

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perubahan iklim tergolong isu hangat yang saat ini ramai di perbincangkan dalam berbagai kegiatan forum ilmiah. Studi perubahan iklim melibatkan analisis iklim masa lalu, kondisi iklim saat ini, dan estimasi kemungkinan iklim di masa yang akan datang (beberapa dekade atau abad kedepan). Perubahan iklim ini disebabkan oleh meningkatnya gas rumah kaca yang sebagian besar diakibatkan dari sektor industri. Pabalik (2015) menyebutkan gas rumah kaca yang meningkat dapat menimbulkan efek dan mempercepat proses terjadinya pemanasan global dan meningkatkan frekuensi peristiwa cuaca ekstrem.

Perubahan iklim akan mengakibatkan peningkatan kejadian ekstrem, seperti perubahan intensitas curah hujan ekstrem, suhu udara ekstrem, intensitas badai dan tornado, serta perubahan percepatan siklus hidrologi di permukaan bumi yang ditandai dengan meningkatnya frekuensi bencana (Handoko 2019). Salah satu bencana yang sering terjadi di Indonesia adalah terjadinya curah hujan ekstrem yaitu ekstrem basah maupun ekstrem kering. Kejadian curah hujan ekstrem kering atau kekeringan sangat berpengaruh dalam berbagai sektor, seperti sektor pertanian, kehutanan, perkebunan, dan lingkungan. Pulau Sumatera merupakan pulau yang sangat merasakan dampak dari kejadian curah hujan ekstrem, karena Pulau Sumatera memiliki semua sektor tersebut.

Kekeringan adalah bencana alam yang terjadi secara perlahan dan berlangsung lama hingga datangnya musim hujan. Kekeringan tidak datang secara tiba-tiba, sehingga dapat dilakukan persiapan dan kesiapsiagaan dalam menghadapi bencana kekeringan. Oleh karena itu diperlukan suatu gambaran kejadian kekeringan pada masa yang akan datang (proyeksi) peristiwa kekeringan. Hal ini dapat diperoleh dengan menghitung informasi mengenai karakteristik kekeringan dapat dicari menggunakan index kekeringan. Dalam penelitian ini, index kekeringan yang digunakan adalah *Standardized Precipitation Index* (SPI) merupakan salah satu index kekeringan meteorologi yang paling banyak digunakan untuk memonitor kekeringan. Beberapa penelitian menyatakan bahwa SPI dapat menggambarkan kondisi kekeringan dengan baik, SPI hanya membutuhkan satu parameter masukan dalam proses perhitungannya, yaitu curah hujan. Seperti pada penelitian yang dilakukan Shah *et al.* (2015) memperlihatkan bahwa SPI dapat menggambarkan kondisi kekeringan mirip dengan kondisi aktualnya di Gujarat. Hayes *et al.* (2011) mengungkapkan bahwa SPI menjadi index yang direkomendasikan untuk analisis tingkat kekeringan di seluruh dunia. *World Meteorological Organization* (WMO) turut merekomendasikan agar menggunakan SPI dalam menganalisa tingkat kekeringan (WMO 2012).

Peristiwa terjadinya kekeringan merupakan bencana alam yang erat kaitanya dengan faktor cuaca dan terjadi secara berulang. Oleh karena diperlukan data cuaca yang cukup panjang untuk mengetahui historis keadaan cuaca sebelumnya. Jenis unsur iklim yang diamati dan periode pengamatan pun masih terbatas. Problematika kelengkapan data iklim di Indonesia masih sulit untuk diperoleh, baik dari kelengkapan panjang data mapupun dari lokasi yang diinginkan.

Permasalahan mengenai data yang sering terjadi dapat diatasi dengan pemodelan iklim numerik yang saat ini sudah banyak di gunakan. (*Global Climate Model/GCM*) adalah model iklim yang dapat digunakan untuk membangun data iklim jangka panjang baik data historis maupun proyeksi. Wigena (2006). Informasi data iklim historis dan proyeksi yang memiliki skala spasial dan temporal tinggi diperlukan dalam kajian iklim pada skala regional yaitu pada cakupan wilayah Pulau Sumatera. GCM pun masih memiliki kekurangan yaitu masih berskala global dengan hasil luaran dengan resolusi spasial yang kasar (100-250) km skala spasial dan bila digunakan untuk kajian pada skala regional tidak memadai menurut (Salathe 2003). Sulitnya mendapatkan informasi skala lokal atau regional tersebut sekarang dapat diselesaikan dengan menggunakan model iklim regional (*Regional Climate Models/RCM*) dengan melakukan pendekatan *downscaling* statistik maupun dinamik untuk memperoleh informasi iklim dengan resolusi tinggi dan lebih detail.

Output dari simulasi RCM biasanya masih memiliki bias dan dapat memberikan informasi yang berbeda baik secara temporal juga spasial dibandingkan dengan menggunakan data observasi hal ini sesuai dengan (Christensen *et al.* 2008; Teutschbein dan Siebert 2010; Varis *et al.* 2004). Penelitian yang dilakukan mengadopsi metode yang digunakan oleh Piani *et al.* (2010). Secara spesifik metode Piani *et al.* (2010) digunakan untuk memperbaiki distribusi data luaran model sehingga mendekati dengan distribusi data observasi.

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana memanfaatkan luaran model RCM sebelum dan sesudah dikoreksi untuk digunakan dalam melihat karakteristik historis index kekeringan yang terjadi serta melihat proyeksi index kekeringan di Pulau Sumatera.

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Membandingkan data model luaran RCM CORDEX-SEA dan *ensemble* model sebelum dan sudah di koreksi bias dengan data observasi
2. Melakukan analisis index kekeringan dengan membandingkan *Standardized Precipitation Index* (SPI) historis dan SPI proyeksi di wilayah Sumatera.

1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan informasi awal dalam memonitor, membuat perencanaan dan kesiapsiagaan dalam menghadapi kejadian kekeringan di Pulau Sumatera berdasarkan *Standardized Precipitation Index* (SPI).

II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kekeringan

Kekeringan didefinisikan sebagai kekurangan curah hujan dalam periode waktu tertentu (umum-nya dalam satu musim atau lebih) yang menyebabkan kekurangan air untuk berbagai kebutuhan (UN-ISDR 2009). Kekurangan air tersebut berpengaruh terhadap berbagai sektor diantaranya sektor pertanian, kehutanan, perkebunan, lingkungan dan sektor lainnya.

Pada umumnya kekeringan tidak tiba-tiba datangnya seperti banjir atau kejadian gempa bumi, namun secara perlahan lahan terjadi dan sangat mudah diabaikan, sehingga awal dan berakhirnya kekeringan sulit ditentukan dengan tepat (Vicente-Serrano *et al.* 2010).

Bakornas (2007) secara umum mengklasifikasikan kekeringan di bagi menjadi dua yaitu kekeringan alamiah dan kekeringan antropogenik. Kekeringan alamiah yang terjadi dibagi lagi menjadi empat kasifikasi berdasarkan dampak yang diakibatkan seperti yang disebutkan oleh Mishra dan Singh (2010), antara lain :

1. Kekeringan meteorologis sangat tergantung dengan curah hujan yang turun di bawah normal dalam satu musim. Kekeringan meteorologis merupakan indikasi pertama adanya kekeringan.
2. Kekeringan hidrologis berhubungan erat dengan kekurangan pasokan air permukaan dan air tanah. Kekeringan diukur berdasarkan ketenggian muka air sungai, waduk, danau dan muka air tanah. Kekeringan hidrologi bukan merupakan indikasi dari awal mula kekeringan
3. Kekeringan pertanian berkaitan dengan kekurangan lengas tanah (kandungan air dalam tanah) sehingga tidak mampu mencukupi kebutuhan tanaman tertentu pada periode waktu tertentu pada wilayah yang luas. Kekeringan pertanian terjadi setelah terjadinya kekeringan meteorologi.

Kekeringan sosial ekonomi berhubungan dengan kondisi pasokan komoditi ekonomi kurang dari kebutuhan normal akibat dari kejadian kekeringan meteorologi, hidrologi, dan pertanian.

2.2 Index Kekeringan

Kekeringan yang terjadi dengan waktu yang perlahan-lahan hingga sangat mudah terabaikan, hal ini akan menyulitkan jika tidak diketahui. Sehingga diperlukan sebuah metode untuk mengkuatifikasi kekeringan, dengan metode indeX kekeringan. Index kekeringan berperan penting dalam meminitor bahaya kekeringan, karena digunakan untuk menentukan awal dan akhir dari kejadian kekeringan, serta digunakan untuk melihat tingkat kekeringan yang dialami. Menurut Hounam *et al.* (1975) penentuan tingkat kekeringan bertujuan untuk:

1. Mengevaluasi kecenderungan klimatologis menuju keadaan kering atau tingkat kekeringan dari suatu wilayah.
2. Memperkirakan kebutuhan air irigasi pada suatu luasan tertentu.
3. Mengevaluasi kekeringan pada suatu tempat secara lokal.
4. Melaporkan secara berkala perkembangan kekeringan secara regional

Index kekeringan juga memiliki skala waktu yang digunakan untuk menganalisis kekeringan yaitu bulanan dan tahunan, namun dengan skala waktu yang berbeda-beda. Skala waktu bulanan merupakan skala waktu yang memiliki

ketepatan dalam memantau dampak kekeringan, baik kekeringan pertanian dan hidrologi (Mishra dan Singh 2010).

Jenis-jenis Index kekeringan banyak macamnya, antara lain *Palmer Drought Severity Index* (PDSI; Palmer 1965), *Standardized Precipitation Index* (SPI; McKee *et al.* 1993), *Effective Drought Index* (EDI; Byun dan Wilhite 1999), *The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index* (SPEI; Vicente-Serrano *et al.* 2010), *Crop Moisture Index* (CMI; Palmer 1968), *The Soil Moisture Drought Index* (SMDI; Hollinger *et al.* 1993) dan masih banyak lagi. Index tersebut diciptakan disesuaikan dengan hal yang melatar belakangi kejadian kekeringan, proses, input, dan output masing-masing dari daerah tersebut. Berdasarkan deklarasi Lincoln tahun 2009 membahas mengenai index kekeringan dan sistem peringatan dini kekeringan (*Drought Early Warning Systems*) menyatakan bahwa *Standardized Precipitation Index* direkomendasikan untuk memonitoring tingkat kekeringan meteorologis diseluruh dunia (Hayes *et al.* 2011).

2.3 Standardized Precipitation Index (SPI)

Metode Index kekeringan SPI digunakan untuk menentukan index penyimpangan curah hujan terhadap normalnya dalam satu periode (bulanan, dua bulanan, tiga bulanan dan seterusnya). Metode SPI ini dikembangkan oleh McKee *et al.* (1993). Metode ini merupakan model untuk mengukur defisit curah hujan pada berbagai periode berdasarkan kondisi normalnya.

McKee *et al.* (1993) menggunakan klasifikasi di bawah ini untuk mengidentifikasi intensitas kekeringan, dan juga kriteria kejadian kekeringan untuk skala waktu tertentu. Kekeringan terjadi pada waktu SPI secara berkesinambungan negatif dan mencapai intensitas kekeringan dengan SPI bernilai -1 atau kurang, sedangkan kekeringan akan berakhir apabila nilai SPI menjadi positif.

Tabel 1 Klasifikasi skala nilai SPI (McKee *et al.* 1993)

Nilai SPI	Kategori
> 2,00	Sangat basah
1,50 ~ 1,99	Basah
1,00 ~ 1,49	Agak basah
-0,99 ~ 0,99	Normal
-1,49 ~ -1,00	Agak kering
-1,99 ~ -1,50	Kering
< -2,00	Sangat kering

SPI merupakan index kekeringan meteorologi yang umum digunakan dalam banyak penelitian, dapat diaplikasikan diberbagai zona iklim dan digunakan oleh berbagai lembaga penelitian, bahkan *World Meteorological Organization* (WMO) pun merekomendasikan agar menggunakan SPI dalam menganalisa tingkat kekeringan (WMO 2012). Namun, SPI pun tetap memiliki kekurangan SPI yaitu hanya mengukur kondisi defisit curah hujan, nilai index dapat berubah berdasarkan periode data yang digunakan.

2.4 Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Station (CHIRPS)

The Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS) merupakan dataset curah hujan global yang dikembangkan oleh U.S. Geological Survey (USGS) dan CHG. CHIRPS adalah database curah hujan daratan yang dikombinasikan dari tiga informasi curah hujan yaitu klimatologi global, estimasi curah hujan berbasis satelit, dan curah hujan hasil pengamatan in-situ (Funk *et al*, 2014; Funk *et al*, 2015). CHIRPS menggabungkan klimatologi curah hujan bulanan dari Climate Hazards Group Precipitation Climatology (CHP Clim), *quasi-global geostationary thermal infrared satellite observations*, produk Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) 3B42, model atmosfer curah hujan dari NOAA CFS (Climate Forecast System), dan data curah hujan observasi dari berbagai sumber termasuk nasional seperti Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika di Indonesia.

Data CHIRPS merupakan data netcdf dengan resolusi spasial 0,05°. Data CHIRPS merupakan data harian yang mempunyai panjang data sejak tahun 1981 sampai sekarang. Penggunaan series data yang terkini ditujukan agar perhitungan nilai ekstrem menjadi maksimal (Caberaa *et al*. 2016).

2.5 Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment - South East Asia (CORDEX-SEA)

Pada bulan Oktober tahun 2013, Asia-Pacific Network (APN) berkolaborasi dengan tujuh negara diantaranya Indonesia, Malaysia, Filipina, Thailand, Vietnam, Kamboja, dan Laos mengembangkan sebuah program untuk data *Regional Climate Model* yaitu Southeast Asia Regional Climate Downscaling (SEACLID). SEACLID memulai eksperimen mengenai iklim regional yakni dengan menginisiasi membuat suatu sistem *downscaling* dinamis resolusi tinggi untuk domain Asia Tenggara *Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment* (CORDEX) khusus wilayah asia tenggara yaitu (CORDEX-SEA). Tujuan dari pembuatan CORDEX diantaranya untuk menyediakan informasi proyek iklim yang mempunyai resolusi tinggi sektor hidrologis dan pertanian setempat (Yang 2016).

Karakteristik dari CORDEX yaitu resolusi spasialnya 25 km x 25 km. Parameter iklim yang dihasilkan adalah curah hujan, suhu maksimum, dan suhu minimum dengan periode waktu baseline (1950-2005) dan proyeksi (2006-2099) dengan skenario RCP 4.5 dan RCP 8.5. CORDEX menggunakan teknik *dynamical downscaling*.

2.6 Proyeksi Skenario Representative Concentration Pathways (RCP)

Kajian proyeksi iklim menggunakan model CORDEX memerlukan skenario perubahan iklim. IPCC telah mengembangkan skenario yaitu *Representative Concentration Pathways* (RCP). RCP merupakan skenario terbaru yang digunakan oleh IPCC dalam penyusunan *The Fifth Assessment Report* dan skenario tersebut yang digunakan dalam penelitian ini. RCPs didasarkan pada besarnya nilai radiative forcing pada tahun 2100. Dalam kajian ini hanya akan digunakan dua skenario RCPs yaitu RCP 4.5 dan RCP 8.5 yang masing-masing merepresentasikan besarnya *radiative forcing* di tahun 2100 yaitu 4,5 W/m², dan 8,5 W/m². Besarnya *radiative forcing* tersebut juga setara dengan peningkatan konsentrasi CO₂ di atmosfer pada tahun 2100 (Moss *et al*. 2010).

Tabel 2 Data model luaran RCM CORDEX dan tahun baseline serta tahun skenario RCP (Perez 2014)

No	Model	Institusi	Resolusi atmosfer (Lat x lon), Layer	Baseline	RCP 4.5	RCP 8.5
1.	CSIRO MK3.6	CSIRO Atmospheric Research (Australia)	1,9° x 1,9° , L18	2000-2005	2021-2030	2021-2030
2.	GFDL-ESM2M	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (USA)	2° x 2,5° , L24	2000-2005	2021-2030	2021-2030
3.	IPSL-CM5A-LR	Institut Pierre Simon Laplace (Perancis)	2,5° x 3,75° , L24	2000-2005	2021-2030	2021-2030
4.	MPI-ESM-LR	Max Planck Institute for Meteorology (Jerman)	1,9° x 1,9° , L31	2000-2005	2021-2030	2021-2030

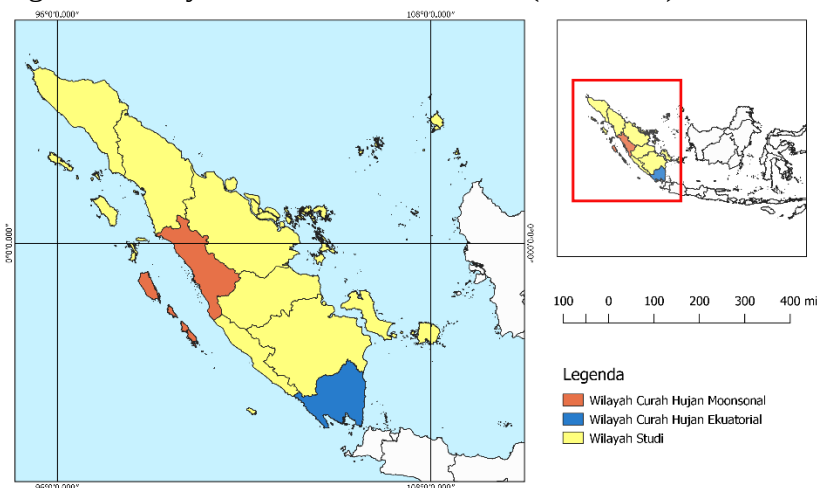
Hak cipta milik IPB University

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
- Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 - Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

III METODE

3.1 Lokasi

Pulau Sumatera merupakan pulau terbesar kedua di Indonesia. Secara astronomis letak pulau Sumatera 113°48'10"-113°48'26" BT dan 7°50'10"-7°56'41" LS. Secara administrasi terdiri 10 Provinsi dari ujung utara yaitu provinsi Nangroe Aceh Darussalam hingga paling selatan Pulau Sumatera yaitu provinsi Lampung. Luas wilayah sekitar 47.479,54 km² (Gambar 1).



Gambar 1 Lokasi penelitian Pulau Sumatera

3.2 Data dan Alat

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data curah hujan curah hujan harian CHIRPS tahun 2000-2005 yang diunduh dari IRI Data Library dengan alamat website <http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/UCSB/CHIRPS/> atau data juga dapat di unduh langsung dari website <http://chg.geog.ucsb.edu/data/chirps/>, Data hujan bulanan luaran dari simulasi CORDEX-SEA yang merupakan hasil *dynamical downscaling* dengan model RCM dari 4 model global, yaitu CSIRO-MK3-6-0, GFDL-ESM2M, IPSL-CM5A-LR, MPI-ESM-MR dan data *ensemble* merupakan rata-rata dari empat model RCM CORDEX-SEA. Data luaran RCM CORDEX-SEA didapatkan dari LIPI yang berkerjasama dengan BMKG, resolusi masing-masing data yaitu 0,25° x 0,25°. Data proyeksi menggunakan data curah hujan luaran CORDEX-SEA dengan skenario RCP 4.5 dan RCP 8.5 tahun 2020-2030. Tabel 2 merupakan berbagai jenis data luaran model RCM CORDEX-SEA serta tahun yang digunakan untuk diteliti dalam penelitian.

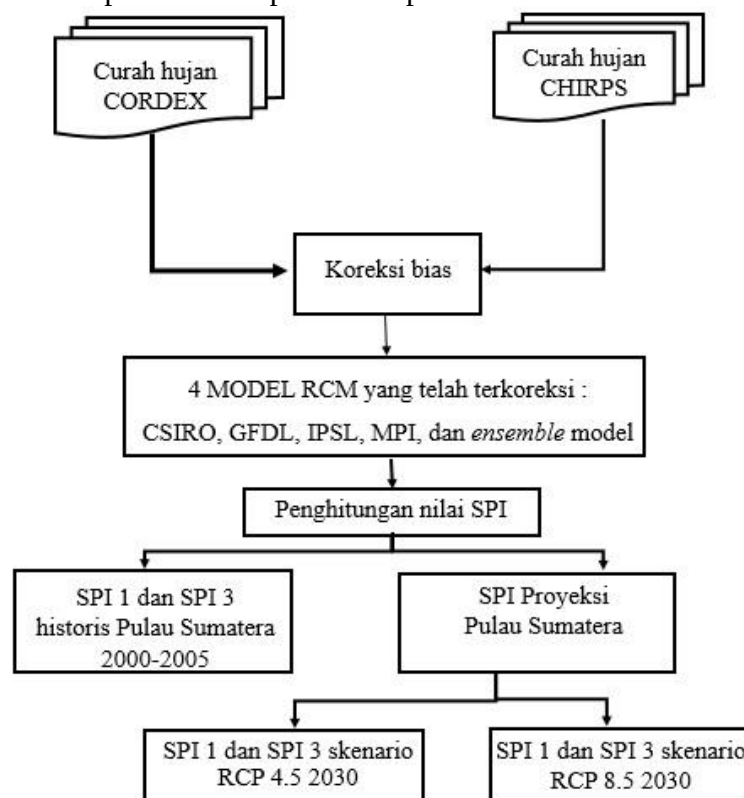
Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi beberapa piranti lunak pada Tabel 3.

Tabel 3 Alat yang digunakan dalam penelitian

No	Tool	Version	Fungsi
1	Matlab	Matlab 2013	Memproses data dan mengolah data koreksi bias dan nilai SPI serta proyeksinya
2	Bitvise	Bitvise SSH Client	Mendownload dan mengolah data CORDEX-SEA
3	ArcGIS	Version 10.5	Mengolah data lahan pertanian
4	Ms. Office	Excel, word, PPT	Mengolah dan memproses data

3.3 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahap mulai dari proses koreksi bias terhadap curah hujan luaran CORDEX-SEA sampai dengan penentuan kategori *Standardized Precipitation Index* (SPI) dan proyeksi sepuluh tahun kedepan. Secara garis besar alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Diagram alir penelitian

3.4 Koreksi Bias Curah Hujan Observasi dan RCM Model Luaran CORDEX-SEA

Koreksi data curah hujan dilakukan dengan metode *distribution mapping* atau metode piani. Koreksi bias metode *distribution mapping* merupakan salah satu cara mengkoreksi data dengan pendekatan koreksi terhadap distribusi data (Piani *et al.*

2010). Metode koreksi distribusi yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode yang mengidentifikasi jenis distribusi peluang curah hujan observasi dan curah hujan model, curah hujan model dalam penelitian ini adalah curah hujan model luaran CORDEX-SEA. Bentuk distribusi peluang curah hujan pada dasarnya mengikuti distribusi gamma sebagai bentuk distribusi yang cocok untuk kajian klimatologi curah hujan. Oleh karena itu dalam penelitian ini curah hujan observasi yaitu curah hujan CHIRPS dan curah hujan luaran CORDEX-SEA diasumsikan mengikuti distribusi gamma, maka langkah pertama koreksi bias metode ini adalah menghitung fungsi kepadatan peluang (*Probability Distribution Function* (PDF)) curah hujan observasi dan CHIRPS berdasarkan distribusi gamma dengan menggunakan persamaan berikut:

$$pdf(x) = \frac{e^{\left(-\frac{x}{b}\right)} x^{a-1}}{\Gamma(a) b^a}$$

Dimana:

x = curah hujan harian rata-rata (mm)

a = parameter bentuk sebaran gamma

b = parameter skala sebaran gamma

Γ = fungsi gamma

PDF curah hujan observasi dan model RCM dihitung perbulan dengan memisahkan dan menyusun kembali curah hujan harian tahun 2000-2005 berdasarkan bulan sehingga diperoleh series data sebanyak 12 bulan untuk setiap grid curah hujan.

Langkah kedua yaitu membuat hubungan fungsi transfer distribusi kumulatif gamma (*Inverse Gamma Cumulative Distribution Functions* (CDFs)) masing-masing bulan antara data curah hujan observasi CHIRPS dengan data curah hujan model luaran RCM CORDEX.

$$cdf(x) = \int_0^x \frac{e^{\left(-\frac{x'}{b}\right)} x'^{k-1}}{\Gamma(k) \theta^k} dx' + cdf(0)$$

Langkah ketiga adalah menentukan fungsi transfer $y=f(x)$ yang dapat berupa persamaan regresi linear atau polinomial untuk mengkoreksi data curah hujan RCM model luaran CORDEX. Simulasi yang dilakukan oleh Jadmiko *et al.* (2017) menunjukkan bahwa persamaan regresi yang menghasilkan curah hujan model terkoreksi paling mendekati curah hujan observasi adalah persamaan regresi polinomial orde 3 dengan nilai intersep pada titik (0,0) dengan bentuk persamaan sebagai berikut:

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3$$

Setelah jenis fungsi transfer ditentukan untuk masing-masing bulan (Januari-Desember), maka fungsi transfer tersebut digunakan sebagai faktor koreksi untuk mengkoreksi data bulanan model RCM dengan memasukkan data bulanan curah hujan model luaran RCM CORDEX-SEA yang belum terkoreksi (x) kedalam persamaan fungsi transfer tersebut sesuai dengan bulan masing-masing sehingga diperoleh model luaran RCM CORDEX-SEA terkoreksi (y) bulanan untuk semua grid.

3.5 Perhitungan *Standardized Precipitation Index* (SPI)

Perhitungan SPI didasarkan pada distribusi gamma. Perhitungan SPI dilakukan dengan menggunakan curah hujan terkoreksi dengan metode piani atau *distribution mapping* yang telah diuji dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Menghitung fungsi kepadatan peluang (*probability density function/PDF*) berdasarkan distribusi gamma

Perhitungan SPI meliputi pencocokan fungsi kepadatan peluang (FKP) gamma terhadap distribusi frekuensi dari jumlah curah hujan untuk tiap grid (McKee *et al.* 1993). FKP dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad \text{untuk } x, \beta \text{ dan } \alpha > 0$$

x merupakan jumlah curah hujan skala waktunya 1 bulan, α merupakan parameter bentuk dan β parameter skala sebaran gamma curah hujan dari b. $\Gamma(a)$ adalah fungsi dari gamma yang diperoleh dengan persamaan sebagai berikut :

$$\Gamma(a) = \int_0^\infty y^{a-1} e^{-y} dy$$

Untuk α dan β diperoleh melalui persamaan berikut :

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad \text{dan} \quad \beta = \frac{\bar{x}}{\alpha}$$

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n}$$

Dimana, $\bar{x}$ adalah curah hujan rata-rata bulanan, n adalah jumlah pengamatan curah hujan.

2. Menghitung nilai fungsi distribusi kumulatif (*cumulative distribution function/CDF*)

Peluang kumulatif curah hujan pada skala 1 bulan untuk setiap grid dihitung dengan mengintegrasikan persamaan dibawah ini:

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx$$

Dimana, $t = x/\beta$, dengan memasukkan nilai t ke persamaan $G(x)$, maka:

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-t} dt$$

3. Melakukan tranformasi nilai distribusi kumulatif gamma ke nilai distribusi kumulatif normal.

Karena distribusi gamma tidak terdefiniskan untuk $x=0$, maka probabilitas kumulatif untuk curah hujan nol dan lebih besar dari nol adalah:

$$H(x) = q + (1 - q)G(x)$$

Dimana q adalah peluang curah hujan bernilai nol, kemudian distribusi kumulatif gamma ($H(x)$) ditransformasi kedalam distribusi kumulatif normal dengan nilai rata-rata 0 dan standar deviasi 1 (Lloyd-Hughes dan Saunders 2002), sehingga SPI diperoleh dengan persamaan berikut :

$$SPI = \begin{cases} -\left(t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right), t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{H(x)^2}\right)}, 0 < H(x) \leq 0,5 \\ t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}, t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{H(x)^2}\right)}, 0,5 < H(x) \leq 1 \end{cases}$$

Dimana,

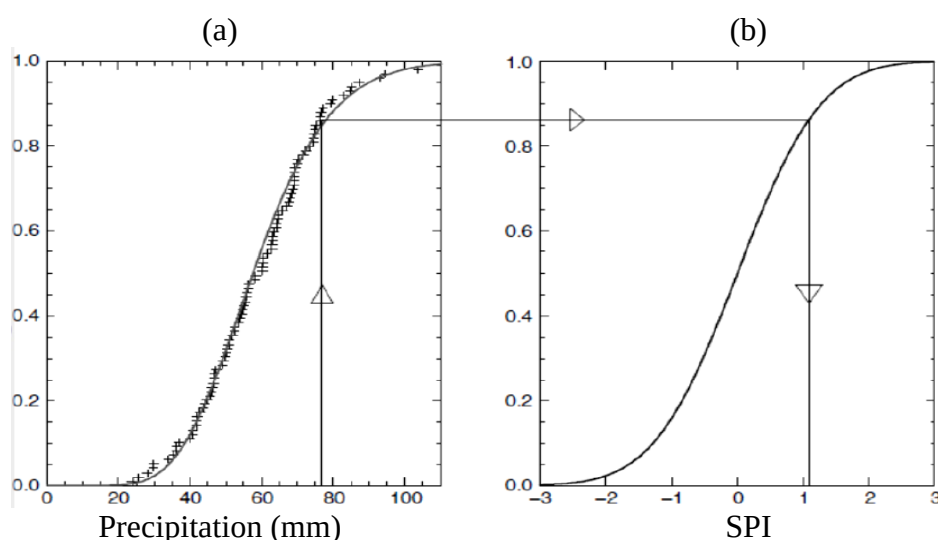
$$c_0 = 2,515517 \quad d_1 = 1,432788$$

$$c_1 = 0,802853 \quad d_2 = 0,189269$$

$$c_2 = 0,910328 \quad d_3 = 0,001308$$

Distribusi gamma diaplikasikan untuk menyesuaikan data *time series* curah hujan secara klimatologi berdasarkan fungsi kepadatan peluang. Setelah itu, distribusi gamma ditransformasikan ke dalam distribusi normal menggunakan fungsi frekuensi kumulatif untuk mendapatkan nilai rata-rata nol dan standart deviasi satu. SPI dihitung dalam berbagai skala yaitu 1,3,6,9 dan 12 bulan. Dalam penelitian ini menggunakan SPI skala 1 dan skala 3, sebab untuk membandingkan perbedaan nilai (SPI-1) dihitung berdasarkan total curah hujan selama 1 bulan, dan SPI skala 3 bulan (SPI-3) dihitung berdasarkan total curah hujan selama 3 bulan.

Ilustrasi dalam menentukan SPI dengan transformasi nilai distribusi kumulatif gamma menjadi nilai distribusi kumulatif normal dalam rentang nilai SPI (Tabel 1), ditunjukan pada Gambar 3. Gambar 3a adalah distribusi kumulatif gamma curah hujan dan Gambar 3b adalah distribusi kumulatif normal dalam rentang nilai SPI. Contoh transformasi curah hujan menjadi nilai SPI pada Gambar 3 dengan nilai curah hujan 77 mm dilakukan dengan menarik garis tegak lurus hingga memotong garis distribusi (Gambar 3a), lalu tarik garis horizontal ke Gambar 3b hingga memotong garis distribusi kumulatif normal, kemudian titik perpotongan tersebut tarik garis ke bawah hingga ke garis absis untuk memperoleh nilai SPI (SPI = 1,1 untuk contoh pada Gambar 3).



Gambar 3 Sketsa transformasi curah hujan menjadi nilai SPI, (a) distribusi kumulatif gamma curah hujan, (b) distibusi kumulatif normal untuk SPI (Lloyd-Hughes dan Saunders 2002)

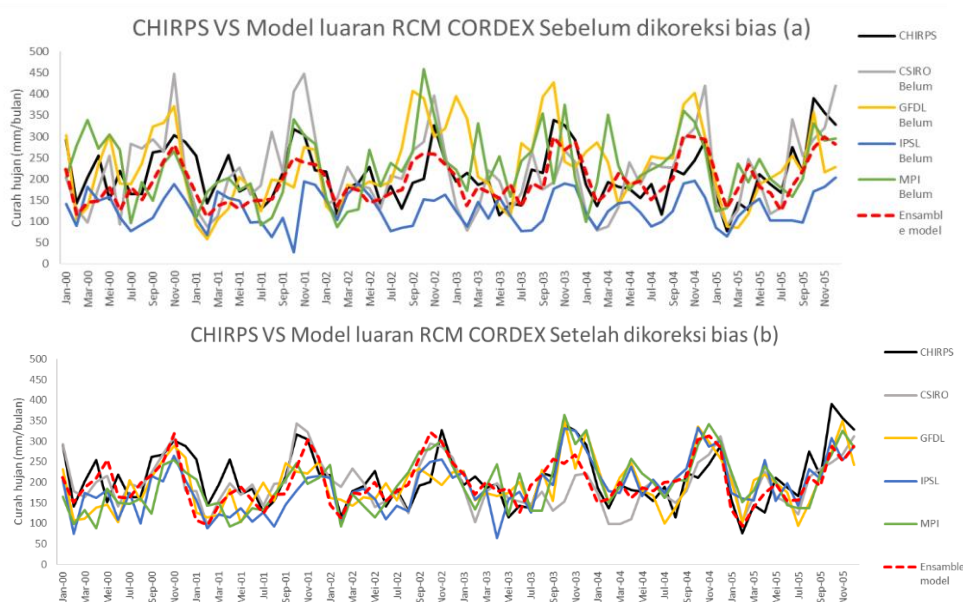


IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Koreksi Bias Curah Hujan CHIRPS dengan RCM Model CORDEX-SEA

Minimnya ketersediaan data curah hujan observasi secara kontinu baik spasial maupun temporal akan menyulitkan dalam melakukan analisis curah hujan. Permasalahan mengenai data yang sering terjadi dapat diatasi dengan pemodelan iklim numerik yang saat ini sudah banyak digunakan, yaitu dengan data (*Global Climate Model/GCM*) adalah model iklim yang dapat digunakan untuk membangun data iklim jangka panjang baik data history maupun proyeksi menurut Wigena (2006). GCM masih dengan skala global (100-250) km, sehingga diperlukan skala yang regional (25-50) km, yaitu dengan proses *downscaling* sehingga dihasilkan *Regional Climate Model* (RCM). Namun demikian data curah hujan luaran dari RCM masih mengandung bias sehingga harus dikoreksi terlebih dahulu sebelum digunakan untuk analisis lebih lanjut.

Metode koreksi bias yang digunakan adalah *distribution mapping* atau distribusi data yang sering disebut metode Piani. Metode *distribution mapping* digunakan karena metode koreksi ini memperbaiki distribusi data yang ada. Koreksi bias dilakukan yakni mengkoreksi data model luaran RCM CORDEX-SEA dengan data CHIRPS. Data CHIRPS merupakan data curah hujan harian, bulanan, bahkan tahunan berbasis grid yang menggabungkan data pos hujan dan data satelit. Luaran CHIRPS yang berupa grid menjadikan CHIRPS lebih masuk akal untuk digunakan sebagai input pada analisis yang membutuhkan data curah hujan (Funk *et al.* 2015; Yanto *et al.* 2017; Thomson *et al.* 2017). Banyak penelitian yang menunjukkan kehandalan CHIRPS dalam melengkapi ataupun menggantikan data observasi yang kosong, maka dalam penelitian ini CHIRPS juga digunakan sebagai substitusi data observasi di daerah penelitian ditunjukkan oleh Gambar 4.



Gambar 4 Perbandingan data historis curah hujan bulanan model luaran RCM CORDEX dengan data CHIRPS, (a) sebelum di koreksi bias, (b) sesudah dikoreksi bias

@hakcipta.unik-ipb.ac.id

Gambar 4 menunjukkan *time series* curah hujan bulanan historis dari tahun 2000-2005 di Pulau Sumatera. Gambar 4(a) menunjukkan rentang garis tiap model tidak mengikuti pola dari curah hujan observasi yaitu curah hujan CHIRPS (warna hitam) dan model *ensemble* (warna merah garis putus-putus). *Time series* model RCM CORDEX-SEA yang berada diatas garis hitam menunjukkan nilai curah hujan *overestimate*, sedangkan yang berada di bawah garis hitam berarti *underestimate* dari nilai curah hujan observasi.

Gambar 4(b) menunjukkan perbedaan yaitu nilai curah hujan model yang telah dilakukan koreksi bias. Rentang nilai antar model tidak terlalu berbeda jauh. Curah hujan RCM model lebih mengikuti *time series* curah hujan observasi dan *time series*. *Time series* nilai *ensemble* model teroreksi merupakan *time series* yang paling mengikuti pola curah hujan observasi daripada model RCM lain. *Ensemble* model menunjukkan performa yang lebih baik dari pada masing-masing model. Nilai *ensemble* RCM setelah dikoreksi menunjukkan nilai yang lebih sedikit *underestimate* dan *overestimate* karena data sudah terkoreksi.

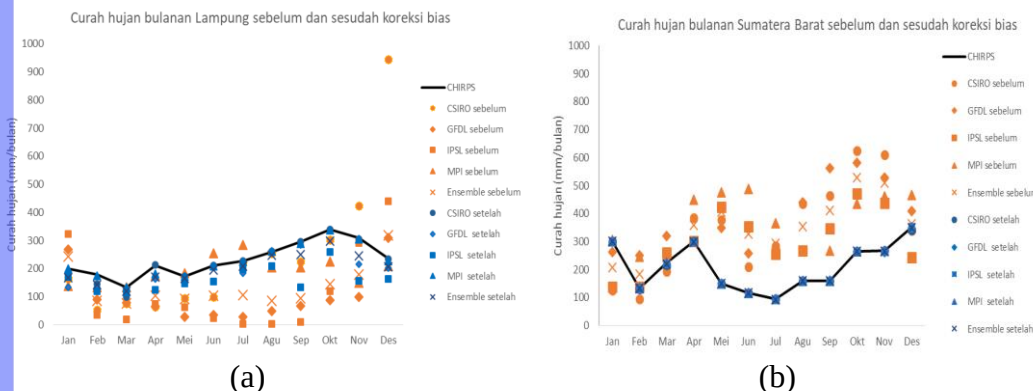
Tabel 4 Perbandingan hasil analisis statistik hubungan antara curah hujan model luaran RCM CORDEX-SEA dan *ensemble* model dengan curah hujan observasi (CHIRPS) sebelum dan sesudah terkoreksi di wilayah Pulau Sumatera berdasarkan koefisien korelasi dan *pvalue*

Tahun	Model RCM	Sebelum dikoreksi bias			Setelah dikoreksi bias		
		R ²	r	<i>pvalue</i>	R ²	r	<i>pvalue</i>
2000-2005	CSIRO	0,89	0,94	0,00	0,93	0,96	0,00
2000-2005	GFDL	0,87	0,93	0,00	0,92	0,95	0,00
2000-2005	IPSL	0,91	0,95	0,00	0,92	0,95	0,00
2000-2005	MPI	0,88	0,93	0,00	0,91	0,95	0,00
2000-2005	<i>ensemble</i>	0,94	0,96	0,00	0,95	0,97	0,00

Nilai mengenai koefisien korelasi (*r*) dan *pvalue* dilihat dari sebelum dikoreksi ditunjukkan oleh Tabel 4. Nilai curah hujan luaran RCM CORDEX setelah dilakukan koreksi bias mengalami peningkatan nilai *r*, dari pada sebelum dilakukan koreksi bias. Nilai koefisien korelasi model CSIRO sebelum koreksi yaitu 0,94 setelah koreksi 0,96, nilai *r* GFDL sebelum dikoreksi yaitu 0,93 setelah dikoreksi yaitu 0,95, nilai *r* IPSL sebelum dikoreksi yaitu 0,91 setelah dikoreksi yaitu 0,92, dan nilai *r* MPI sebelum dikoreksi yaitu 0,88 setelah dikoreksi yaitu 0,91. Hal ini menunjukkan nilai curah hujan setelah dikoreksi nilai *r* meningkat dan nilainya diatas 0,9 semua. Nilai *ensemble* rata-rata dari keempat model tersebut mengalami kenaikan nilai *r*. Nilai *r* sebelum dikoreksi yaitu 0,94 meningkat menjadi 0,97. Dari keempat model diatas untuk model RCM nilai *r* yang paling besar antara curah hujan CHIRPS vs curah hujan model, yaitu model RCM CSIRO sebesar 0,96. Sedangkan nilai *ensemble* menunjukkan nilai *r* yang paling besar daripada keempat model RCM lainnya yaitu 0,97. Nilai *r* yang besarnya mendekati 1 menunjukkan adanya hubungan yang erat antara curah hujan model RCM ataupun *ensemble* dengan curah hujan CHIRPS. Sehingga curah hujan CHIRPS yang paling memiliki hubungan erat dengan *ensemble* model. Hal ini menunjukkan performa yang memiliki kaitan paling erat dengan data observasi daripada model RCM lainnya.

Nilai *pvalue* yang di peroleh pun semua sama sebelum dan sesudah mdoel di koreksi, yaitu bernilai 0. Nilai $\alpha = 0,05$ sehingga nilai *pvalue* $(0,00) < \alpha (0,05)$ hal ini menunjukan bahwa data model dan observasi CHIRPS memiliki hubungan yang signifikan serta berpengaruh satu dengan yang lainnya.

@Hak cipta milik IPB University

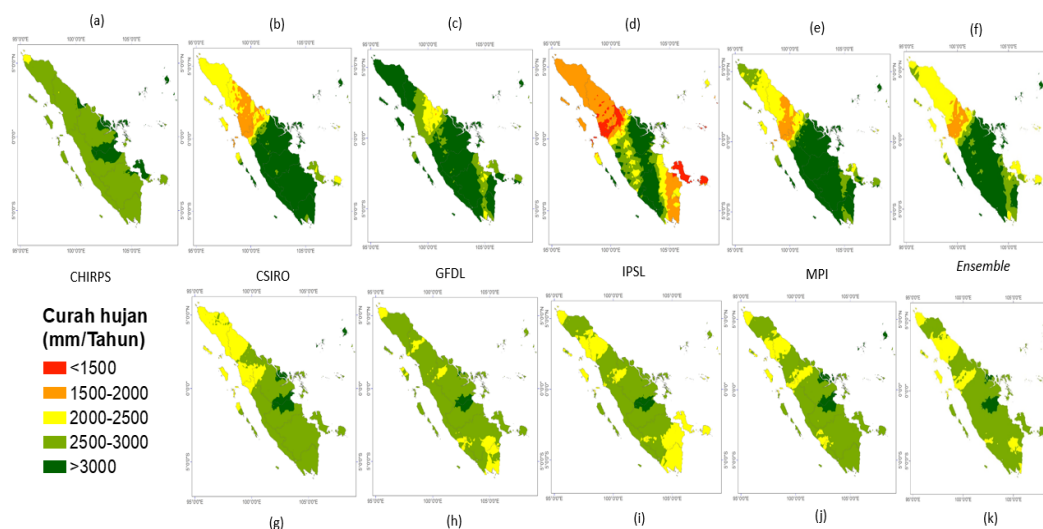


Gambar 5 Pola curah hujan rata-rata bulanan di Pulau Sumatera, (a) wilayah di Pulau Sumatera dengan pola curah hujan moonsonal (b) wilayah di Pulau Sumatera dengan pola curah hujan ekuatorial

Pulau Sumatera merupakan wilayah dengan dua tipe curah hujan yaitu tipe curah hujan monsunal dan curah hujan ekuatorial sesuai penelitian yang di lakukan Aldrian *et al.* (2003). Pola curah hujan sebelum dan sesudah dikoreksi bias menunjukan nilai curah hujan model luaran RCM CORDEX-SEA seperti pada Gambar 5. Pola curah hujan setelah dikoreksi terlihat berbeda, dimana pola curah hujan moonsonal (Gambar 5a) bersifat *unimodial* (satu puncak musim hujan). Bulan Februari, Maret dan April termasuk bulan kering, sedangkan bulan September, Oktober dan November merupakan bulan basah dan enam bulan sisanya merupakan periode peralihan atau pancaroba. Hermawan (2010) menyebutkan bahwa tiga bulan peralihan musim kemarau ke musim hujan dan tiga bulan peralihan musim hujan ke musim kemarau. Pola curah hujan equatorial terlihat pada Gambar 5b yaitu dengan membentuk 2 puncak musim penghujan dalam satu tahun. Tipe curah hujan dengan bentuk *bimodial* (dua puncak hujan) dimana ada 2 puncak penghujan yang terjadi yaitu bulan April dan Desember. Selain dilihat dari hubungan antara curah hujan model dan observasi, perlu dilihat juga curah hujan dari segi pola spasialnya.

Gambar 6 menunjukan pola spasial dan besarnya curah hujan tahunan dari CHIRPS sebelum dilakukan koreksi (Gambar 6b – 6f) memiliki perbedaan dengan pola spasial dari curah hujan observasi CHIRPS (Gambar 6a). Koreksi bias yang telah dilakukan menghasilkan gambar pola spasial curah hujan rata-rata tahunan (Gambar 6g– 6k) menunjukan besarnya nilai curah hujan antara curah hujan observasi dengan model terdapat kemiripan. Gambar 6b-6e nilai curah hujan model luaran RCM CORDEX-SEA masih terlihat banyak yang berwarna merah dan oranye hal itu mengindikasikan bahwa pola spasial model sebelum dikoreksi bias masih *underestimate* hal ini terlihat di wilayah Sumatera Utara, Aceh, sedangkan warna hijau tua yang lebih mendominasi pun dikategorikan *overestimate* dari nilai observasi yaitu hampir terjadi di seluruh wilayah Sumatera terutama wilayah Lampung, Bengkulu, Sumatera Selatan, Jambi, Riau, dan Sumatera Barat. Gambar

6f yang merupakan nilai *ensemble* pun masih menunjukkan nilai curah hujan rata-rata tahunan *overestimate* dan *underestimate* dari nilai observasi.



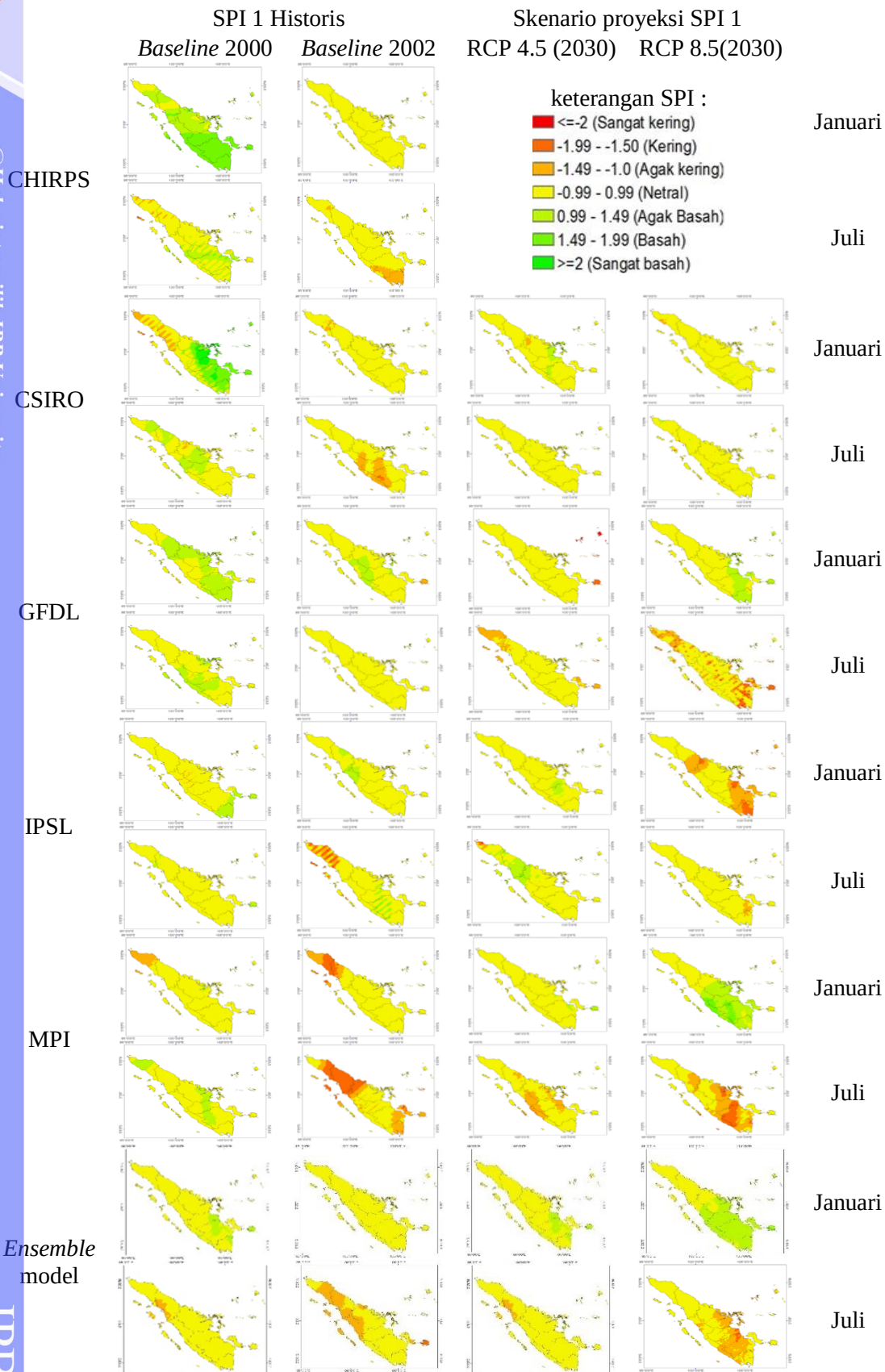
Gambar 6 Perbandingan curah hujan spasial sebelum dan setelah data dikoreksi bias antara data observasi dan model luaran RCM CORDEX, (a) data observasi yaitu CHIRPS. Data curah hujan yang belum dikoreksi: (b) CSIRO, (c) IPSL, (d) GFDL, (e) MPI, (f) *ensemble* model. Data curah hujan setelah di koreksi bias : (g) CSIRO, (h) IPSL, (i) GFDL, (j) MPI, (k) *ensemble* model

Curah hujan spasial rata-rata tahunan yang telah di koreksi di pulau Sumatera menunjukkan perbedaan hasil dengan pola spasial rata-rata curah hujan yang belum dikoreksi. Pola spasial model memiliki kemiripan dengan pola spasial curah hujan observasi. Wilayah Lampung, Bengkulu, Sumatera Selatan dan Riau sudah didominasi oleh warna hijau muda seperti pola spasial curah hujan rata-rata observasi. Gambar 6k menunjukkan *ensemble* keempat model RCM yang telah dirata-rata menunjukkan hasil kemiripan dengan model MPI. Hasil koreksi bias nilai curah hujan rata-rata di Pulau Sumatera masih terdapat beberapa nilai *underestimate* dengan ditunjukkan warna kuning di beberapa wilayah Lampung, Sumatera Utara dan Aceh. Nilai rata-rata curah hujan yang mendominasi Pulau Sumatera menurut data observasi atau CHIRPS yaitu sekitar 2500-3000 mm/tahun.

4.2 Perbandingan SPI Historis, SPI Proyeksi dan SPI *Ensemble* Secara Spasial

SPI historis tahun 2000 dan 2002 dengan SPI proyeksi model RCM tahun 2030. Nilai index kekeringan SPI historis diambil ketika tahun periode tahun El-Nino dan La-Nina dari tahun 2000 hingga 2005. Tahun El-Nino yaitu tahun 2002, tahun La-Nina yaitu tahun 2000 dan 2005. Sedangkan tahun 2001, 2003 dan 2004 merupakan tahun netral. Pengelompokan tahun-tahun ini dilakukan berdasarkan *Oceanic Nino Index* (OCI) yang dikeluarkan oleh *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) (NOAA 2020). Skenario yang digunakan yaitu RCP 4.5 dan RCP 8.5. SPI dan dianalisis menggunakan SPI-1(bulanan) dan SPI-3 (3 bulanan).

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Gambar 7 Perbandingan SPI historis tahun 2000 (La-Nina), tahun 2002 (El-Nino), model luaran RCM CORDEX-SEA dengan SPI-1 proyeksi dengan skenario RCP 4.5 dan RCP 8.5 pada bulan Januari (musim hujan) dan Juli (musim kemarau)

4.2.1 Perbandingan SPI-1 tahun 2000 (La-Nina) dan 2002 (tahun El-Nino) dengan SPI-1 tahun 2030 RCP 4.5 dan RCP 8.5

Adeogun *et al.* (2014) menyebutkan bahwa SPI-1 memiliki korelasi yang tinggi dan signifikan dengan curah hujan sehingga lebih sesuai digunakan untuk analisis kekeringan meteorologi. Gambar 7 menunjukkan bentuk spasial Perbandingan SPI-1 pada tahun 2000 (tahun La-Nina) dan tahun 2002 (tahun El-Nino) yaitu SPI-1 observasi CHIRPS, SPI-1 *ensemble* dengan proyeksi SPI-1 skenario RCP 4.5, RCP 8.5 di Pulau Sumatera tahun 2030.

Model MPI tahun El-Nino 2002 memberikan dampak yang cukup signifikan terhadap terjadinya kekeringan meteorologi di Indonesia (Adianingsih 2014). Nilai SPI-1 MPI di beberapa model menunjukkan nilai yang lebih kering daripada kondisi netral. Nilai paling kering untuk tahun El-Nino 2002 yaitu di model MPI dengan index SPI-1 yaitu rentang -1,99 sampai -1,5 termasuk kategori kering di wilayah Sumatera Utara dan Aceh di bulan Juli sedangkan jika dibandingkan dengan data observasi yaitu SPI-1 paling kering terjadi di Lampung dengan rentang nilai -1,49 sampai -1 termasuk dalam kategori agak kering. SPI-1 *ensemble* baseline tahun 2002 bulan Januari menunjukkan nilai -0,99 sampai 0,99 kategori netral hal tersebut diperoleh karena rata-rata dari SPI keempat model *baseline*. Sedangkan di bulan Juli nilai SPI-1 *ensemble* termasuk dalam kategori agak kering wilayahnya meliputi Sumatera Utara dan Sumatera Barat. Tahun 2000 yaitu tahun La-Nina terlihat SPI model lebih banyak yang bernilai lebih basah dari pada tahun 2002. Nilai SPI-1 observasi merupakan nilai SPI-1 yang paling basah dari pada model RCM ataupun *ensemble*.

Nilai SPI-1 proyeksi pada tahun 2030 terlihat perbedaan RCP 4.5 dan RCP 8.5. Nilai SPI-1 tahun 2030 RCP 4.5 paling kering diprediksi terjadi pada model MPI bulan Juli dengan kategori agak kering dengan rentang nilai -1,49 sampai -1,00 terjadi di wilayah Bengkulu dan Sumatera Selatan bagian timur. Jika dibandingkan dengan nilai SPI observasi tahun kering 2002, index kekeringan di tahun 2030 yang diprediksi terjadi di model MPI. Wilayah kekeringannya pada RCP 4.5 dan makin meningkat luas wilayah kekeringannya. Dari SPI-1 observasi menunjukkan terjadi di wilayah Bengkulu saja sedangkan di model prediksi SPI-1 RCP 4.5 terjadi di wilayah Bengkulu, Jambi dan sebagian Sumatera Barat.

Nilai SPI-1 proyeksi tahun 2030 RCP 8.5 paling kering yaitu model MPI bulan Juli -1,99 sampai -1,5 dengan kategori kering pada bulan Juli, terjadi di Sumatera Selatan, Bengkulu dan beberapa wilayah Riau. Jika dibandingkan dengan nilai SPI-1 observasi tahun kering 2002 dengan SPI-1 RCP 8.5 di tahun 2030 SPI akan diprediksi makin kering (Chen dan Sun 2015). Hal ini terjadi pada model GFDL, IPSL, dan MPI. Luas wilayah kekeringan untuk prediksi SPI-1 RCP 8.5 makin meningkat. Data observasi menunjukkan terjadi di wilayah Bengkulu saja, sedangkan di model prediksi SPI-1 RCP 8.5 terjadi di wilayah Bengkulu, Lampung, Sumatera Selatan, Sebagian Riau, dan sebagian Sumatera Utara. Nilai SPI-1 RCP 8.5 paling

basah yaitu pada model MPI bulan Januari nilai SPI yaitu 1,50 sampai 1,99 dengan kategori basah terjadi di wilayah Bengkulu, Lampung, Sumatera Selatan, Jambi, Sumatera Barat dan Riau.

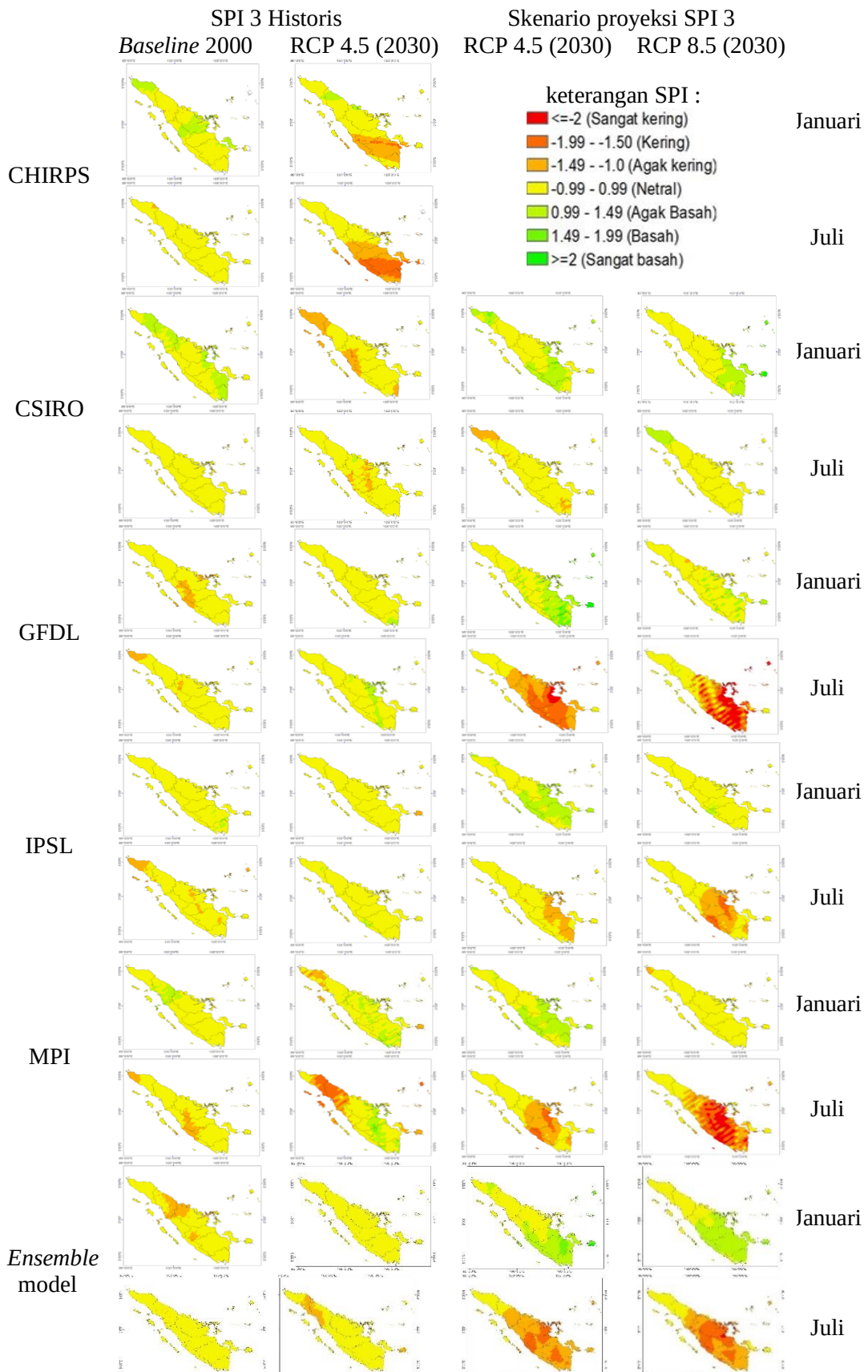
SPI-1 *ensemble* proyeksi RCP 4.5 nilai SPI lebih banyak netral, namun untuk bulan Januari masih terdapat nilai SPI 0,99 – 1,49 dengan kategori agak basah untuk sebagian wilayah Sumatera selatan dan Jambi, bulan Juli pun masih terdapat beberapa nilai SPI-1 yaitu -1,49 sampai -1,00 kategori agak kering di wilayah pantai barat Sumatera Utara. Nilai SPI-1 *ensemble* proyeksi RCP 8.5 nilai SPI bulan Januari yaitu sebagian netral dan sebagian agak basah dengan nilai SPI SPI 0,99 – 1,49 di wilayah Lampung, Sumatera Selatan, Jambi, dan Bengkulu. Bulan Juli menunjukkan nilai SPI yang termasuk kategori agak kering dengan wilayah kekeringan hanya meliputi Sumatera selatan dan beberapa wilayah Jambi.

4.2.2 Perbandingan SPI-3 tahun 2000 (La-Nina) dan tahun 2002 (tahun El-Nino) dengan SPI-3 tahun 2030 RCP 4.5 dan RCP 8.5

Perbandingan nilai SPI-3 tahun 2000, 2002 dengan RCP 4.5 dan RCP 8.5 diperlihatkan oleh Gambar 8. SPI-3 merupakan defisit curah hujan selama tiga bulan memberikan dampak yang besar terhadap kekeringan pertanian. Kekeringan pertanian memiliki *time lag* selama tiga bulan dari terjadinya kekeringan meteorologi (Ma'rufah 2016).

SPI-3 paling kering di tahun El-Nino 2002 yaitu model MPI nilai index SPI-3 yaitu rentang ≤ -2 dengan kategori kering di wilayah Sumatera Utara dan sebagian Aceh di bulan Juli sedangkan jika dibandingkan dengan data observasi yaitu SPI-1 paling kering terjadi di Lampung, Sumatera Selatan, Bengkulu dan Lampung dengan rentang nilai -1,99 sampai -1,5 termasuk dalam kategori kering. SPI-3 di tahun La-Nina 2000 nilai index SPI-3 paling basah yaitu model CSIRO dengan rentang nilai 1,50 sampai 1,99 kategori basah di bulan Juli hampir terjadi di sebagian wilayah Aceh, Riau dan Sumatera Utara, Lampung dan Sumatera Selatan. sedangkan SPI-3 observasi yaitu terjadi di wilayah Aceh, sebagian Sumatera Barat, Riau dengan nilai SPI 1,50 sampai 1,99 kategori basah.

Jacob *et al.* (2014) menyebutkan dalam penelitiannya bahwa data CORDEX telah banyak digunakan untuk evaluasi dan studi proyeksi sebagai *baseline* saat ini dan perubahan iklim di masa depan. Nilai proyeksi SPI -3 di masa depan tahun 2030 terlihat perbedaan RCP 4.5 dan RCP 8.5. Nilai SPI-3 tahun 2030 RCP 4.5 paling kering diprediksi terjadi pada model GFDL bulan Juli dengan kategori kering dengan rentang nilai -1,99 sampai -1,50 terjadi di wilayah hampir semua wilayah pulau Sumatera kecuali Aceh dan Sumatera Utara. Jika dibandingkan dengan nilai SPI-3 observasi tahun kering 2002 dengan SPI-3 RCP 4.5 di tahun 2030 SPI akan diprediksi makin kering, yaitu terjadi di model GFDL. Wilayah kekeringan yang diprediksi pada tahun 2030 SPI-3 RCP 4.5 makin meningkat luas wilayah kekeringannya, dari data observasi menunjukkan kekeringan terjadi di wilayah Lampung, Sumatera Selatan dan Bengkulu, sedangkan di model prediksi SPI-3 RCP 4.5 terjadi di wilayah hampir seluruh wilayah Sumatera kecuali Aceh dan Sumatera Utara.



Gambar 8 Perbandingan SPI historis tahun 2000 (La-Nina) dan 2002 (El-Nino) model luaran RCM CORDEX-SEA dengan SPI-3 proyeksi dengan skenario RCP 4.5 dan RCP 8.5 pada bulan Januari (musim hujan) dan Juli (musim kemarau)

Nilai SPI-3 proyeksi tahun 2030 RCP 8.5 paling kering yaitu model GFDL bulan Juli ≤ -2 dengan kategori sangat kering, wilayah Lampung, Bengkulu, Sumatera Selatan dan beberapa wilayah Riau. Jika dibandingkan dengan nilai SPI-3 observasi tahun kering 2002 dengan SPI-3 RCP 8.5 di tahun 2030 SPI akan diprediksi makin kering di bulan Juli dengan kategori sangat kering, yaitu terjadi di model GFDL dan MPI. Untuk wilayah kekeringannya prediksi SPI-3 RCP 8.5 makin meningkat luas wilayah kekeringannya. Dari data observasi menunjukkan terjadi di wilayah Lampung, Sumatera Selatan dan Bengkulu, sedangkan di model prediksi SPI-3 RCP 8.5 terjadi di wilayah hampir seluruh wilayah Sumatera kecuali Aceh dan Sumatera Utara. Nilai SPI-1 RCP 8.5 paling basah yaitu pada model CSIRO bulan Januari nilai SPI yaitu 1,00 sampai 1,49 dengan kategori agak basah terjadi di wilayah Lampung, Sumatera Selatan.

Penelitian mengenai *ensemble* model yang diuraikan oleh Knutti (2010) menyatakan bahwa analisis dengan *ensambel* model berbobot berdasarkan kinerja model iklim dan saling ketergantungan. *Ensemble* yang diperoleh pada periode *baseline* tahun 2002 bulan Januari menunjukkan hubungan nilai SPI dengan rata-rata empat model RCM yaitu nilai SPI-3 -0,99 sampai 0,99 kategori netral hal tersebut diperoleh karena rata-rata dari SPI keempat model *baseline*. Sedangkan di bulan Juli nilai SPI-3 *ensemble* yaitu -1,49 sampai -1,00 kategori agak kering di wilayah Sumatera Utara dan sebagian Aceh. Untuk SPI-3 tahun 2000, karena pengaruh kejadian La-Nina. Nilai index kekeringan SPI-1 bulan Januari yaitu 0,99 – 1,49 dengan kategori agak basah untuk sebagian wilayah Riau, Jambi dan Sumatera Selatan, untuk bulan Juli nilai SPI dominan netral. Sedangkan nilai SPI-3 *ensamble* proyeksi RCP 4.5 nilai SPI yaitu 0,99 – 1,49 dengan kategori agak basah di wilayah Lampung, Bengkulu, Sumatera Selatan, sebagian Jambi, namun untuk bulan Juli hampir semua wilayah termasuk dalam kategori agak kering bahkan beberapa wilayah termasuk dalam kategori kering yaitu sebagian wilayah Sumatera Selatan, sebagian Jambi dan Bengkulu, dan sebagian wilayah Riau bagian Selatan. Nilai SPI-1 *ensamble* proyeksi RCP 8.5 hampir mirip dengan nilai SPI-3 *ensemble* baik bulan Januari maupun Juli. RCP 4.5 tidak banyak menunjukkan kejadian kekeringan, berbeda dengan tahun proyeksi skenario RCP 8.5 terlihat peningkatan kejadian peristiwa SPI dengan kategori kering yaitu dengan skenario RCP 8.5 pada model GFDL, IPSL dan MPI. Untuk wilayah SPI-3 RCP 8.5 bulan Januari termasuk dalam kategori agak basah, nilai SPI yaitu 0,99 – 1,49 dengan kategori agak basah wilayah Lampung, Sumatera Selatan, Bengkulu, Jambi, sebagian Sumatera barat dan sebagian Riau. Sedangkan bulan Juli menunjukkan nilai yang dominan termasuk kategori kering dengan nilai -1,99 sampai -1,50 di wilayah hampir seluruh Sumatera kecuali Aceh dan Sumatera Utara terutama di wilayah Sumatera Selatan, Bengkulu, Jambi, Riau.

Perbandingan SPI-1 dan SPI-3 dari observasi, model RCM dan *ensemble* model dibandingkan dengan SPI-1 dan SPI-3 tahun 2000, tahun 2002, dan tahun 2030 skenario RCP 4.5 dan RCP 8.5 menunjukkan bahwa

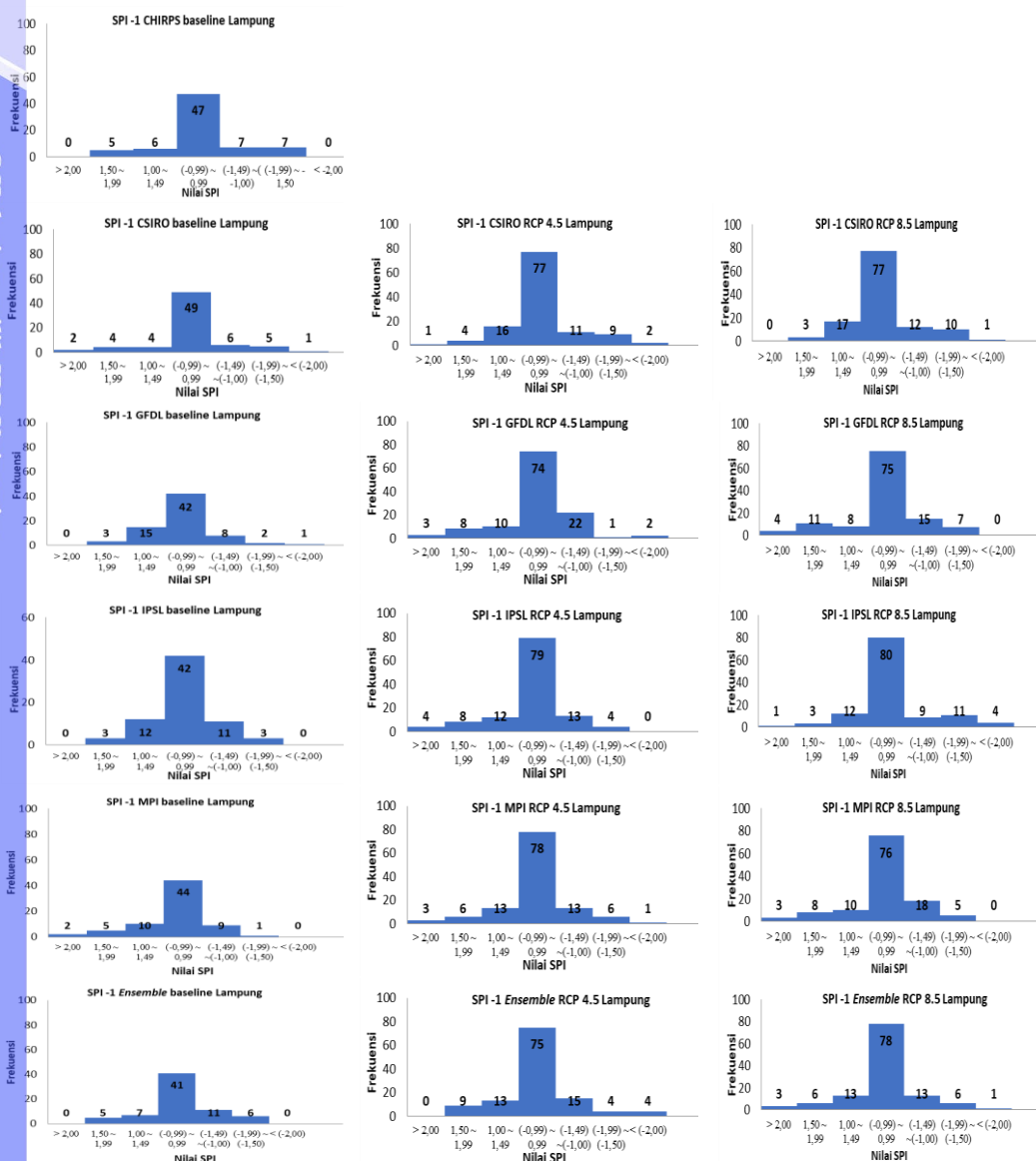
pada tahun baseline, kejadian kekeringan tidak sebanyak setelah di lakukan proyeksi tahun 2030 RCP 4.5 dan RCP 8.5. Tahun 2000 lebih sering terjadi hujan turun karena tahun La-Nina sehingga, index kekeringan sebagian besar termasuk dalam kategori basah sedangkan di tahun 2002 lebih sering terjadi kekeringan karena tahun El-Nina.

4.3 Histogram Frekuensi Kekeringan SPI Historis dan SPI Proyeksi Model RCM RCP 4.5 dan RCP 8.5 di Wilayah Pulau Sumatera

Kajian mengenai proyeksi untuk melihat gambaran kedepan mengenai kekeringan merupakan suatu bentuk tindakan kesiapsiagaan menghadapi bencana kekeringan, sebab bencana kekeringan tersebut tidak datang secara tiba-tiba namun secara perlahan dan tidak tahu awal terjadinya, sehingga diperlukan tindakan dalam kesiapsiagaan menghadapi bencana kekeringan. Proyeksi yang dilakukan dalam penelitian untuk melihat gambaran kedepan index kekeringan SPI dari tahun 2021-2030 dengan menggunakan data historis dari tahun 2000-2005. Untuk kedepannya dapat dibandingkan perubahan index kekeringan SPI yang terjadi pada tahun 2000-2005 dengan SPI tahun di masa yang akan datang yaitu tahun 2021-2030. Kekeringan dapat dilihat dari banyaknya kejadian yang termasuk dalam kondisi kategori agak kering hingga sangat kering. Nilai ambang batas terjadi kekeringan menurut SPI adalah nilai SPI lebih kecil dari -0,99, sehingga suatu kejadian kekeringan didefinisikan sebagai periode dimana nilai SPI lebih kecil dari -0,99. Hal ini dapat digunakan sebagai acuan untuk melihat frekuensi kekeringan yang dialami. Pengambilan lokasi untuk wilayah yang diteliti karena perbedaan karakteristik untuk dianalisis nilai index SPI yaitu pada dua lokasi yang berbeda di Pulau Sumatera (Van Vooren *et al.* 2019). Hal ini karena Pulau Sumatera memiliki dua tipe curah hujan yang berbeda yaitu tipe curah hujan monsonal yang di wakili dengan wilayah provinsi Lampung. Sedangkan, tipe curah hujan ekuatorial diwakili oleh provinsi Sumatera Barat.

4.3.1 Perbandingan Histogram Frekuensi kekeringan SPI-1 Historis (2000-2005) dengan SPI-1 Proyeksi (2021-2030) di Provinsi Lampung

Analisis SPI luaran RCM model CORDEX-SEA pada Gambar 9 memperlihatkan mengenai frekuensi kategori nilai SPI berdasarkan McKee *et al.* (1993) ada tujuh kategori dimulai nilai sangat basah hingga sangat kering. Histogram tersebut memperlihatkan nilai semakin ke kanan nilai index SPI akan semakin kering. Tahun *baseline* memperlihatkan frekuensi terjadinya kekeringan dengan kategori agak kering hingga sangat kering frekuensinya masih lebih sedikit dibandingkan dengan terjadinya kekeringan pada SPI-1 RCP 4.5 atau pun RCP 8.5. Histogram untuk prediksi dari tahun 2021-2030 RCP 4.5 dan 8.5 memperlihatkan bahwa nilai kategori SPI lebih cenderung ke arah kanan yang artinya frekuensi kejadian kekeringan lebih banyak dari pada kejadian SPI yang tergolong kategori SPI agak basah hingga sangat basah. Untuk RCP 4.5 peristiwa kekeringan SPI-1 frekuensi kejadian paling sering kekeringan yang mendominasi yaitu kategori agak kering dengan *range* nilai SPI -1,49 hingga -1,00 sebanyak 74 kejadian dari keempat model dan *ensemble*. Sedangkan SPI-1 RCP 8.5 kejadian kategori kekeringan kering dan sangat kering sudah mulai bertambah frekuensinya jika dibandingkan dengan SPI-1 RCP 4.5.

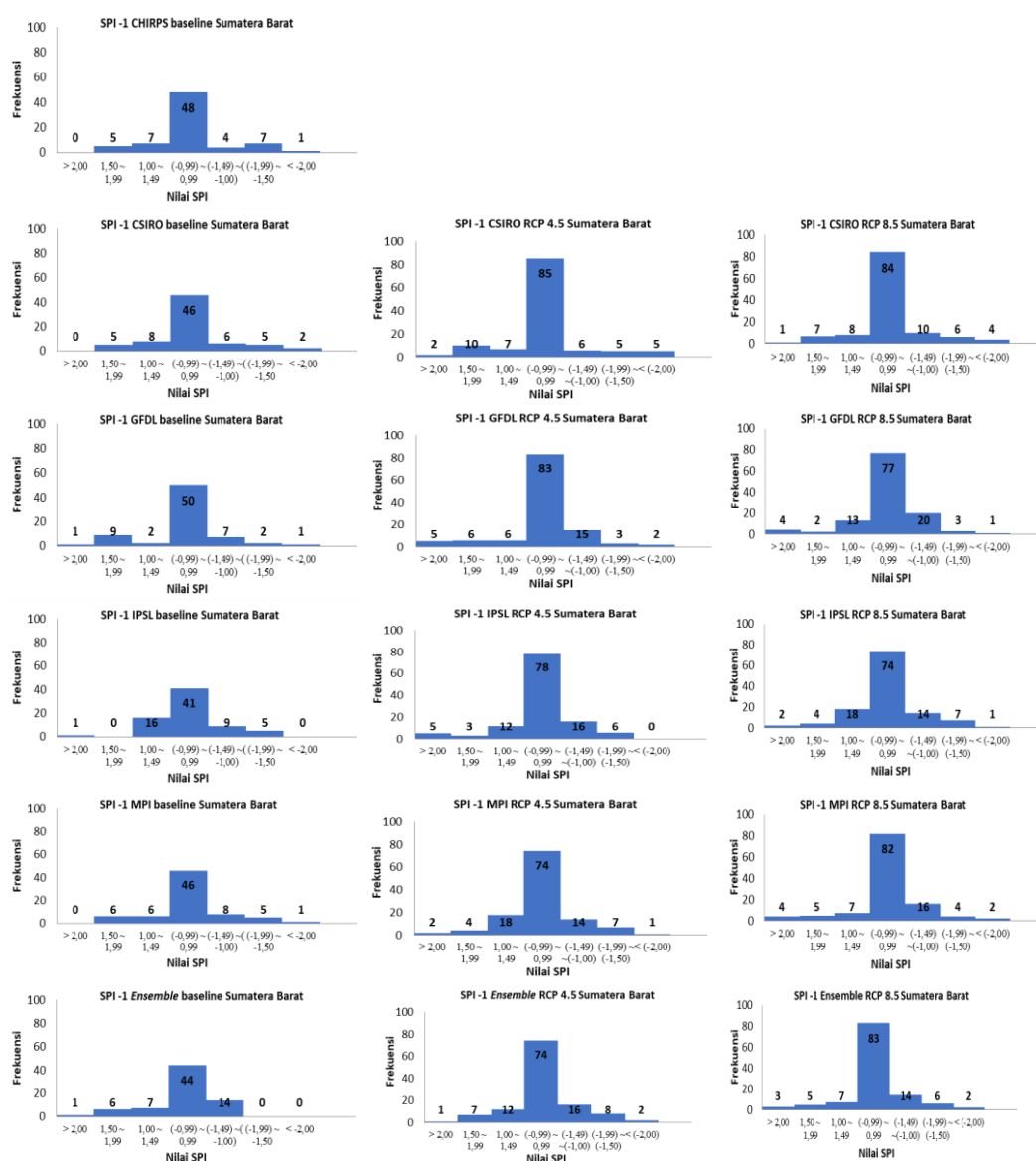


Gambar 9 Histogram frekuensi kekeringan berdasarkan kategori SPI untuk periode *baseline* tahun 2000-2005 dengan SPI-1 proyeksi 2021-2030 dengan skenario RCP 4.5 dan RCP 8.5 tahun 2021-2030 di Provinsi Lampung

4.3.2 Perbandingan Histogram Frekuensi kekeringan SPI-1 Historis (2000-2005) dengan SPI-1 Proyeksi (2021-2030) di Provinsi Sumatera Barat

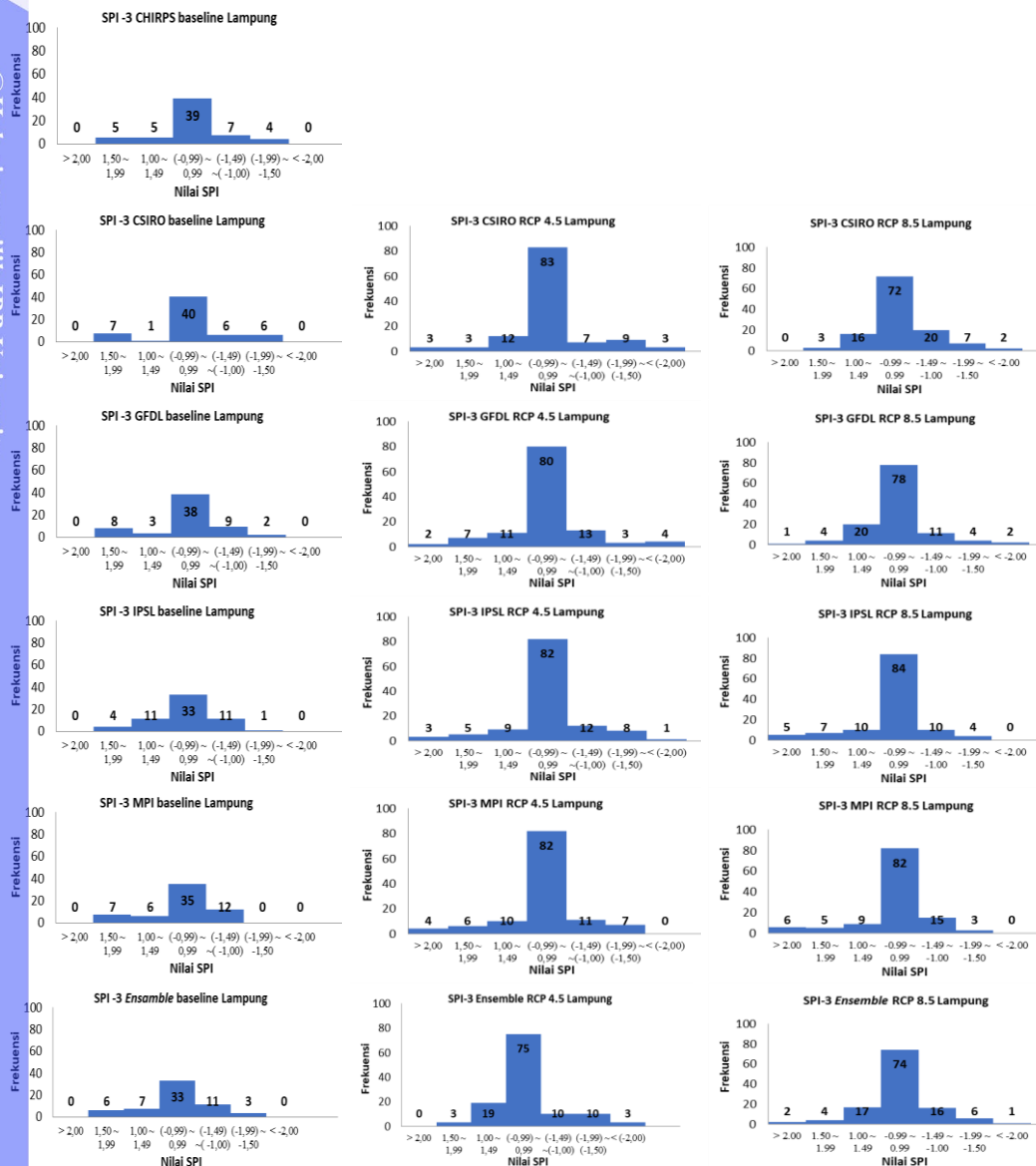
Histogram Gambar 10 memperlihatkan mengenai frekuensi kategori nilai SPI untuk wilayah provinsi Sumatera Barat. Hasil frekuensi kekeringan yang diperoleh untuk wilayah sebelumnya yaitu provinsi Lampung dan Sumatera Barat tidak terlalu berbeda jauh nilai dan pola histogramnya. Tahun *baseline* memperlihatkan frekuensi terjadinya kekeringan dengan kategori agak kering hingga sangat kering frekuensinya masih lebih sedikit dibandingkan dengan terjadinya kekeringan pada SPI-1 RCP 4.5 atau pun RCP 8.5. Histogram untuk prediksi dari tahun 2021-2030 RCP 4.5 dan 8.5 memperlihatkan bahwa nilai kategori SPI lebih cenderung ke arah kanan yang

artinya frekuensi kejadian kekeringan lebih banyak dari pada kejadian SPI yang tergolong kategori SPI agak basah hingga sangat basah. Pada Wilayah Provinsi Sumatera Barat jumlah frekuensi kejadian peristiwa SPI-1 kategori sangat kering lebih banyak frekuensinya yaitu 8 kejadian dari total 4 model sedangkan SPI-1 kategori sangat kering untuk provinsi Lampung sebanyak 5 kejadian dari total 4 model. SPI-1 RCP 8.5 kejadian frekuensi kategori kekeringan dari kategori agak kering hingga sangat kering sudah mulai bertambah frekuensinya jika dibandingkan dengan SPI-1 RCP 4.5 hal ini karena skenario RCP 8.5 menyajikan skenario kemungkinan lebih banyak perubahan yang nyata dalam suatu kejadian (Lorenzo *et al.* 2020).



Gambar 10 Histogram frekuensi kekeringan berdasarkan kategori SPI untuk periode *baseline* tahun 2000-2005 dengan SPI-1 proyeksi 2021-2030 dengan skenario RCP 4.5 dan RCP 8.5 tahun 2021-2030 di Provinsi Sumatera Barat

4.3.3 Perbandingan Histogram Frekuensi kekeringan SPI-1 Historis (2000-2005) dengan SPI-3 Proyeksi (2021-2030) di provinsi Lampung



Gambar 11 Histogram frekuensi kekeringan berdasarkan kategori SPI untuk periode baseline tahun 2000-2005 dengan SPI-3 proyeksi 2021-2030 dengan skenario RCP 4.5 dan RCP 8.5 tahun 2021-2030 di Provinsi Lampung

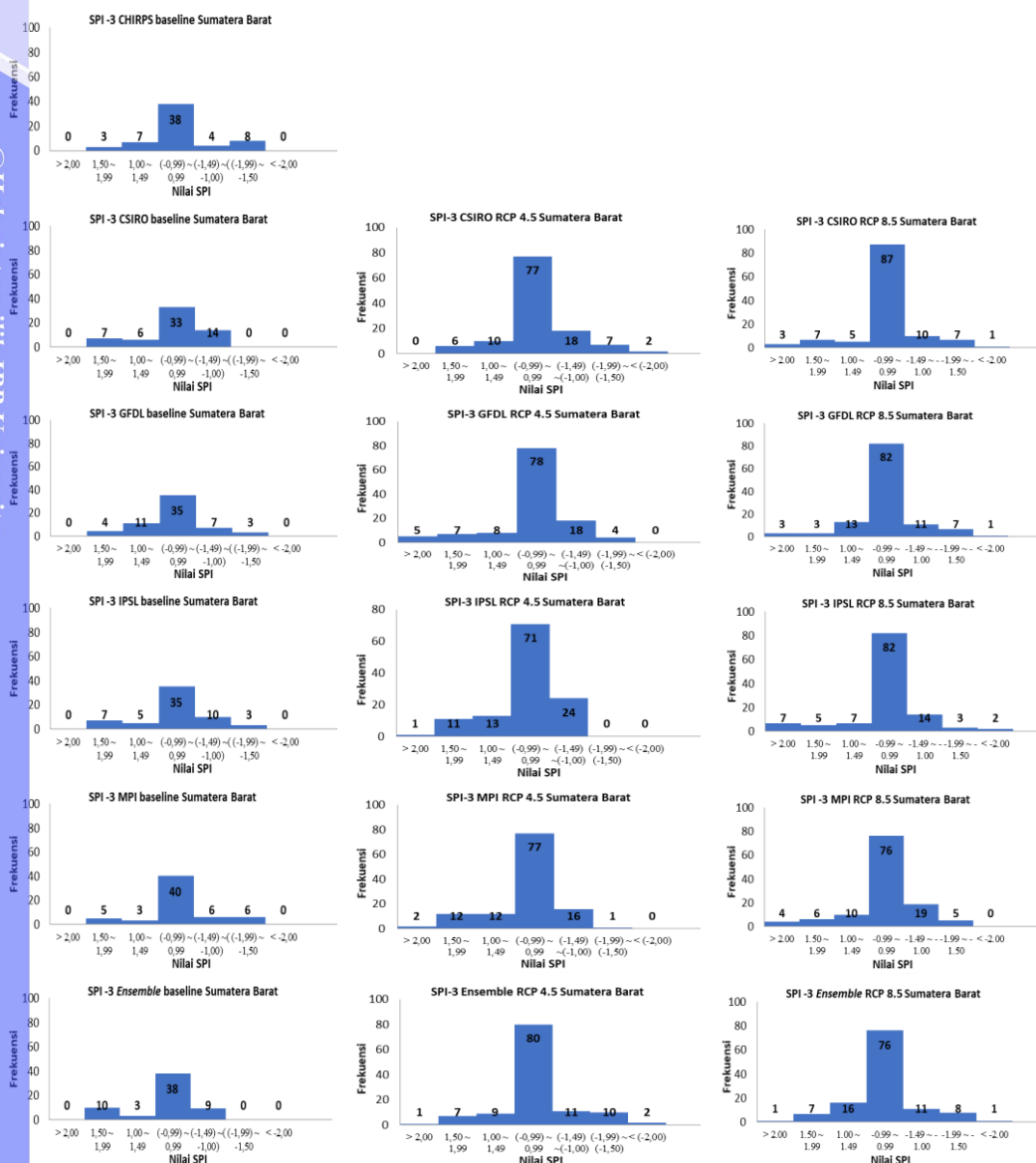
Analisis SPI luaran RCM model CORDEX-SEA pada Gambar 11 memperlihatkan histogram yakni nilai SPI-3 semakin ke kanan nilai index SPI-3 akan semakin kering. Tahun *baseline* memperlihatkan frekuensi terjadinya kekeringan dengan kategori agak kering hingga sangat kering frekuensinya masih lebih sedikit dibandingkan dengan terjadinya kekeringan pada SPI-1 RCP 4.5 atau pun RCP 8.5. Histogram untuk prediksi dari tahun 2021-2030 RCP 4.5 dan 8.5 memperlihatkan bahwa nilai kategori SPI-3 lebih cenderung ke arah kanan yang artinya frekuensi kejadian kekeringan lebih

banyak dari pada kejadian SPI yang tergolong kategori SPI agak basah hingga sangat basah. Untuk RCP 4.5 peristiwa kekeringan SPI-3 frekuensi kejadian paling sering yakni kekeringan yang mendominasi termasuk dalam kategori agak kering dengan *range* nilai SPI -1,49 hingga -1,00 sebanyak 53 kejadian dari keempat model dan *ensemble*. Sedangkan SPI-3 RCP 8.5 berjumlah 72 kejadian yang termasuk kategori agak kering. Namun untuk frekuensi kejadian sangat kering SPI-3 RCP 4.5 wilayah Lampung jumlahnya lebih banyak kejadian dari pada RCP 8.5. Selain itu wilayah perbandingan SPI-1 dan SPI-3 untuk kekeringan wilayah provinsi Lampung menunjukkan bahwa SPI-1 menunjukkan jumlah frekuensi kejadian kekeringan lebih banyak daripada SPI-3 hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Ika (2013) menyebutkan pemodelan SPI-1 menunjukkan jumlah frekuensi kekeringan lebih banyak daripada SPI-3.

4.3.4 Perbandingan Histogram Frekuensi kekeringan SPI-1 Historis (2000-2005) dengan SPI-3 Proyeksi (2021-2030) di provinsi Sumatera Barat

Analisis SPI luaran RCM model CORDEX-SEA pada Gambar 12 memperlihatkan histogram yakni nilai SPI-3 semakin ke kanan nilai index SPI-3 akan semakin kering. Tahun *baseline* memperlihatkan frekuensi terjadinya kekeringan dengan kategori agak kering hingga sangat kering frekuensinya masih lebih sedikit dibandingkan dengan terjadinya kekeringan pada SPI-1 RCP 4.5 atau pun RCP 8.5. Histogram untuk prediksi dari tahun 2021-2030 RCP 4.5 dan 8.5 memperlihatkan bahwa nilai kategori SPI-3 lebih cenderung ke arah kanan yang artinya frekuensi kejadian kekeringan lebih banyak dari pada kejadian SPI yang tergolong kategori SPI agak basah hingga sangat basah. Untuk RCP 4.5 peristiwa kekeringan SPI-3 frekuensi kejadian paling sering yakni kekeringan yang mendominasi termasuk dalam kategori agak kering dengan *range* nilai SPI -1,49 hingga -1,00 sebanyak 87 kejadian dari keempat model dan *ensemble*. Sedangkan SPI-3 RCP 8.5 berjumlah 65 kejadian yang termasuk kategori agak kering. Namun untuk frekuensi kejadian sangat kering SPI-3 RCP 4.5 wilayah Sumatera Barat jumlahnya lebih banyak kejadian dari pada RCP 8.5. Selain itu wilayah perbandingan SPI-1 dan SPI-3 untuk kekeringan wilayah provinsi Sumatera Barat menunjukkan bahwa SPI-1 menunjukkan jumlah frekuensi kejadian kekeringan lebih banyak daripada SPI-3.





Gambar 12 Histogram frekuensi kekeringan berdasarkan kategori SPI untuk periode *baseline* tahun 2000-2005 dengan SPI-3 proyeksi 2021-2030 dengan skenario RCP 4.5 dan RCP 8.5 tahun 2021-2030 di Provinsi Sumatera Barat

V SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Dari penelitian ini disimpulkan bahwa nilai dari RCM model CORDEX-SEA, dan *ensemble* (rata-rata keempat model) sebelum dikoreksi masih memiliki banyak bias. Sedangkan setelah dikoreksi nilai yang paling mendekati observasi yaitu ensemble keempat model RCM. Hal ini menunjukkan performa model RCM setelah dikoreksi menunjukkan hasil yang lebih baik untuk mengurangi bias data.

Hasil dari analisis pola spasial perbandingan spasial SPI-1 dan SPI-3 historis di Pulau Sumatera menunjukan bahwa nilai SPI-1 dan SPI-3 historis nilainya tidak sekering nilai SPI proyeksi tahun 2030. SPI-1 dan SPI-3 pada tahun 2030 skenario RCP 8.5 menunjukan hasil SPI yang lebih kering dari pada RCP 4.5. Sedangkan Histogram mengenai frekuensi kekeringan menunjukan hasil bahwa wilayah Lampung dan Sumatera Barat untuk tahun historis (2000-2005), frekuensi jumlah kekeringannya lebih sedikit daripada tahun proyeksi (2021-2030). Selain itu Histogram frekuensi kekeringan tahun proyeksi (2021-2030) dengan skenario RCP 4.5 dan 8.5 menunjukan adanya perbedaan hasil bahwa SPI-1 kejadian kekeringannya akan lebih banyak terjadi, daripada kejadian kekeringan di SPI-3 untuk wilayah provinsi Lampung dan Sumatera.

5.2 Saran

Penelitian ini terbatas pada pemanfaatan data model observasi dengan menggunakan data CHIRPS yang merupakan gabungan data observasi dan data satelit. Oleh sebab itu, penelitian yang akan datang disarankan lebih baik untuk nilai observasi stasiun cuaca atau data observasi lapang sehingga akan menghasilkan nilai koreksi bias yang lebih akurat karena berdasarkan data riil.



DAFTAR PUSTAKA

- Aldrian E, Sutanto RD. 2003. Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature. *Int. J of Clim.* RmeTs. DOI:10.1002/joc.950.
- Adegun BK, Nwude MO, Mohammad YS, Adie DB. 2014. Evaluation of suitable Standardized Precipitation Index time scales for meteorological, agricultural, and hydrological drought analyses. *FUTA J of Research in Sci.* (2):140-149.
- Adiningsih ES. 2014. Tinjauan Metode Deteksi Parameter Kekeringan Berbasis Data Penginderaan Jauh. Seminar Nasional Pengindraan Jauh. 210-220
- [Badan Koordinasi Nasional]. 2007. *Pengenalan karakteristik bencana dan upaya mitigasinya di Indonesia*. Direktorat Mitigasi, Bakornas PB.
- Byun HR, Wilhite, DA. 1999. Objective quantification of drought severity and duration. *J. Clim.* 12, 2747–2756.
- Cabrera, J., Tupac, R., Yupanqui, Raub, P. 2016. Validation of TRMM Daily Precipitation Data for Extreme Events Analysis. The Case of Piura Watershed in Peru. *Procedia Engineering.* 154: 154-157. DOI:10.1016/j.proeng.2016.07.436.
- Chen HP, Sun JQ, 2015. Assessing model performance of climate extremes in China: an intercomparison between CMIP5 and CMIP3. *Clim. Chang.* 129:197–211. DOI:10.1007/s10584-014-1319-5.
- Christensen JH, Boberg F, Cristensen OB, Lucas-Picher P. 2008. On the need for bias correction of regional climate change projections of temperature and precipitation. *Geophys. Res. Lett.* 35 (20): L20709. DOI:10.1029/2008GL035694.
- Funk CC, Peterson PJ, Landsfeld MF, Pedreros DH, Verdin JP, Rowland JD, Romero BE, Husak GJ, Michaelsen JC, Verdin AP. 2014. A quasi-global precipitation time series for drought monitoring. U.S. Geological Survey Data Series 832, 4p.
- Funk, CC, Verdin A, Michaelsen J, Peterson P, Pedreros D, Husak G. 2015. A global satellite-assisted precipitation climatology. *Earth Syst. Sci. Data.* 7: 275–287. DOI:10.5194/essdd-8-401-2015.
- Handoko U. 2020. Tata Ruang Tangguh Bencana Iklim di DAS Batanghari. [Disertasi]. Bogor (ID): Departmen Geofisika dan Meteorologi program studi Klimatologi Terapan, Institut pertanian Bogor.
- Hayes MJ, Svoboda MD, Wall N, Widhalm M. 2011. The Lincoln Declaration on drought indices: universal meteorological drought index recommended. *Bull.Amer. Meteor. Soc.* 92(4):485-488.
- Hermawan E. 2010. Pengelompokan pola curah hujan yang terjadi di Beberapa kawasan Pulau Sumatera berbasis hasil analisis teknik spectral. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika.* 11(2): 75 – 85.
- Hollinger SE, Isard SA, Welford MR. 1993. A new soil moisture drought index for predicting crop yields. In: Preprints, Eighth Conf. on Applied Climatology, Anaheim CA, Amer. Meteor. Soc. pp. 187–190.
- Hounam CE, Bungos JJ, Kalik MS, Palmer WC, Rodda J. 1975. Drought and Agriculture. WHO. Geneva, 392p.
- Jacob D, Petersen J, Eggert B, Alias A, Christensen OB, Bouwer LM, Braun A, Colette A, Déqué M, Georgievski G, Georgopoulou E, Gobiet A, Menut L, Nikulin G, Haensler A, Hempelmann N, Jones C, Keuler K, Kovats S, Kröner N, Kotlarski S, Kriegsmann A, Martin E, van Meijgaard E, Moseley C, Pfeifer S, Preuschmann S,

Radermacher C, Radtke K, Rechid D, Rounsevell M, Samuelsson P, Somot S, Soussana JF, Teichmann C, Valentini R, Vautard R, Weber B, Yiou P, 2014. EURO-CORDEX: New high-resolution climate change projections for European impact research. *Reg. Environ.* 14:563–578. DOI:10.1007/s10113-013-0499-2.

Gadmiko SD, Murdiyarso D, Faqih A. 2017. Koreksi bias luaran model iklim regional untuk analisis kekeringan. *Jurnal Tanah dan Iklim.* 41(1): 32–45. DOI:10.4269/ajtmh.16-0696.

Knutti R, Furrer R, Tebaldi C, Cermak J, Meehl GA, 2010. Challenges in combining projections from multiple climate models. *J. Clim.* 23(10):2739–2758. DOI: 10.1175/JCLI-D-11-00526.1.

Lloyd-Hughes B. Saunders MA. 2002. A drought climatology for Europe. *Int. J. Clim.* 22: 1571–1592. DOI: 10.1002/joc.846.

Lorenzo MN. 2020. Climate change patterns in precipitation over Spain using CORDEX projections for 2021–2050. *Sci of the Total Env.* 723 (2020):138024. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.138024.

Ma'rufah, U. 2016. Analisis Hubungan Antara Kekeringan Meteorologi dan Kekeringan Pertanian menggunakan SPI dan VHI. [Skripsi]. Bogor (ID): Departmen Geofisika dan Meteorologi. Institut pertanian Bogor.

McKee TB, Doesken NJ, Kleist J, 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology.* American Meteorological Society: Boston (MA): 179–184.

Mishra AK, Singh VP. 2011. Drought modeling a review. *J. Hydrol.* 403:157–175.

Moss RH, Edmonds JA, Hibbard KA, Manning MR, Rose SK, Van DP, Vuuren TR, Carter S, Emori TR, Kainuma M, Kram T, Meehl GA, Mitchel JFB, Nakicenovic N, Riahi K, Smith SJ, Stouffer RJ, Thomson AM, Weyant JP, Wilbanks TJ. 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463: 747-756. DOI:10.1038/nature08823.

[NOAA] National Oceanic and Atmospheric Administration. 2020. Oceanic Nino Index (ONI). [internet]. diunduh 2020 Nov 20]. Tersedia pada: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml.

Pabalik I, Ihsan N, Arsyad M. 2015. Analisis Fenomena Perubahan Iklim dan Karakteristik Curah Hujan Ekstrim di Kota Makassar. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika.* (11)1

Palmer WC, 1965. Meteorologic drought. US Department of Commerce, Weather Bureau, Research Paper 45:58

Palmer, WC, 1968. Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: the new crop moisture index. *Weatherwise* 21:156–161.

Perez J, Melisa M, Fernando JM, Inigo JL. 2014. Evaluating the performance of CMIP3 and CMIP5 global climate models over the north-east Atlantic region. *Clim Dyn.* DOI:10.1007/s00382-014-2078-8

Piani C, Haerter JO, Coppola E. 2010. Statistical bias correction for daily precipitation in regional climate models over Europe. *Theor Appl Climatol.* 99:187–192.

Salathe EP. 2003. Comparison of various precipitation downscaling method for the simulation of streamflow in a rainshadow river basin. *Int. J. Climatol.* 23 (8). 887-901. DOI:10.1002/joc.922.

- Shah R, Bharadiya N, Manekar V. 2015. Drought index computation using Standardized Precipitation Index (SPI) method for Surat District, Gujarat. 4: 1243-1249.
- Teutschbein C, Seibert J. 2010. Regional climate model for hydrological impact studies at the catchment scale: a review of recent modelling strategies. *Geogr. Compass*. 4 (7): 834-860. DOI: 0.1111/j.1749-8198.2010.00357.x.
- Thomson MC, Ukawuba I, Hershey CL, Bennett A, Ceccato P, Lyon B, Dinku T. 2017. Using Rainfall and Temperature Data in the Evaluation of National Malaria Control Programs in Africa. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 97(Suppl 3), pp. 32–45 . DOI:10.4269/ajtmh.16-0696
- UN-ISDR. 2009. *Drought Risk Reduction Framework and Practices*. United Nations International Strategy for Disaster Reduction.
- Van Vooren S. 2019. Evaluation of CORDEX rainfall in northwest Ethiopia : sensitivity to the model representation of the orography. *Int. J. Climatol*. 1–18. DOI:10.1002/joc.5971.
- Varis O, Kajander T, Lemmela R. 2004. Climate and Water: from climate models to water resources management and vice versa. *Climatic Change*. 66 (3): 321-344. DOI:10.1023/B:CLIM.0000044622.42657.d4.
- Vicente-Serrano SM, Begueria S, Lopez-Moreno JI. 2010. A Multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *J. of Climate*, 23:1696-1718.
- Wigena AH. 2006. Statistical Downscaling Luaran GCM. Departemen Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- [WMO] World Meteorological Organization. 2012. Standardized Precipitation Index User Guide. WMO-No.1090.
- Yang L, Feng Q, Yin Z, Wen X, Si J, Li C, Deo RC. 2016. Identifying separate impacts of climate change and land use/cover change on hydrological processes in upper stream of Heihe River, Northwest China. *Hydrological Processes*. 2017: 1–13.
- Yanto, Livneh B, Rajagopalan B. 2017. Data Descriptor: Development of a gridded meteorological dataset over Java island, Indonesia 1985–2014. *Scientific Data*. DOI:10.1038/Sdata.2017.72.
- Yuliastin IL. 2017. Pemodelan Kekeringan d Wilayah Nusa Tenggara Timur (NTT) dengan metode Statistical Downscaling Pra-Pemroses PCA. [Skripsi]. Surabaya (ID): Departmen Statistika. Institut Teknologi Sepuluh November.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Kendal pada tanggal 16 Juli sebagai anak ke-2 dari pasangan bapak Muhammad Nur Faizien (alm) dan ibu Lestari. Pendidikan sarjana ditempuh di Program Studi Meteorologi Terapan, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam di Institut Pertanian Bogor tahun 2010 dan lulus pada tahun 2015. Penulis diterima sebagai mahasiswa program magister (S-2) di Program Studi Klimatologi Terapan pada Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor dan menamatkannya pada tahun 2021.

Penulis bekerja sebagai Peneliti muda di PPLH-IPB sejak tahun 2016 dan ditempatkan di Divisi Penelitian dan Pengembangan Masyarakat.

Selama mengikuti program S-2 penulis aktif menjadi anggota tim panitia simposium LISAT (LAPAN-IPB) Satelit dari tahun 2016-2019. Karya ilmiah berjudul “Analisis Kekeringan dengan Metode *Standardized Precipitation Index* (SPI) untuk Proyeksi ke depan menggunakan Luaran RCM CORDEX-SEA“ akan dipublikasikan di jurnal “Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan”.