, batas ufuk di pantai dan awan di sekitarnya jelas terlihat. Demikian pula planet Venus masih terlihat secara visual.

b) Fajar/senja nautikal: waktu fajar ketika pusat geometris Matahari pada sudut kedalaman/elevasi 12 derajat di bawah ufuk sampai 6 derajat di bawah ufuk, dan sebaliknya. Langit masih cukup gelap atau remang-remang, sehingga batas ufuk di pantai dan awan tidak jelas terlihat. Demikian pula obyek luar di sekitar kita tidak bisa dibedakan dengan jelas.

c) Fajar/senja astronomi: waktu fajar ketika pusat geometris Matahari pada sudut kedalaman/elevasi 18 derajat di bawah ufuk sampai 12 derajat di bawah ufuk, dan sebaliknya. Langit sudah gelap, sehingga obyek luar sekitar kita tidak bisa dibedakan, kecuali mata beradaptasi cukup lama dalam kegelapan. Polusi cahaya akibat cahaya lampu kota dapat menyebabkan langit lebih terang dari kondisi normal.



Gambar 2. Gambaran umum senja dan klasifikasinya berdasarkan sudut kedalaman Matahari di bawah ufuk



Kondisi di atas berlaku untuk lintang pengamat kurang dari 45 derajat. Durasi waktu fajar/senja di daerah ekuator dari Matahari terbenam sampai fajar/senja astronomi sekitar 1 jam 8 menit sampai 1 jam 16 menit. Di lokasi dengan lintang tinggi, durasinya mencapai orde beberapa jam. Warna fajar/senja lebih sulit ditentukan karena bergantung terhadap kondisi meteorologis, topografi permukaan, fase Bulan, atau komposisi kimia atmosfer rendah, terutama aerosol, terlebih jika ada erupsi gunung berapi, kebakaran hutan atau partikel polutan dari industri dan kota. Gambar 4 di bawah memperlihatkan secara skematis klasifikasi senja dan fajar.

### Penelitian Awal Kecerahan Langit

Untuk mengetahui perubahan kecerahan langit secara cepat dan akurat diperlukan fotometer, atau alat pengukur cahaya. Peralatan ini mudah dijumpai karena banyak dijual di toko asesoris kamera, fotografi, atau laboratorium fisika. Penggunaannya juga mudah. Untuk penelitian ini dipergunakan fotometer portabel, ringan, serta mempunyai koneksi USB, sehingga dengan mudah terkoneksi ke komputer. Aspek terpenting lainnya, fotometer ini perlu didukung perangkat lunak, sehingga mampu bekerja mandiri merekam kecerahan langit dalam jeda waktu setiap detik mulai dari Matahari terbenam sampai Matahari terbit kembali. Pengukuran kecerahan langit dimulai tahun 2011 di

Observatorium Bosscha. Lokasi lain yang kemudian dipilih adalah Kampus ITB-Bandung, Cimahi, dan Yogyakarta. Daerah lain yang pernah diukur dalam periode singkat adalah Kupang (NTB), sebagai lokasi observatorium baru. Tujuan penelitian sederhana ini adalah mengetahui tingkat polusi cahaya di Observatorium Bosscha dan menguji awal waktu salat Isya dan Subuh secara sistematis dan kuantitatif. Dalam perkembangannya, fotometer ini dipergunakan untuk menguji waktu (*timing*) gerhana Bulan dan gerhana Matahari, serta pencarian lokasi baru observatorium yang baik. Selain itu juga sedang dikaji penggunaannya untuk mengetahui distribusi aerosol dan visibilitas (jarak pandang) secara temporal-spasial, baik di perkotaan ataupun dampak penyebaran partikel dari erupsi gunung berapi dan kebakaran hutan.

Kecerahan langit pengukuran dilakukan dengan menggunakan fotometer portabel, ringan, dan relatif murah dengan koneksi USB yaitu *Unihedron Sky Quality Meter* (SQM). Inilah yang membuat SQM dapat digunakan dengan mudah oleh masyarakat umum untuk mendapatkan kualitas langit malam. Sudut pengukuran 20 derajat dan memiliki kesalahan relatif kurang dari 3%. Resolusi temporal pengambilan data dapat dilakukan setiap detik. Dalam penelitian ini diterapkan 3-5 detik. Fotometer ini memiliki lensa dan penapis CM500 HOYA, dengan rentang spektral antara 300-720 nm (puncak 500

nm). Dengan demikian respon detektor SQM sama dengan sensitivitas spektral visual mata manusia. Keluaran dari unit ini adalah besaran kecerahan langit (magnitudo per detik busur persegi - mpdbp), di mana nilai yang tinggi mencerminkan langit semakin gelap. Jadi ada daerah yang secara intrinsik lebih gelap dari daerah lainnya, atau gelap di atas gelap, tapi tidak ada gelap sempurna (S. An Nur 24:35). Tidak kurang dari 20 ayat dalam al-Quran yang menyebutkan tentang proses pergantian malam menuju siang, atau sebaliknya. Hal ini menggaris-bawahi pentingnya fenomena ini. Besaran kecerahan langit dapat dikonversi menjadi satuan candela (lilin) per satuan luas atau iluminasi. Fotometer ini diarahkan tegak lurus atau arah zenit, lihat Gambar 1. Fotometer ini telah dipergunakan untuk beberapa penelitian sebelumnya (Herdiwijaya, dkk. 2011a; 2011b; 2014; 2016).

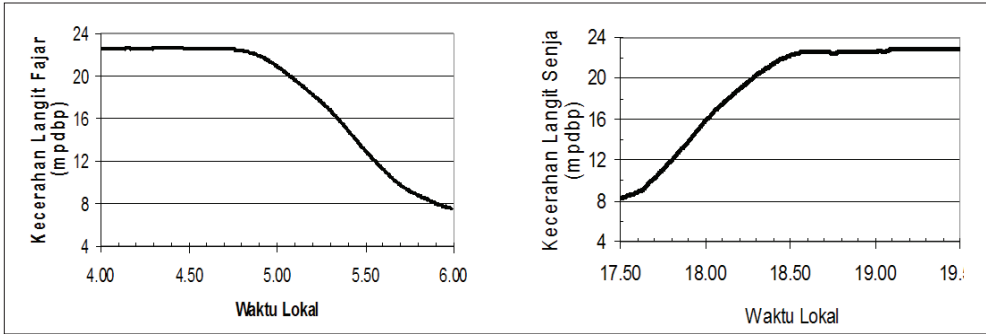
Profil umum kecerahan langit saat fajar dan senja, sebagai keluaran langsung dari fotometer SQM, terlihat dalam Gambar 5. Sumbu-x merupakan waktu dan sumbu-y sebagai nilai kecerahan langit dalam satuan magnitudo per detik busut persegi (mpdbp). Tampak bahwa nilai kecerahan langit fajar semakin kecil (langit semakin terang) yang membentuk sudut kemiringan, sebagai tanda bahwa kecerahan langit tidak berubah secara mendadak atau ada waktu transisi dalam perubahan malam menjadi siang, dan sebaliknya untuk kecerahan langit senja. Nilai

kecerahan langit di atas 21 mpdbp menandakan bahwa Galaksi Bima Sakti dengan mudah dapat dilihat oleh mata langsung. Dengan demikian, Galaksi Bima Sakti tidak bisa terlihat di Cimahi dan Yogyakarta. Menurut skala Bortle, skala kecerahan langit dibagi menjadi 9 kelas. Skala Bortle lebih disederhanakan dalam Kategori pertama ( $>21.3$  mpdbp) sebagai lokasi observatorium yang ideal. Galaksi Bimasakti dan cahaya zodiak masih terlihat. Kategori kedua (antara 20.4 - 21.3 mpdbp), polusi cahaya sudah mulai terlihat dan kenampakan galaksi Bima Sakti dan cahaya zodiak hanya waktu tertentu. Kategori ketiga (antara 19.1 - 20.4 mpdbp), galaksi Bima Sakti hanya terlihat di arah zenith, cahaya zodiak sulit dilihat, dan polusi cahaya sudah mencapai 35 derajat dari cakrawal. Kategori keempat (antara 18.0 - 19.1), cahaya zodiak tidak terlihat, galaksi Bima Sakti terlihat arah zenith pada waktu tertentu, dan polusi cahaya sudah menyebar ke semua arah. Kategori kelima ( $<18.0$  mpdbp), polusi cahaya sudah dominan, hanya planet-planet terang yang terlihat, kondisi langit di kota-kota besar tanpa solusi untuk mengatasi polusi cahaya. Cara termudah mengurangi tingkat polusi cahaya adalah dengan memberikan tudung lampu luar, lampu jalan bukan lampu Merkuri dengan tudung tanpa toleransi untuk cahaya ke atas (*full cutoff*), pemilihan jenis lampu, dan penghijauan kota. Polusi cahaya akan sebanding dengan polusi udara.

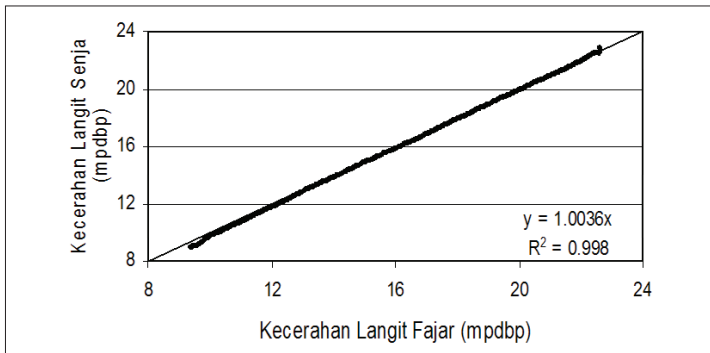
Tentu saja menjadi pertanyaan,







Gambar 3. Profil umum perubahan kecerahan langit fajar (kiri) dan senja (kanan). Lokasi di Kupang.



Gambar 4. Profil kecerahan langit fajar dan senja (garis tebal) dan hubungan linier (garis tipis), lokasi di Kupang.

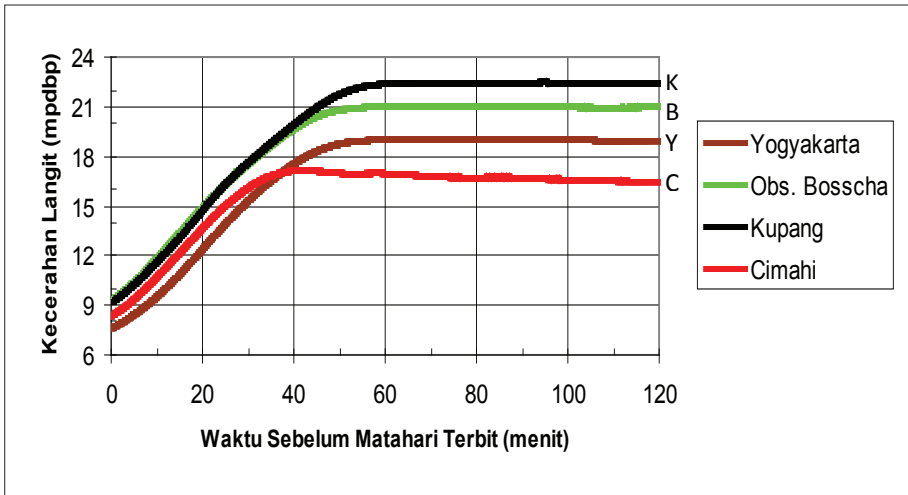
apakah profil kemiringan kecerahan langit fajar, saat langit menjadi lebih terang sama dengan kemiringan kecerahan langit senja atau saat langit menjadi semakin gelap? Gambar 4 memperlihatkan bahwa profil kemiringan kecerahan langit fajar dan senja sama untuk pengukuran arah zenith, dengan nilai korelasi yang sangat tinggi.

Berikut adalah profil kecerahan langit untuk beberapa lokasi, yaitu Amfoang, Kupang (1240 0'BT; 90 40'

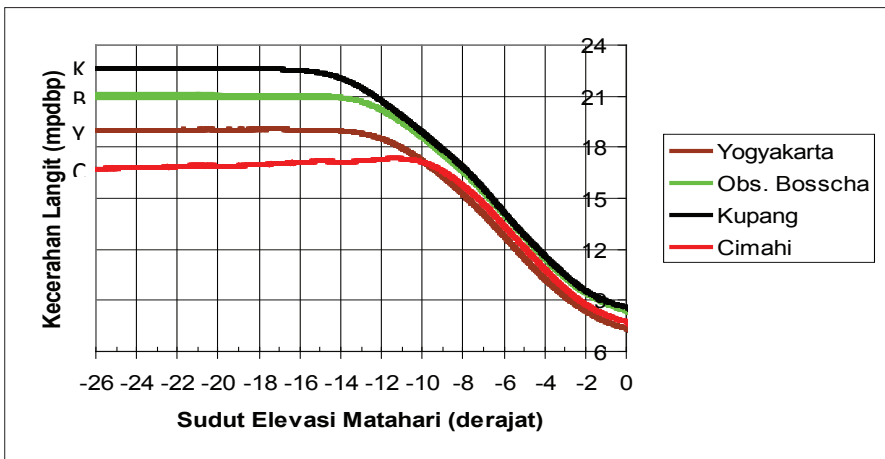
LS; elevasi 1300 m; NTT; Tanggal 10 Mei 2013), Yogyakarta (1100 25'BT; 70 52' LS; elevasi 100 m; DIY; Tanggal 18 Mei 2015), Observatorium Bosscha (1070 37'BT; 60 49' LS; elevasi 1300 m; Jawa Barat; Tanggal 17 Juli 2015), dan Cimahi (1070 32'BT; 60 53' LS; elevasi 700 m; Jawa Barat; Tanggal 18 Desember 2013). Daerah dengan kondisi ideal (tanpa polusi cahaya) kecerahan langit malam berada di Amfoang, Kupang, sedangkan lokasi dengan polusi cahaya terparah diwakili oleh daerah

Cimahi. Kemudian, kriteria pemilihan hari adalah kondisi cuaca yang cerah tanpa awan dan cahaya Bulan, seperti terlihat dalam Gambar 5. Sekitar satu jam sebelum Matahari terbit, dapat dikatakan bahwa langit masih "gelap",

seperti ditunjukkan oleh garis yang stabil mendatar. Istilah "gelap" merupakan kondisi relatif pencahayaan/kecerahan suatu tempat. Kondisi tergelap di Yogyakarta (kurva ketiga dari atas) lebih terang dari langit yang gelap di



Gambar 5. Kecerahan langit sebelum Matahari terbit untuk empat lokasi: Kupang (K), Obs. Bosscha (B), Yogyakarta (Y), dan Cimahi (C).



Gambar 6. Kecerahan langit dilihat dari sudut elevasi sebelum Matahari terbit untuk empat lokasi: Kupang (K), Obs. Bosscha (B), Yogyakarta (Y), dan Cimahi (C)

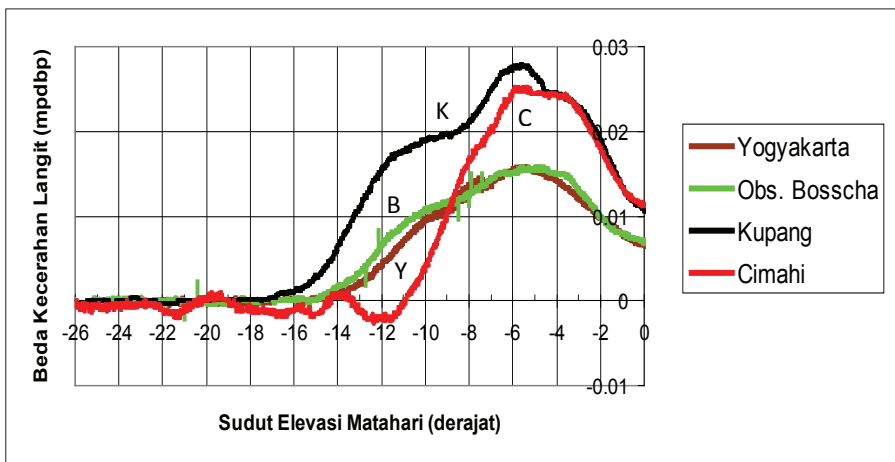


Observatorium Bosscha (kurva kedua dari atas) dan Kupang (kurva paling atas). Demikian pula, kondisi tergelap di Cimahi merupakan langit paling terang, relatif terhadap Yogyakarta, Observatorium Bosscha dan Kupang. Langit di Kupang merupakan langit tergelap, dibandingkan tiga lokasi yang lain.

Gambar 6 memperlihatkan kecerahan langit sebagai fungsi sudut elevasi Matahari di bawah ufuk. Dari keempat lokasi, tampak bahwa sudut elevasi 18 derajat dan 20 derajat, kecerahan langit masih konstan sebagai malam. Hal ini sesuai dengan definisi malam untuk akhir fajar astronomi dengan sudut elevasi lebih dalam dari 18 derajat. Pengaruh polusi cahaya jelas terlihat untuk Cimahi, tetapi batasan "malam" untuk sudut elevasi 18 derajat masih jelas dibedakan. Untuk fajar nautikal (antara sudut elevasi 6-12 derajat), pengaruh polusi

cahaya berkurang. Lokasi Kupang dan Observatorium Bosscha mempunyai ketinggian yang sama, yaitu 1300 m di atas permukaan laut, sehingga mempunyai kecerahan langit yang sama, untuk fajar nautikal dan fajar sipil (antara sudut elevasi 0.5-6 derajat). Lokasi di Cimahi, meskipun mempunyai tingkat polusi cahaya paling parah, tetapi saat fajar nautikal dan fajar sipil, kecerahan langitnya lebih gelap daripada Yogyakarta. Hal ini disebabkan oleh partikel-partikel polutan di Cimahi berukuran cukup besar, sehingga cahaya fajar terserap oleh partikel tersebut dan berakibat langit relatif lebih gelap atau disebut "malam" semu.

Agar identifikasi perubahan kecerahan langit lebih terlihat dengan jelas, maka diambil perubahan kecerahan langit setiap 3-5 detik, kemudian diambil rata-rata untuk 50 titik atau 150-250 detik, seperti



Gambar 7. Beda kecerahan langit sebagai fungsi dari sudut elevasi sebelum Matahari terbit

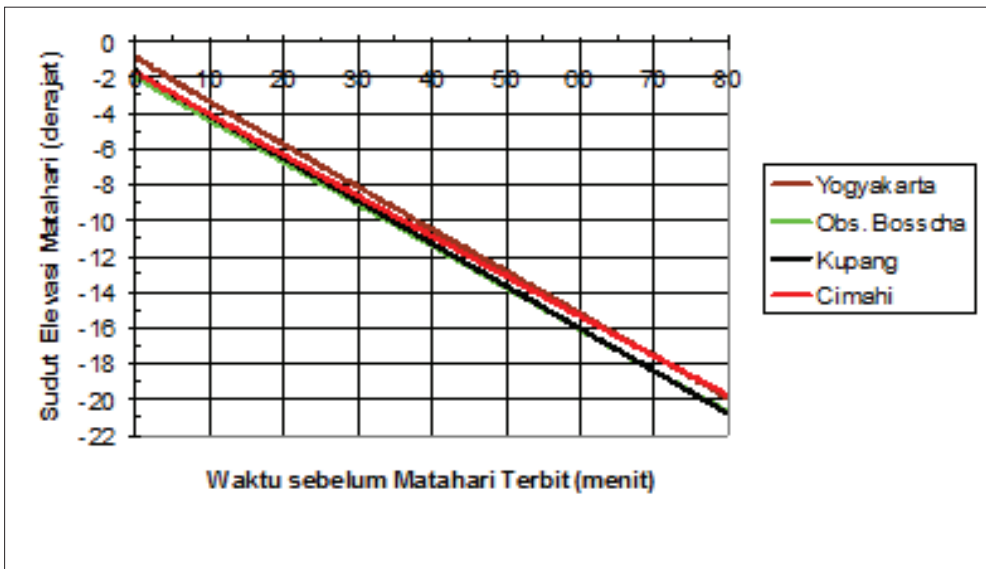
Gambar 7. Pola perubahan kecerahan langit yang relatif normal terlihat di Kupang, Observatorium Bosscha, dan Yogyakarta. Anomali kecerahan langit akibat polusi cahaya kota Cimahi terlihat juga dalam Gambar 5.

Jelas terlihat bahwa sudut elevasi Matahari lebih dalam dari 18 derajat, tidak ada fluktuasi kecerahan langit atau masih dalam kondisi "malam". Perubahan kecerahan langit mulai terjadi untuk sudut elevasi 17 derajat dan seterusnya dengan sudut lebih kecil. Efek polusi cahaya, yaitu "malam" semu, terlihat di Observatorium Bosscha dan Yogyakarta, serta paling parah di Cimahi, sehingga seolah-olah masih dalam suasana malam. Efek malam semu adalah kondisi kecilnya perubahan kecerahan langit, akibat cahaya Matahari terserap oleh partikel-partikel polutan yang bersumber dari

polusi udara terakumulasi di atmosfer rendah. Di Observatorium Bosscha dan Yogyakarta, efek malam semu sampai sudut elevasi 15 derajat. Sedangkan di Cimahi sampai sudut elevasi 11 derajat. Perlu diingat bahwa ketinggian Observatorium Bosscha sekitar 1300 m, jauh lebih tinggi dari Yogyakarta, tetapi keduanya mempunyai profil kecerahan langit yang sama.

Sudut elevasi untuk keempat lokasi relatif sama dalam rentang sampai sudut 20 derajat atau sekitar 80 menit sebelum Matahari terbit (perbedaan beda lokasi sekitar 5 menit). Sudut elevasi 16 derajat setara dengan waktu sekitar 60 menit.

Cahaya zodiak tidak tampak dari pola kecerahan langit di Kupang (sebagai lokasi paling gelap), kemungkinan disebabkan oleh SQM yang mengarah ke zenith. Selain itu juga cahaya zodiak



Gambar 8. Relasi antara waktu dan sudut elevasi sebelum Matahari terbit



sangat redup (sekitar 1% perbedaannya dengan kecerahan latar belakang atau sekitar 0.2 mpdbp), sehingga untuk melihatnya mensyaratkan kecerahan langit latar belakang 21 mpdbp di arah cakrawala. Dalam hal ini, polusi cahaya di Yogyakarta dan Cimahi menutup visualisasi cahaya zodiak. Sehingga secara umum cahaya zodiak tidak terlihat di kedua kota tersebut. Demikian pula di Observatorium Bosscha, cahaya zodiak sangat sulit untuk dilihat, karena polusi cahaya yang mencapai ketinggian lebih dari 30 derajat.

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengamatan menggunakan fotometer dengan pencatatan setiap 3-5 detik, maka dapat disimpulkan beberapa poin berikut.

- a) Kecerahan langit di Kupang, NTT merupakan langit tergelap atau tingkat polusi cahaya paling kecil.
- b) Sudut elevasi Matahari di bawah ufuk 18 derajat mengkonfirmasi definisi malam, yaitu awal tidak terlihat perubahan kecerahan langit. Gelapnya malam hari merupakan kondisi relatif untuk waktu yang sama.
- c) Perubahan kecerahan langit mulai terjadi pada sudut elevasi 17 derajat atau sekitar 65 menit sebelum Matahari terbit. Sudut elevasi ini menjadi awal dari waktu salat Subuh dan Isya.
- d) Efek polusi cahaya mempengaruhi kecerahan langit, terutama di fase

malam hari (sudut elevasi lebih dalam dari 18 derajat). Pengaruh polusi cahaya semakin kecil saat fase fajar nautikal dan fajar sipil.

- e) Efek polusi cahaya menyebabkan efek malam semu, akibat serapan cahaya oleh partikel-partikel polutan di atmosfer rendah.
- f) Sudut elevasi kedalaman Matahari adalah simetris untuk fajar (*morning twilight*) dan senja (*evening twilight*).
- g) Cahaya zodiak tidak terdeteksi dalam pengamatan di Kupang.

Pengamatan fajar dan senja untuk solusi problema optika atmosfer ataupun pendekatan secara multidisiplin masih perlu dilakukan secara berkesinambungan di banyak tempat di Indonesia dengan pemusatan data hasil pengamatan.

### Daftar Pustaka

- Herdiwijaya, D., Nurlaela, S., Fadilah, Y., Kurnia, S., Adam, 2011, Penentuan Waktu Gerhana Bulan Total 16 Juni 2011 Berdasarkan Sky Quality Meter, Prosiding Seminar Himpunan Astronomi Indonesia (ed. Dermawan, B., dkk.), Bandung 27 Oktober 2011, hal. 32-34.
- Herdiwijaya, D., Arumaningtyas, E. P., 2011, Pengukuran Kecerlangan Langit Arah Zenit di Bandung dan Cimahi dengan Menggunakan Sky Quality Meter, Prosiding Seminar Himpunan Astronomi Indonesia



(ed. Dermawan, B., dkk.), Bandung  
27 Oktober 2011, hal. 6-8.

Herdiwijaya, D., 2014, Implications  
of Twilight Sky Brightness  
Measurements on Fajr Prayer and  
Young Crescent Observation,  
Prosiding 7<sup>th</sup> International  
Conference on Physics and Its  
Applications 2014 (ICOPIA

2014), hal. 26-29 (doi:10.2991/  
icopia-14.2015.5)

Herdiwijaya, D., 2016, Sky Brightness  
and Twilight Measurements  
at Yogyakarta City, Indonesia,  
International Symposium on the  
Sun, Earth, and Life, Bandung 3-4  
Juni 2016 (sedang proses).

