

POLA LAMA PENYINARAN MATAHARI DALAM 20 TAHUN PENGAMATAN DI SUMEDANG (SUNSHINE DURATION PATTERN DURING 20 YEARS OBSERVATION AT SUMEDANG)

Saipul Hamdi*, Sumaryati
Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer
Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional
*e-mail: saipulh@yahoo.com

Diterima 22 Februari 2019; Direvisi 20 Mei 2020; Disetujui 2 Juni 2020

ABSTRACT

Sunshine duration pattern in 20 years long term observation at BPAA (Station for Space and Atmosphere Observation) LAPAN Sumedang (6.91° S and 107.84° E, 864 m asl) has been analyzed. Measurement of sunshine duration using Campbell Stokes has been done since 1997, which recorded 5,899 days-data. These data were analysed by statistics method. Duration of sunshine data were classified into four groups based on the season, while their distribution of frequency were also calculated. In general, sunshine duration increased mainly in dry season (JJA) during this 20 years observation. The *El Nino* phenomenon has an impact on increasing the sunshine duration in DJF months, while *La Nina* effect is on reduction of the sunshine duration in SON months. On the other hand, increasing of solar activity has contributed to reduction of sunshine duration in DJF months. In wet season (DJF), the most frequent sunshine duration was 0-1 hours/day, while in dry season (JJA) it could reach 9 hours/day.

Keywords: *sunshine duration, classification, statistics*

ABSTRAK

Pola lama penyinaran matahari (LPM) dalam kurun waktu pengamatan 20 tahun di BPAA (Balai Pengamatan Antariksa dan Atmosfer) LAPAN Sumedang (6,91° LS dan 107, 84° BT, 864 m dpl) telah dianalisis. Pengukuran LPM menggunakan *Campbell Stokes* dilakukan sejak tahun 1997. Dari pengukuran ini diperoleh jumlah hari data sebanyak 5.899. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan metode statistika. LPM dikelompokkan menjadi 4 kelompok berdasarkan musim dan dihitung frekuensi distribusinya. Secara umum, terjadi peningkatan LPM terutama pada musim JJA dalam 20 tahun pengamatan. Fenomena *El Nino* berdampak pada peningkatan lama penyinaran pada bulan DJF, sedangkan *La Nina* berdampak pada penurunan lama penyinaran pada bulan SON. Di sisi lain, kenaikan aktivitas matahari justru berpengaruh pada penurunan lama penyinaran pada bulan DJF. Pada musim basah (DJF) LPM paling sering adalah 0-1 jam/hari, sedangkan pada musim kering (JJA) LPM mencapai 9 jam/hari.

Kata kunci: *lama penyinaran matahari, klasifikasi, statistika*

1 PENDAHULUAN

Ketika memasuki atmosfer bumi, sinar matahari mengalami interaksi dengan senyawa-senyawa penyusun atmosfer bumi misalnya ozon, uap air, karbondioksida, dan debu, sehingga insolasinya berkurang. Interaksi tersebut meliputi penyerapan dan

hamburan. Beberapa penelitian telah menyatakan bahwa sinar matahari yang memasuki atmosfer bumi akan mengalami penyerapan hingga 30 W/m² (Cess *et al.*, 1995, 1996; Arking *et al.*, 1996; Barker dan Li, 1997). Penyerapan paling kuat oleh atmosfer bumi adalah pada panjang gelombang mendekati 940

nm dan dapat dikaitkan dengan konstanta keseimbangan atau energi ikatan H₂O-H₂O dan fungsi partisi molekul H₂O dan (H₂O)₂ (Hill & Jones, 2000). Seiring dengan berubahnya komposisi senyawa-senyawa penyusun atmosfer maka penyerapan total radiasi matahari juga akan berubah. Perubahan tersebut cenderung menyebabkan penyerapan radiasi matahari semakin banyak, selain itu radiasi matahari yang dihamburkan oleh debu juga semakin banyak.

Insolasi adalah radiasi matahari yang tiba di permukaan bumi tiap satuan waktu dan luas, atau dikenal juga sebagai radiasi global (Tjasyono, 2004). Lama penyinaran matahari (LPM) didefinisikan sebagai waktu ketika kekuatan insolasi melebihi 120 W/m² (WMO, 2008). LPM dihitung dalam satuan jam/hari. Durasi LPM dipengaruhi oleh lamanya matahari menyinari bumi dalam periode satu hari yang disebut juga sebagai panjang siang, atau lamanya matahari berada pada horizon. Semakin jauh letak tempat dari garis ekuator maka variasi LPM akan semakin besar (Lakitan, 1994). Hal ini berkaitan dengan gerak semu matahari ketika mengelilingi bumi dan berpengaruh pada variasi panjang siang dan malam. Pada umumnya semakin panjang siang hari, durasi LPM juga akan semakin tinggi. Faktor penting yang mempengaruhi LPM adalah awan yang berperan menghalangi radiasi matahari sampai ke permukaan bumi. Hal lain yang mempengaruhi LPM adalah faktor topografi dan meteorologi.

LPM pada suatu tempat bergantung pada topografi dan keadaan meteorologi misalnya kebeningan atmosfer, kandungan uap air di atmosfer, suhu udara, tekanan, kelembapan, arah angin, dan lain-lain (Khalil & Fathy, 2008). Selain dipengaruhi oleh keadaan atmosfer, radiasi matahari yang tiba di permukaan bumi juga dipengaruhi oleh

aktivitas matahari yang dinyatakan dengan bintik matahari. Semakin tinggi aktivitas matahari, yang ditunjukkan dengan semakin banyaknya bintik, maka semakin besar pula iradiasi matahari dan sebaliknya (Yatini, 2004).

LPM termasuk ke dalam salah satu faktor yang berhubungan erat dengan iklim. Meskipun perubahan iklim pada umumnya memiliki pengaruh negatif terhadap energi bersih terbarukan namun suhu yang tinggi akan mendukung akumulasi biomassa (Shi *et al.*, 2008). Penelitian LPM di China tahun 1961-2010 menunjukkan bahwa telah terjadi tren pengurangan LPM yang cukup berarti dalam 50 tahun terakhir yaitu sebesar -43,3 jam per dekade (Ren *et al.*, 2005; Zhao *et al.*, 2013). Pada empat musim yang diamati, musim semi merupakan musim dengan pengurangan terbesar yaitu -16,1 jam per dekade. Di China bagian Barat Daya juga dilaporkan pengurangan sebesar -33,3 jam per dekade dan menjadi sangat penting sejak pertengahan tahun 80-an (Ma *et al.*, 2013)

Perbedaan topografi (misalnya letak/posisi terhadap garis lintang, ketinggian, dan jenis permukaan tanah) dapat berpengaruh terhadap jumlah energi radiasi matahari yang mencapai permukaan bumi, demikian juga dengan komposisi atmosfer. Hal ini berkaitan dengan jumlah uap air yang tersedia di atmosfer yang berpotensi menahan laju sinar matahari, terlebih jika disertai dengan turunnya hujan. Salah satu parameter yang digunakan untuk menyatakan kondisi atmosfer adalah bilangan kebeningan atmosfer (Hoesin, 1983; Hamdi & Sumaryati, 2014), yaitu perbandingan antara insolasi di permukaan bumi terhadap radiasi matahari di puncak atmosfer. Kebeningan atmosfer berkaitan erat dengan pelemahan (*extinction*) sinar matahari ataupun kekeruhan atmosfer yang banyak dipengaruhi oleh senyawa kimia, debu, uap air, dan lain-lain, dan nilainya memiliki rentang yang cukup

lebar. Rentang bilangan kebeningan atmosfer yang lebar disebabkan oleh besarnya perubahan kerapatan atmosfer dari waktu ke waktu, terutama debu, aerosol, dan uap air.

Pada penelitian sebelumnya telah dianalisis LPM di Sumedang menggunakan data pengamatan tahun 1999-2013, dan diperoleh hasil bahwa pada musim kering JJA dan musim peralihan SON ditemukan pola yang menunjukkan bahwa LPM dari tahun ke tahun semakin meningkat (Hamdi & Sumaryati, 2014). Tulisan ini merupakan analisis lebih lanjut dari hasil-hasil tersebut dengan menambahkan data pengamatan sampai tahun 2017, serta analisis data yang lebih mendalam. Analisis lanjutan dilakukan dengan mempertimbangkan aktivitas matahari, fenomena *El Nino* dan *La Nina* dalam analisis *time series* selama 20 tahun dan variasi musiman serta variasi durasi siang dan malam dalam siklus satu tahun.

2 METODOLOGI

2.1 Lokasi dan Periode

Penelitian ini menggunakan data LPM yang diukur di BPAA (Balai Pengamatan Antariksa dan Atmosfer) LAPAN Sumedang, Jawa Barat, sejak tahun 1997 hingga 2017. BPAA Sumedang terletak pada koordinat geografis $6,91^{\circ}$ LS dan $107,84^{\circ}$ BT pada ketinggian 864 meter dari permukaan laut. Tidak ada industri berat di sekitar tempat pengukuran ini yang akan mengubah kebeningan atmosfer secara kuat, demikian juga aktivitas transportasi di sekitarnya. Lingkungan di sekitar tempat pengukuran ini masih berupa persawahan dan banyak pepohonan sehingga kualitas udaranya relatif baik.

2.2 Standarisasi data

LPM diukur menggunakan *Campbell Stokes*. Bagian utama alat ini adalah sebuah bola kaca yang berfungsi sebagai lensa cembung, dan sinar

matahari akan terfokuskan pada titik fokusnya. Lembaran kertas pias diletakkan pada titik fokusnya. Jika energi radiasi matahari melebihi 120 W/m^2 maka kertas *recorder* tersebut terbakar. Panjang kertas yang terbakar dikonversi menjadi data durasi LPM. Pengukuran dilakukan setiap hari sejak pukul 6 pagi hingga 18 sore atau dengan perkiraan panjang hari sebesar 12 jam/hari.

Sebelum digunakan, data terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan awal untuk menghilangkan data-data yang tidak layak pakai, yaitu kesalahan dalam proses perekaman data secara manual. Hasilnya adalah data tahun 2005 tidak digunakan di dalam kajian tulisan, demikian juga dengan data tahun 2009 yang merupakan tahun kejadian *El Nino*. Pada periode tertentu, adakalanya data tidak diukur pada hari minggu dan hari libur, yang menyebabkan jumlah hari data dalam tahun tersebut menjadi lebih sedikit dan persentase jumlah hari data pun menjadi lebih kecil. Selain itu, tidak adanya data salah satunya juga diakibatkan oleh habisnya persediaan kertas *recorder* sehingga semakin mengurangi jumlah hari data.

2.3 Metode Penelitian

Analisis data LPM dilakukan secara kuantitatif dan kualitatif. Analisis yang pertama dilakukan secara jangka panjang (*long-term*) dan yang kedua secara musiman.

Analisis secara *time series* dikaitkan dengan beberapa faktor yang diduga berpotensi mempengaruhi LPM, yaitu aktivitas matahari serta fenomena *El Nino* dan *La Nina*. Aktivitas matahari diindikasikan dengan bilangan bintik matahari atau *sunspot number*. Data ini tersedia dan dapat diunduh pada situs <http://sidc.be/silso/datafiles-old>.

Analisis kualitatif dilakukan untuk melihat dampak fenomena *El Nino* dan *La Nina* karena fenomena tersebut berpengaruh pada penutupan

TABEL 2-1: INTERPRETASI NILAI ONI TERHADAP INTENSITAS KEJADIAN *EL NINO* DAN *LA NINA*

Nilai ONI	Fenomena
> 2,0	<i>El Nino</i> sangat kuat
1,5 sampai 2,0	<i>El Nino</i> kuat
1,0 sampai 1,5	<i>El Nino</i> moderat
0,5 sampai -1,0	<i>El Nino</i> lemah
-0,5 sampai 0,5	Normal
-0,5 sampai -1,0	<i>La Nina</i> lemah
-1,0 sampai -1,5	<i>La Nina</i> moderat
-1,5 sampai -2,0	<i>La Nina</i> kuat
< -2,0	<i>La Nina</i> sangat kuat

TABEL 2-2: INTERVAL DATA YANG DIGUNAKAN DI DALAM KLASIFIKASI

Label	Lama Penyinaran (jam)	Label	Lama Penyinaran (jam)
1	0,0 – 1,0	7	6,1 – 7,0
2	1,1 – 2,0	8	7,1 – 8,0
3	2,1 – 3,0	9	8,1 – 9,0
4	3,1 – 4,0	10	9,1 – 10,0
5	4,1 – 5,0	11	10,1 – 11,0
6	5,1 – 6,0	12	11,1 – 12,0

awan. Pada penelitian ini fenomena *El Nino* dan *La Nina* direpresentasikan dengan nilai ONI (*Ocean Nino Index*). Interpretasi nilai ONI terhadap intensitas (kuat-lemahnya) kejadian *El Nino* dan *La Nina* ditunjukkan pada Tabel 2-1. Data ONI dapat diunduh pada <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/correlation/oni.data>.

Hasil pengukuran LPM diklasifikasikan berdasarkan pola umum musonal yaitu curah hujan maksimum terjadi pada bulan Desember, Januari, Februari (DJF) dan curah hujan minimum terjadi pada bulan Juni, Juli, Agustus (JJA). Di antara kedua musim itu ada dua musim

peralihan, yaitu Maret, April, Mei (MAM), dan September, Oktober, November (SON). LPM dikelompokkan juga berdasarkan lama penyinarannya tiap-tiap jam, sebagaimana tercantum pada Tabel 2-2. Pengelompokan ini dilakukan untuk mengetahui pola distribusi LPM yang tidak berhubungan dengan kejadian-kejadian *El Nino* dan *La Nina*. Analisis tahunan yang kedua dilakukan dengan cara membandingkan LPM dengan durasi siang hari. Durasi siang hari dimulai dari matahari terbit sampai terbenam atau selama matahari berada di atas horizon. Lama siang hari (S) dalam satuan jam dihitung berdasarkan persamaan sudut zenith matahari (θ) pada persamaan berikut (Kandirmaz & Kaba, 2014):

$$S = \left(\frac{2}{15}\right) \arccos(-\tan \delta \tan \varphi) \dots\dots(2-1)$$

dengan φ adalah garis lintang dan δ adalah sudut deklinasi matahari yang besarnya dirumuskan pada persamaan:

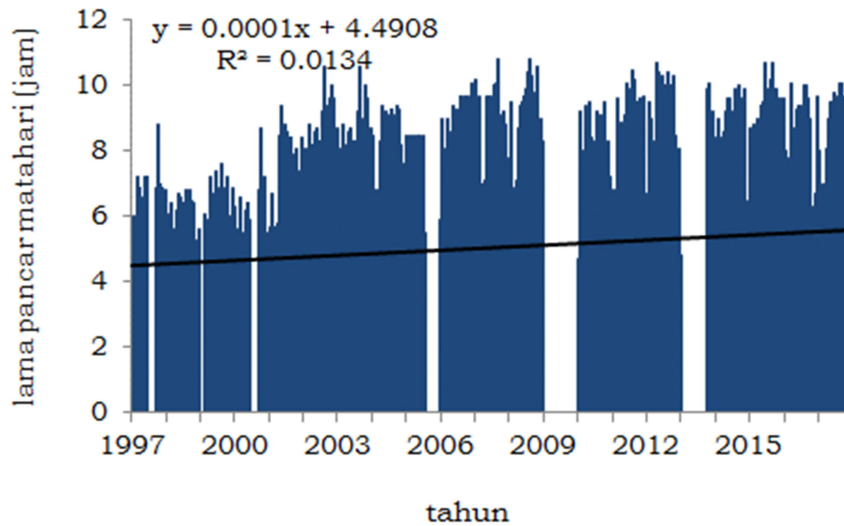
$$\delta = 23,45 \sin\left(\frac{360}{365} (284 + n)\right) \dots\dots(2-2)$$

dimana n adalah *julian day* atau nomor urut hari dalam satu tahun dimulai dari 1 Januari. Persamaan (2-2) berlaku untuk tahun non-kabisat, jika tahun kabisat, maka pembagiannya menjadi 366.

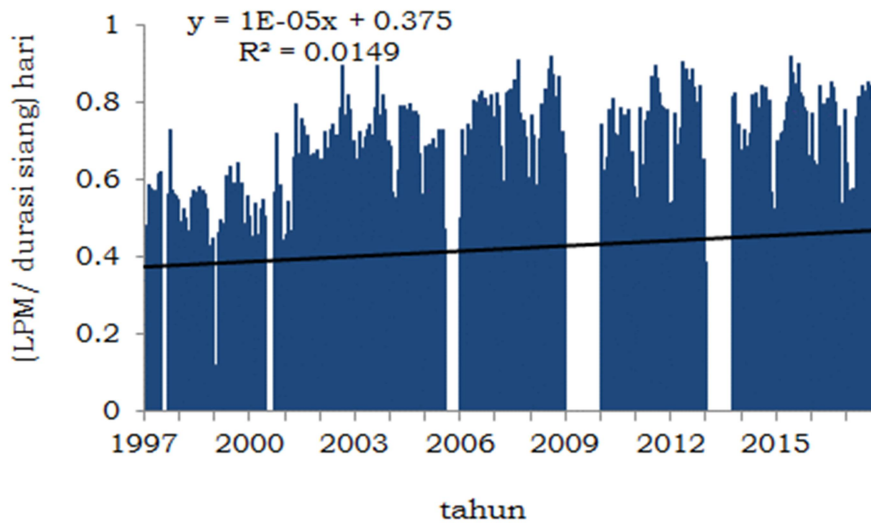
3. HASIL PEMBAHASAN

3.1 Analisis Lama Penyinaran Matahari Jangka Panjang (20 tahun)

LPM dipengaruhi oleh durasi siang pada lokasi tersebut dan kondisi atmosfer terutama awan. Durasi siang pada suatu tempat diperhitungkan dengan persamaan (2-1) dan (2-2), yang nilainya bervariasi tergantung posisi lintang dan *julian day*. Matuszko (2011) telah menganalisis hubungan antara LPM dengan penutupan awan dan jenis awan, yang menyatakan bahwa keberadaan awan sirus tidak mengurangi LPM, sedangkan penutupan awan rendah memiliki korelasi linier kuat terhadap lama penvinaran.



Gambar 3-1: Lama penyinaran matahari di Sumedang selama 20 tahun



Gambar 3-2: Perbandingan lama penyinaran matahari terhadap lama siang hari

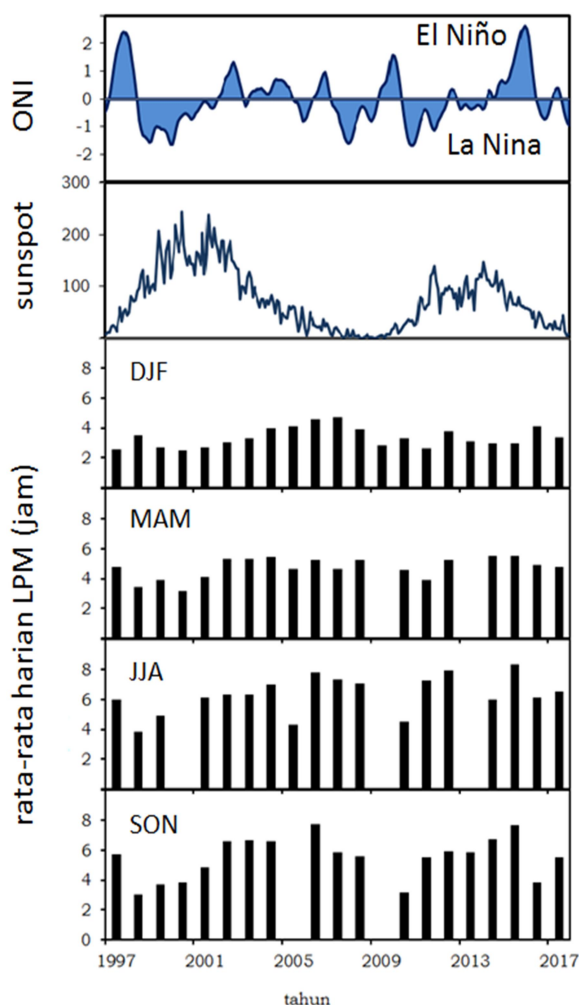
Pengamatan LPM dilakukan selama 20 tahun disajikan secara deret waktu dapat dilihat pada Gambar 3-1. Rata-rata LPM sepanjang waktu pengamatan sebesar 5,1 jam. Hari dengan lama penyinaran 5,7 jam adalah yang paling banyak ditemukan. Penelitian yang dilakukan Goni *et al.* (2019) di Chad, Afrika Tengah dengan menempatkan alat ukurnya pada lintang 8–18° LU diperoleh LPM rata-rata sebesar 7–10 jam tergantung lokasinya. Sumedang terletak pada lintang 6,9° LS, yang berarti lebih dekat ke khatulistiwa dibandingkan Chad, tetapi memiliki LPM yang lebih pendek.

Faktor awan menjadi penyebab pendeknya LPM di Sumedang.

Variasi durasi siang hari di Sumedang sepanjang tahun tidak berubah secara signifikan, selisih durasi siang terpanjang dan terpendek hanya 48 menit. Perbandingan antara lama penyinaran dan durasi siang hari di Sumedang ditunjukkan pada Gambar 3-2. Ada sedikit kenaikan nilai koefisien korelasi antara Gambar 3-1 dan Gambar 3-2, setelah dimasukkan faktor durasi siang hari. Terlihat ada kecenderungan kenaikan LPM selama waktu pengamatan.

Hubungan antara rata-rata harian LPM dalam setiap musim (DJF, MAM, JJA, dan SON) dengan bilangan *sunspot* dan nilai ONI dapat dilihat pada Gambar 3-3. Dalam rentang waktu 1997-2017 terdapat dua kejadian fenomena *El Nino* sangat kuat pada tahun 1997/1998 dan 2015, sedangkan fenomena *La Nina* hanya mencapai level kuat, yang terjadi pada tahun 1999/2000, 2008, dan 2011. Dampak *El Nino* di Indonesia adalah kemarau panjang dari kondisi normal terlihat pada bertambahnya nilai rata-rata harian LPM pada musim hujan (DJF) yaitu pada tahun 1997/1998 dan tahun 2015/2016. Sementara itu, dampak *La Nina* dengan peningkatan intensitas curah hujan terlihat dengan berkurangnya LPM pada musim peralihan kemarau ke musim hujan (SON).

Siklus matahari maksimum yang menunjukkan matahari menjadi lebih aktif terjadi sebanyak dua kali dan siklus matahari minimum yang menunjukkan matahari menjadi kurang aktif terjadi tiga kali selama tahun pengamatan. Pada Gambar 3-3 terlihat adanya hubungan terbalik antara bilangan matahari dengan LPM yang terjadi pada musim hujan (DJF). Ketika matahari aktif yang ditandai dengan bilangan *sunspot* yang tinggi, matahari mengemisikan energinya lebih tinggi dibandingkan ketika matahari memiliki bilangan *sunspot* yang rendah. Semakin tinggi energi yang dipancarkan oleh matahari maka semakin tinggi pula energi penguapan, sehingga penutupan awan semakin besar dan mengurangi LPM.



Gambar 3-3: Rata-rata harian LPM pada setiap musim dan kaitannya dengan nilai ONI dan bilangan *sunspot*

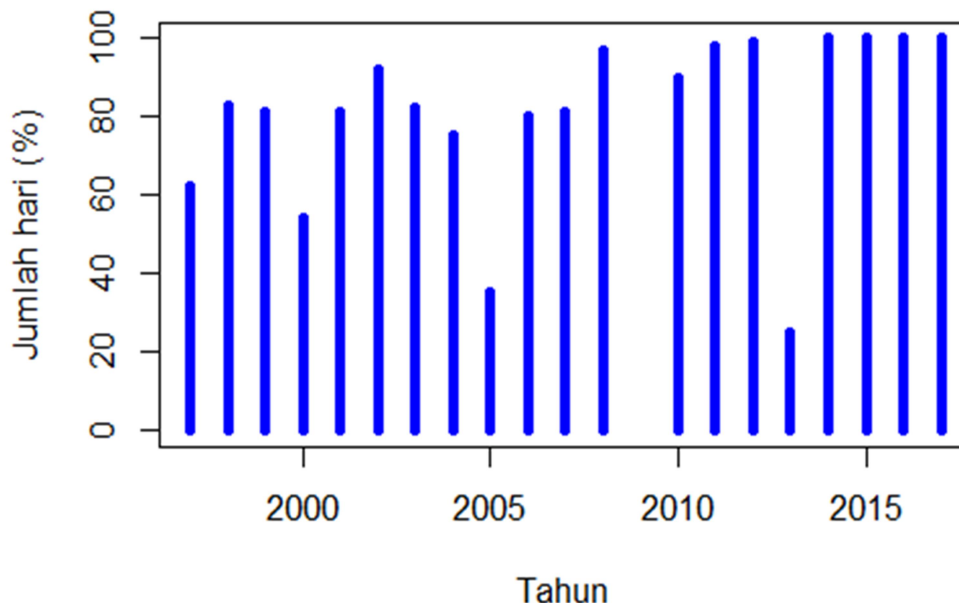
3.2 Analisis Musiman

Gambar 3-4 adalah persentase jumlah hari ketersediaan data per tahun yang digunakan di dalam kajian ini. Pengukuran LPM sebelum tahun 2011 umumnya tidak dilakukan pada hari Minggu dan hari libur, namun sejak tahun 2012 telah dilakukan pengukuran secara terus-menerus. Secara umum jumlah data pengukuran LPM hingga tahun 2011 adalah 35% sampai 98% dan sejak tahun 2012 adalah 100% per tahunnya, kecuali tahun 2013 sebesar 35%.

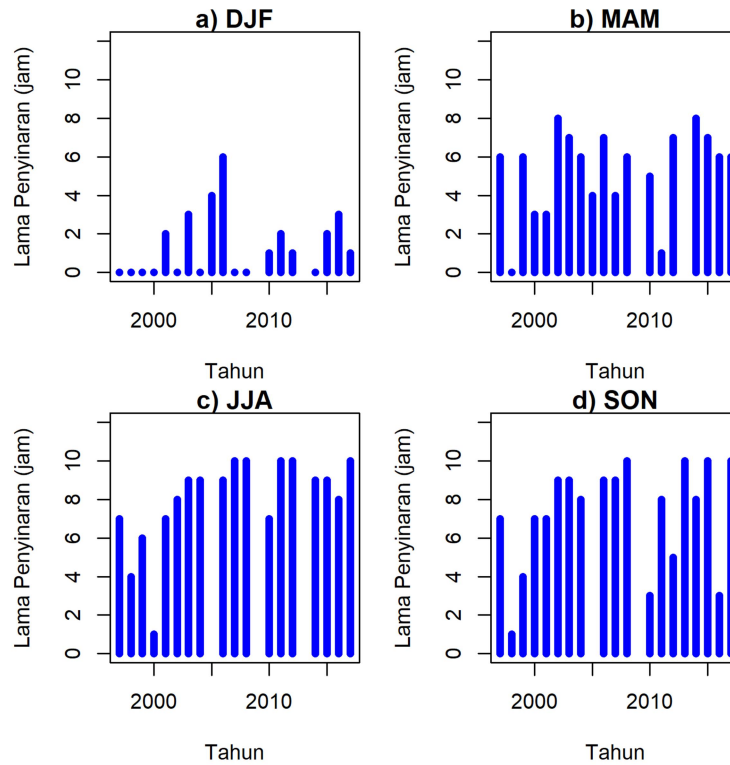
Gambar 3-5 adalah frekuensi tertinggi kejadian LPM untuk tiap-tiap musim pada periode pengamatan 1997-2017. Tidak ditemukan pola penyinaran matahari yang spesifik pada musim hujan DJF maupun musim peralihan MAM. Pada bulan DJF umumnya penyinaran terjadi dalam waktu yang singkat bahkan tidak ada penyinaran sama sekali, namun tidak demikian halnya dengan musim kemarau JJA dan musim peralihan SON. Pada kedua musim ini (JJA dan SON) ditemukan pola yang menunjukkan pertambahan LPM dari tahun ke tahun, terutama dari

tahun 1997 hingga 2008. Meskipun pada musim hujan DJF tidak terlihat adanya pola spesifik namun LPM untuk tahun 2001-2006 seolah-olah terjadi peningkatan meskipun pada tahun 2002 dan 2004 tidak ditemukan penyinaran maksimum pada musim hujan DJF.

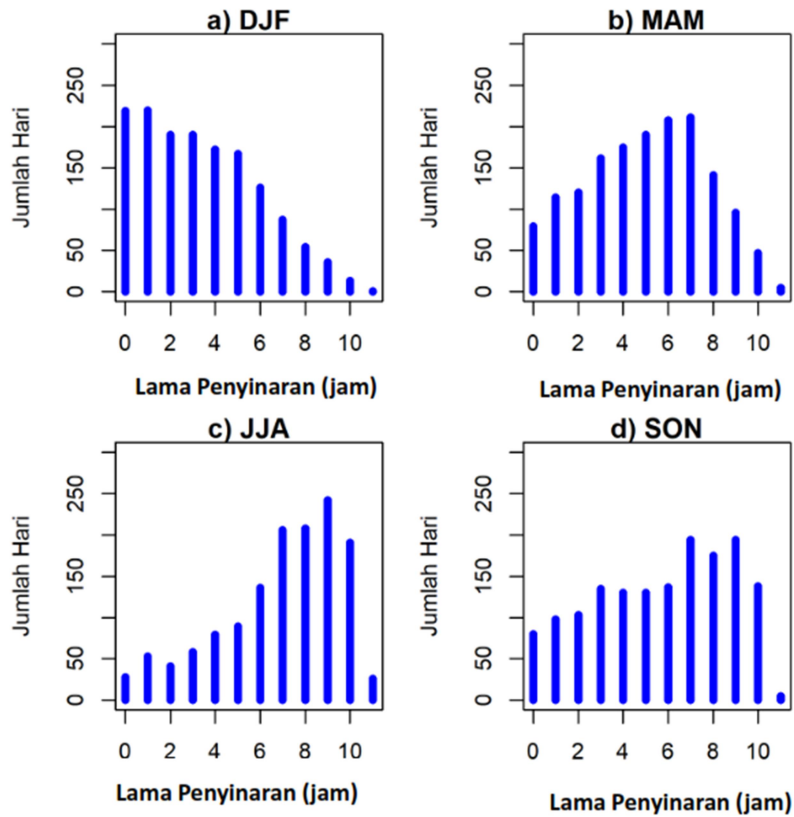
Kambezhidis *et al.* (2012) menyatakan bahwa telah terjadi peredupan sinar matahari (*solar dimming*) secara berkelanjutan yang terjadi di daerah Asia Selatan dengan koefisien peredupan sebesar $-0,54 \text{ Wm}^{-2}\text{tahun}^{-1}$ berdasarkan data tahun 1979-2004. Meskipun makna *solar dimming* tidak dapat diaplikasikan secara penuh pada LPM, namun *solar dimming* menunjukkan fenomena yang bertolak belakang dengan peningkatan LPM seperti ditunjukkan pada Gambar 3-5 bagian c dan d. Hal sebaliknya yang dapat dikaitkan secara langsung terhadap peningkatan LPM adalah *solar brightening* yang disebabkan oleh perubahan komposisi aerosol dan penutupan awan, dan dapat dihubungkan juga dengan *global warming*.



Gambar 3-4; Persentase jumlah hari ketersediaan data per-tahun (data tahun 2009 diabaikan).



Gambar 3-5: Frekuensi tertinggi kejadian lama penyinaran matahari pada empat musim: a) DJF, b) MAM, c) JJA, dan d) SON



Gambar 3-6: Jumlah hari berdasarkan lama penyinaran matahari tahun 1997-2017 di BPAA Sumedang dikelompokkan berdasarkan musim (DJF=1.534 hari, MAM=1.640 hari, JJA=1.449 hari, SON=1.549 hari).

Gambar 3-6 merupakan jumlah hari berdasarkan LPM dalam empat musim yang berbeda. Pada musim hujan DJF (Gambar 3-6a), sebanyak 30% jumlah hari data memiliki lama penyinaran yang sangat dominan sebesar 0-1 jam/hari. Hal ini diartikan sebagai sangat singkatnya LPM meskipun panjang siang pada musim DJF adalah relatif lebih panjang dibandingkan musim yang lain (Gambar 3-9). Lama penyinaran yang singkat umumnya terjadi pada cuaca yang sangat mendung, lembap, atau bahkan hujan sepanjang hari, dan merupakan salah satu ciri daerah hujan tropis. Sebaliknya, LPM sebesar ≥ 8 jam/hari hanya berjumlah 7% dari keseluruhan jumlah hari data di dalam periode pengukuran ini.

Pada gambar 3-6b yaitu musim peralihan MAM, pola penyinaran matahari menyerupai distribusi normal, dan memiliki frekuensi terbesar pada lama penyinaran 7 jam/hari yaitu sebesar 14% dari jumlah seluruh hari. Pada musim ini, hari-hari yang tidak memiliki penyinaran sama sekali hanya berjumlah 5%, dan hari-hari yang memiliki lama penyinaran sepanjang 11 jam adalah sebanyak 1% yang terjadi pada tahun 2012. Sementara itu, LPM pada rentang 4-7 jam adalah sebesar 51%.

Pada musim kemarau JJA yang memiliki panjang siang lebih singkat dibandingkan dengan musim DJF dan SON, lama penyinaran nol jam tercatat sebanyak 28 hari (2%) dan terjadi penambahan jumlah hari mengikuti pertambahan lama penyinaran hingga mencapai jumlah terbanyak sebanyak 242 hari (18%) pada lama penyinaran 9 jam. Pada Gambar 3-9 terlihat bahwa panjang siang pada musim JJA memiliki rentang antara 11,6 jam hingga 11,9 jam per hari sehingga dapat diduga kuat bahwa penyinaran matahari pada pagi dan sore hari memiliki insolasi yang sangat kuat ($>120 \text{ W/m}^2$) dan dapat dikaitkan dengan *optical path* sinar

matahari yang relatif lebih kecil/pendek. Hal ini berakibat pada berkurangnya kemampuan atmosfer bumi dalam melemahkan sinar matahari terutama pada pagi dan sore hari.

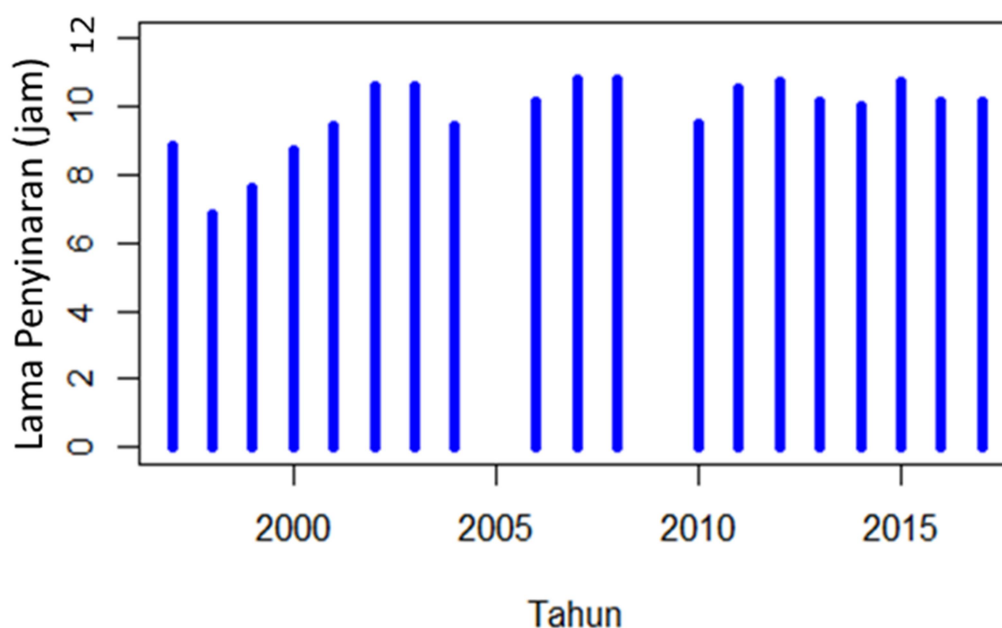
Pada musim peralihan dari kemarau ke hujan (SON), lama panjang siang perlahan-lahan bertambah dari 11,9 menjadi 12,4 jam/hari, dan bumi dalam pergerakan semu menuju titik balik selatan (menjauhi matahari). Pada musim peralihan dari musim kemarau ke musim hujan mulai terbentuk awan-awan yang berpotensi menghalangi sinar matahari, bahkan seringkali ditandai dengan dimulainya turun hujan meskipun dengan intensitas yang rendah. LPM pada musim ini tidak memiliki pola yang spesifik bahkan memiliki rentang yang lebar dari tidak ada penyinaran matahari hingga 10 jam dengan jumlah hari kejadian yang tidak jauh berbeda, yaitu antara 100 hingga 200 hari. Jumlah hari kejadian untuk LPM 11 jam adalah 5 hari, dan ini dapat diabaikan karena persentasenya sangat kecil (0,3%).

LPM terpanjang tahunan ditunjukkan pada Gambar 3-7. Dari Gambar 3-7 terlihat bahwa pada 6 tahun pertama lama penyinaran maksimum secara umum bertambah dari tahun ke tahun, dan menjadi lebih dari 10 jam/hari pada tahun-tahun berikutnya. Dari pengolahan yang dilakukan, diperoleh bahwa lama penyinaran terpanjang tiap tahun pada umumnya terjadi pada bulan Agustus–September, dan tidak ditemukan lama penyinaran terpanjang pada bulan DJF. Sementara itu, bulan Agustus–September mengalami siang yang lebih singkat dibandingkan dengan bulan-bulan lainnya. Bulan Agustus dikenal sebagai bulan kering dan bulan September merupakan musim pergantian dari kering ke basah. Pada musim kemarau kandungan uap air di atmosfer menjadi sedikit sehingga kemampuan pelemahan sinar matahari oleh atmosfer menjadi berkurang. Ketika

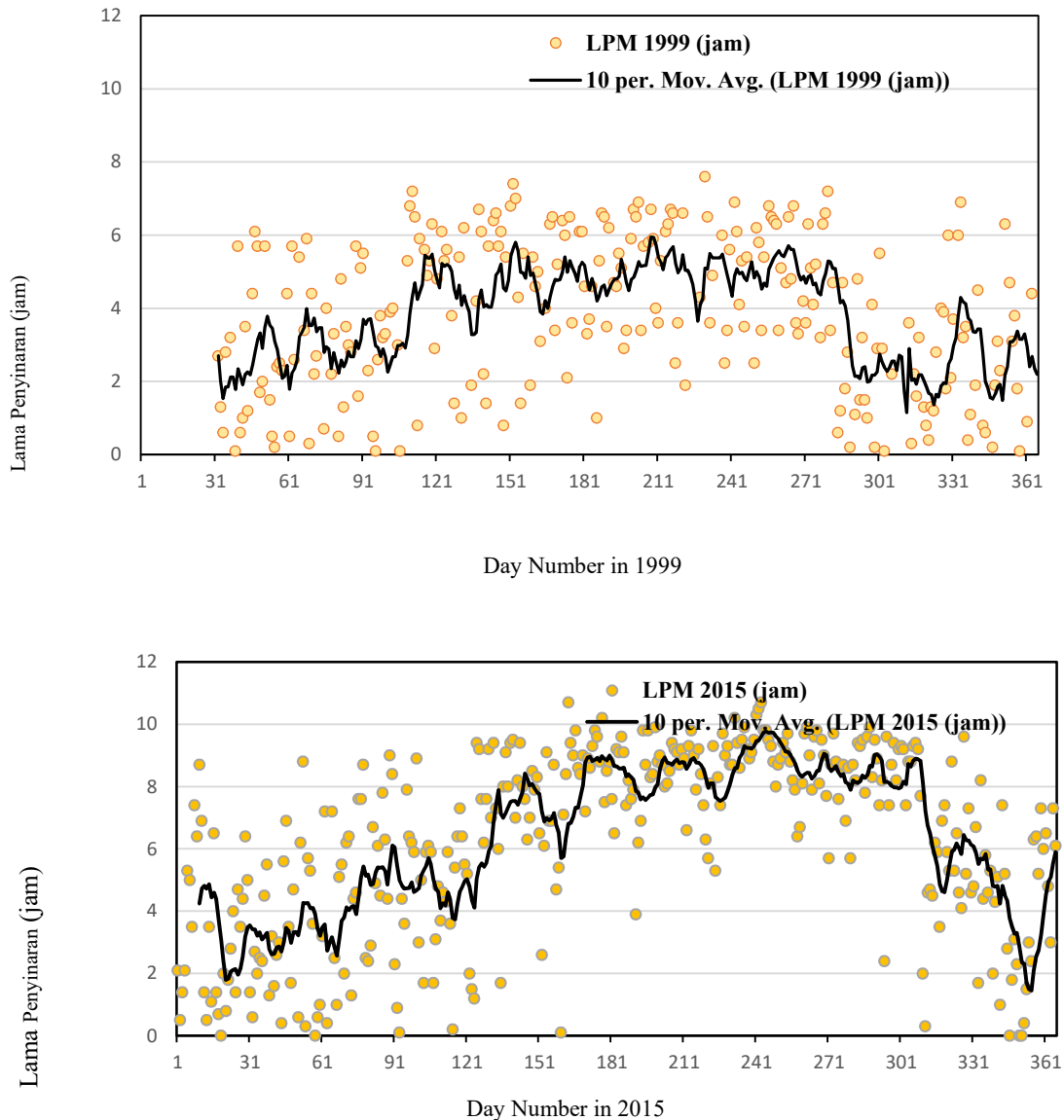
pagi/sore hari, saat sudut ketinggian (*altitude*) matahari sangat kecil maka atenuasi sinar matahari menjadi lebih besar dibandingkan saat sudut ketinggian matahari bernilai besar, yang disebabkan oleh pembiasan oleh komponen-komponen penyusun atmosfer terutama uap air. Ketika jumlah uap air di atmosfer berkurang (yaitu saat musim kemarau) maka faktor pelemahan matahari saat sudut ketinggian matahari kecil juga berkurang, sehingga sangat mudah mendapatkan intensitas matahari melebihi 120 W/m^2 . Hal ini berpotensi menambah durasi LPM.

Pada Gambar 3-8 ditunjukkan hasil pengukuran LPM pada dua tahun yang berbeda yaitu tahun 1999 (gambar atas) dan tahun 2015 (gambar bawah). Tahun 1999 merupakan tahun *La Nina* yang ditandai dengan tingginya curah hujan, sedangkan tahun 2015 merupakan tahun *El Nino* yang ditandai dengan kekeringan akibat berkurangnya intensitas curah hujan. Jumlah data tahun 1999 adalah sebanyak 81% (294 hari) dan tahun 2015 sebanyak 100%. Jarak waktu yang cukup panjang antara

kedua tahun tersebut (16 tahun) dapat menggambarkan pola jangka panjang LPM. Data LPM pada kedua tahun tersebut (1999 dan 2015) diolah dengan cara yang sama untuk setiap tahunnya, dan menunjukkan pola yang sama juga, yaitu memiliki rentang variasi yang lebar pada awal dan akhir tahun, dan cenderung menyempit pada nilai maksimum di tengah-tengah tahun. Rentang variasi yang lebar dapat dihubungkan dengan pertumbuhan ataupun pergerakan awan yang terlihat lebih aktif sehingga terjadi fluktuasi dan frekuensi yang tinggi dan menyebabkan intensitas radiasi matahari juga berubah-ubah. *Threshold* untuk LPM adalah 120 W/m^2 sehingga pendeknya LPM pada suatu waktu berkaitan dengan lamanya intensitas matahari yang melebihi kekuatan 120 W/m^2 . Di tahun 2015 pada *day number* 200-300 terlihat LPM mencapai durasi yang relatif lebih tinggi dalam tahun tersebut, bahkan juga lebih tinggi dibandingkan dengan tahun 1999. Ini berarti bahwa penyinaran matahari pada tahun 2015 lebih lama dibandingkan dengan tahun 1999.



Gambar 3-7: Lama penyinaran terpanjang tahunan, kecuali tahun 2005 dan 2009.



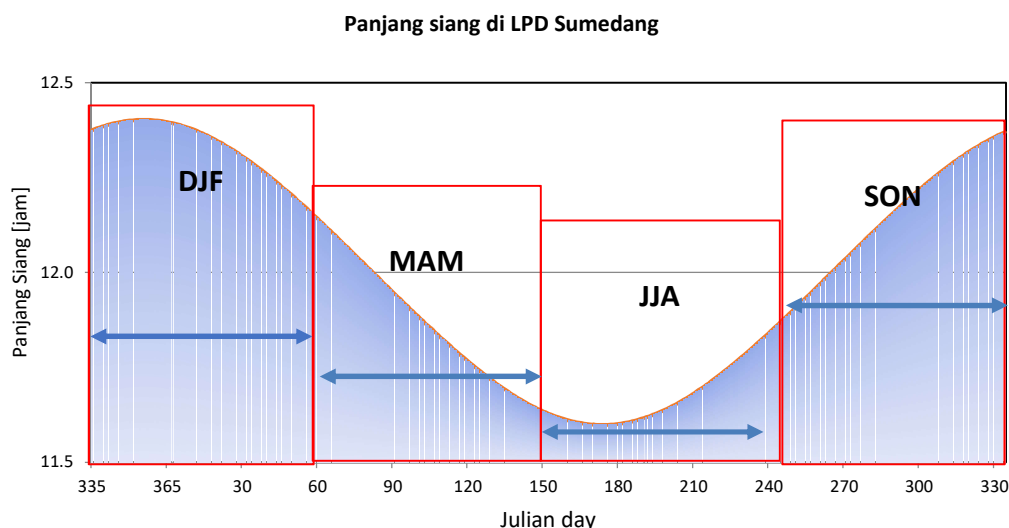
Gambar 3-8: Hasil pengukuran lama penyinaran matahari pada tahun 1999 (atas) dan tahun 2015 (bawah). Tidak ada data yang direkam pada bulan Januari 1999.

Perbedaan LPM pada tahun 1999 dan 2015 tidak bersesuaian dengan aktivitas matahari pada kedua tahun tersebut tetapi dipengaruhi oleh fenomena *El Nino* dan *La Nina*, hal ini ditunjukkan pada Gambar 3-3. Aktivitas matahari yang lebih tinggi pada tahun 1999 tidak menyebabkan LPM juga menjadi lebih tinggi, karena aktivitas matahari berkaitan dengan jumlah energi matahari yang sampai di permukaan bumi. Aktivitas matahari ditandai dengan *solar flare* yang terjadi dalam bentuk pulsa-pulsa dan bersifat tidak kontinu terhadap rentang waktu

tertentu khususnya pada siang hari. Adanya *solar flare* tidak secara langsung memperpanjang LPM karena lama penyinaran berkaitan dengan intensitas minimal sebesar 120 W/m^2 , sedangkan intensitas radiasi matahari tingkat permukaan pada siang hari pada umumnya melebihi nilai tersebut. Kejadian *La Nina* tahun 1999 menyebabkan penutupan awan relatif lebih tinggi dari tahun 2015 yang merupakan tahun kejadian *El Nino*. Ini menyebabkan perbedaan lama penyinaran yang relatif besar.

Gambar 3-9 adalah panjang siang di BPAA Sumedang dalam periode satu tahun yang diperhitungkan dengan persamaan (2-1) dan (2-2). Grafik dimulai pada tanggal 1 Desember yaitu Julian Number 335 dan diakhiri pada tanggal 30 November, hal ini untuk memudahkan pengelompokan berdasarkan musim. Dari perhitungan diperoleh panjang siang tersingkat selama 11,6 jam dan terpanjang selama 12,4 jam. Perbedaan panjang siang hari disebabkan karena poros bumi dan bidang ekliptika ketika mengelilingi matahari membentuk sudut $23,45^\circ$. Di daerah khatulistiwa perbedaan durasi siang hari sepanjang tahun sama yaitu 12 jam. Semakin ke arah kutub perbedaan siang hari sepanjang tahun semakin besar. Bahkan daerah kutub pada periode tertentu mengalami siang hari terus-menerus sepanjang hari selama enam bulan, dan enam bulan berikutnya mengalami malam sepanjang hari.

Di Sumedang dengan perbedaan durasi siang terpanjang dan terpendek hanya sekitar 48 menit, durasi siang tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap LPM, namun berhubungan dengan koefisien pelemahan (*extinction*) atmosfer, khususnya pada pagi dan sore hari ketika sudut ketinggian matahari bernilai kecil. Pada siang hari di daerah ekuator umumnya memiliki intensitas insolasi yang jauh lebih besar di atas nilai 120 W/m^2 sebagai syarat minimum terjadinya penyinaran. Namun demikian, aktivitas yang tinggi dalam pembentukan awan menyebabkan insolasi melemah secara tajam jika wilayah pengukuran tertutupi oleh awan. Jika penutupan awan menyebabkan penurunan insolasi hingga di bawah 120 W/m^2 maka pada saat itu tidak terjadi penyinaran.



Gambar 3-9: Panjang siang di Balai Pengamatan Atmosfer Sumedang (Julian day 1 = 1 januari dan 365 = 31 Desember)

4 KESIMPULAN

Kesimpulan umum yang dapat diambil dari analisis data LPM di BPAA Sumedang periode tahun 1999-2017 adalah ditemukannya tren kenaikan

LPM baik secara deret waktu maupun secara musiman. Variasi nilai LPM pada musim peralihan terdistribusi secara lebih lebar hingga 9 jam/hari dibandingkan pada musim kemarau dan

hujan. Pada musim hujan (DJF) persentase lama penyinaran terbanyak (23% jumlah hari data) adalah 0-1 jam/hari dan terdistribusi mengikuti distribusi normal. Sebaliknya, musim kemarau (JJA) persentase LPM terbanyak (18% hari data) adalah 8-9 jam/hari namun tidak ditemukan penyinaran matahari yang melebihi 11 jam/hari. Sementara itu pada musim peralihan (MAM), LPM terdistribusi secara merata dengan nilai tidak melebihi 8 jam/hari, meskipun masih ditemukan LPM lebih dari 8 jam dengan jumlah persentase hari data yang kecil (sedikit). Pada musim peralihan SON, LPM rata-rata mencapai hingga 9 jam/hari dan hanya beberapa hari saja yang mencapai 10-11 jam/hari. Selain itu, *sunspot number* terlihat berpengaruh terhadap LPM pada musim bulan DJF dengan efek berkebalikan. Sementara pengaruh El-Nino menyebabkan peningkatan lama penyinaran pada bulan DJF, sedangkan La-Nina menurunkan lama penyinaran pada bulan SON.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada BPAA Sumedang yang telah menyediakan data primer, Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer yang telah memfasilitasi penelitian ini, serta kawan-kawan di Kelompok Penelitian Lingkungan Atmosfer atas diskusi-diskusinya.

DAFTAR RUJUKAN

Arking, A., M.-D. Chou, and W. L. Ridgway, 1996. *On estimating the effect of clouds on atmospheric absorption based on flux observations above and below cloud level*, Geophysical Research Letter 23, 829-832.

Barker, H. W., and Z. Li, 1997. *Interpreting shortwave albedo-transmittance plots: True or apparent anomalous absorptions*, Geophysical Research Letter 24, 2023-2026.

Cess, R. D., et al., 1995. *Absorption of solar radiation by clouds: Observations versus models*, Science 267, 496-499.

Cess, R. D., M. H. Zhang, Y. Zhou, X. Jing, and V. Dvortsov, 1996: *Absorption of solar radiation by clouds: Interpretations of satellite, surface, and aircraft measurements*, Journal of Geophysical Research 101, 299-309.

Goni S. H.A. Adannou, D. Diop. M.S. Drame, B. Tikri, M. Barka, dan A.C. Beye. 2019. *Long-Term Variation of Sunshine Duration and Their Inter-Action with Meteorological Parameters over Chad, Centrak Africa*. Natural Resources 10, 47-58

Hamdi dan Sumaryati, 2014. *Distribusi lama penyinaran matahari di LPD Sumedang (6,91° LS dan 107,84° BT) LAPAN*, Prosiding pertemuan ilmiah XXVIII HFI Jateng & DIY, Yogyakarta. 153-157.

Hill, C. and R.L. Jones, 2000. *Absorption of solar radiation by water vapour in clear and cloudy skies: Implications for anomalous absorption*. Journal of Geophysical Research 105(D7), 9421-9428.

Hoesin, H., 1983. *Penelitian Ketersediaan Tenaga Radiasi Matahari di Indonesia*, Laporan Teknis Lembaga Fisika Nasional – LIPI, Bandung.

Kaba K., H.M Kardimaz, dan M. Avi, 2017. *Estimation of Daily Sunshine Duration Using Support Vector Machine*. International Journal of Green Energy 14 (4), 340-441.

Kambezis, H.D., D.G. Kaskoutis, S.K. Kharol, K.K. Morthy, S.K. Satheesh, M.C.R. Kalapureddy, K.V.S. Badarinath, A.R. Sharma and M. Wild, 2012. *Multi-decadal variation of the net downward shortwave radiation over south Asia : The dimming effect*, Atmospheric Environment 50, 360-372.

Kandirmaz H.M. dan K. Kaba, 2014. *Estimation of Daily Sunshine Duration from Terra and Aqua MODIS Data*. Advances in Meteorology 2014, ID613267.

Khalil, S.A. and A.M. Fathy, 2008. *An Empirical Method for Estimating Global Solar*

- Radiation Over Egypt*, Acta Polytechnica 48(5), 48-53.
- Lakitan, Benyamin, 1994. *Dasar-dasar Klimatologi*. Jakarta: PT Rajawali Grafindo.
- Ma, Z.-F., J. Liu, S.-Q. and Zhang, 2013. *Observed climate changes in Southwest China during 1961-2010: impacts and adaptation*. Advances in Climate Change Research 4(1), 30-40.
- Matuszko D. 2011. *Influence of Cloudiness on Sunshine Duration*. International Journal of Climatology 32, 1527-1536.
- Ren, G.Y., J. Guo, M.Z. Xuo, et.al., 2005. *Climate changes of China's mainland over the past half century*. Acta Meteorologica Sinica, 63(6), 942-956.
- Shi, F.S., N. Wu, and P. Luo, 2008. *Effect of temperature enhancement on community structure and biomass of subalpine meadow in northwestern Sichuan*. Acta Ecologica Sinica, 28(11), 5287-5288.
- Tjasyono, B., 2004. *Klimatologi*. Bandung: Penerbit ITB.
- Wisnubroto, 2006. *Meteorologi Pertanian Indonesia*. Jakarta: Mitra Gama Widya.
- WMO, 2008. *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*. WMO-No.8 seventh edition.
- Yatini, C.Y., 2004. *Variasi Konstanta Matahari dan Kaitannya dengan Aktivitas Matahari*, Jurnal Fisika Himpunan Fisika Indonesia, 420, A4.
- Zhao C.Y, Y. Wang, X.Y. Zhou, Y. Cui, Y.L. Liu, D.M. Shi, H.M. Yu, and Y.Y. Liu, 2013: *Changes in climatic factors and extreme climate events in Northeast China during 1961-2010*, Advances in Climate Change Research, 4(2), 92-102.