

PROYEKSI PERUBAHAN IKLIM BERDASARKAN SKENARIO IPCC SRES DENGAN MENGGUNAKAN MODEL AOGCM CCSR/NIES

Edison Kurniawan, Herizal, dan Budi Setiawan
Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang
Sumatera Barat

ABSTRAK

Penelitian pada ketidakpastian proyeksi perubahan temperatur udara permukaan dan curah hujan musiman untuk periode 30 tahunan selama abad ke 21 telah dilakukan di Stasiun Pemantau Atmosfer Global (GAW). Hasilnya diharapkan akan sangat bermanfaat sebagai sebuah panduan di dalam mempelajari skenario perubahan iklim serta dampaknya terhadap iklim suatu wilayah. Skenario perubahan iklim telah berhasil disimulasikan dengan menggunakan model-model Atmosphere-Ocean General Circulation Model (AOGCM) diantaranya CCSR/NIES Jepang. Pada model tersebut, pengaruh Gas-gas Rumah Kaca (GRK) dan aerosol mutlak diperhitungkan. Skenario yang dipilih di dalam penelitian ini adalah skenario SRES A2 dan B2 sebagai skenario acuan (reference). Hasilnya menunjukkan bahwa hingga tahun 2080, intensitas curah hujan di GAW akan mengalami peningkatan hingga 20% dibandingkan nilai rata-ratanya. Namun yang menarik disini, pada periode SON dua skenario yakni SRES A2 dan B2 sepekat bahwa adanya penurunan intensitas curah hujan hingga mencapai 15%. Penurunan ini belum diketahui penyebabnya, namun kondisi ini dapat dijadikan sebagai acuan di dalam melihat proyeksi perubahan iklim di masa depan.

Keywords : *Climate Change, AOGCM, CCSR/NIES, SRES, uncertainty.*

1. PENDAHULUAN

Di dalam Third Assessment Report (TAR), IPCC menyimpulkan bahwa rata-rata temperatur udara permukaan global akan meningkat sebesar $0.6 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ pada abad ke 20, kondisi ini adalah yang paling tinggi dibandingkan abad-abad sebelumnya selama 1000 tahun yang lalu (IPCC, 2001a). Tanpa adanya langkah-langkah atau tindakan untuk menghentikan laju emisi, perubahan iklim global diharapkan terjadi lebih cepat di masa depan.

IPCC telah memperkenalkan proyeksi perubahan iklim yang didasarkan pada skenario emisi karbondioksida (Nakicenovic et. al., 2000) yang mengasumsikan tidak adanya kebijakan iklim secara tegas.

Rata-rata temperatur global diproyeksikan bertambah antara $1.4-5.8^{\circ}\text{C}$ antara tahun 1990-2100, yang mana laju pemanasannya lebih cepat selama abad ke-20 dan tampaknya akan mendahului hingga 10.000 tahun ke belakang. IPCC juga menyimpulkan bahwa perubahan regional terhadap temperatur telah berpengaruh pada lingkungan alami (sepertinya mencairnya es, dan lain-lain). Selain itu muncul kenyataan bahwa beberapa sistem sosial dan ekonomi telah dipengaruhi oleh meningkatnya frekuensi banjir dan kekeringan di beberapa wilayah (IPCC, 2001b).

Dengan adanya prospek dari percepatan perubahan iklim di masa depan, dampak terhadap sistem manusia dan alam tampaknya akan menjadi sangat penting. Dalam rangka

untuk meningkatkan tentang pengertian kita terhadap distribusi regional dari perubahan iklim, maka informasi iklim masa depan harus dikembangkan ke dalam skala regional.

Salah satu sarana untuk mengadopsi proyeksi iklim di masa depan adalah melalui model AOGCM (*Atmosphere-Ocean Global Circulation Models*). Model numerik ini memiliki beberapa kemampuan diantaranya mampu menampilkan sebuah sistem iklim dalam bentuk 3 Dimensi, mampu menjelaskan berbagai proses fisis dan dinamis, serta berbagai macam proses interaksi dan timbal-baliknya. Model-model AOGCM juga memiliki kemampuan di dalam memperkirakan kondisi iklim regional dalam merespon terhadap perubahan konsentrasi Gas Rumah Kaca (GRK) dan aerosol.

Secara umum, kemampuan model di dalam proses simulasi iklim sangat baik terutama pada skala horizontal yang cukup besar. Namun untuk skala yang lebih kecil, kemampuan model akan sangat terbatas. Dengan demikian perbandingan menyeluruh dari performa model-model tersebut akan sangat berarti ketika diarahkan untuk wilayah-wilayah dengan skala sub-kontinen ($10^6 - 10^8 \text{ km}^2$). Pada skala spasial yang lebih kecil (sebagai contoh, pada skala sebuah negara atau lokal), kehadiran model-model AOGCM masih memiliki informasi yang bermanfaat terhadap perubahan iklim. Namun model-model tersebut tidak memiliki kemampuan untuk menampilkan beberapa kejadian tentang perubahan iklim lokal seperti badai dan kejadian hujan orografis. Cara lain untuk menampilkan informasi iklim dengan resolusi yang lebih tinggi, dapat dilakukan dengan pendekatan statistik-dinamis downscaling (Giorgi et. al., 2001).

Ada tiga kunci dari sumber dari ketidakpastian (*uncertainty*) di dalam melihat proyeksi iklim regional di masa depan di dalam menentukan dampak dari perubahan iklim :

- a. Adanya ketidakpastian dari emisi masa depan yang mempengaruhi Gaya-gaya Radiatif (*Radiative Forcing*) dari sebuah sistem iklim. Gaya-gaya Radiatif adalah efek penjumlahan konsentrasi GRK dan aerosol terhadap keseimbangan radiasi di permukaan bumi. Para pembuat model (*modelers*) saat ini mulai menerapkan beberapa skenario emisi yang berbeda di dalam SRES IPCC (Nakicenovic, et. al., 2000).
- b. Adanya ketidakpastian terhadap sensitivitas rata-rata iklim global dan regional dari perubahan iklim yang dapat disimulasikan oleh beberapa model iklim. Ketidakpastian tersebut muncul, dikarenakan setiap model memiliki parameterisasi variabel-variabel iklim yang berbeda, seperti temperatur, presipitasi, perawanan dan sirkulasi atmosfer.
- c. Adanya ketidakpastian yang berhubungan terhadap variabilitas alami dari sistem iklim di suatu wilayah. Variabilitas itu muncul lebih disebabkan oleh faktor internal dan eksternal. Faktor internal muncul disebabkan oleh adanya 'gangguan' alami, sedangkan untuk faktor eksternal disebabkan oleh fenomena alam seperti aktivitas matahari dan letusan gunung berapi.

Sedangkan tujuan utama di dalam penelitian ini, antara lain adalah :

- a. Menampilkan luaran model CCSR/NIES, dimana datanya dapat diunduh melalui *IPCC Data Distribution Center* (DDC) melalui

http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/dkrz/dkrz_index.html.

- b. Proyeksi dari perubahan iklim masa depan terhadap temperatur udara permukaan dan curah hujan khususnya di Stasiun Pemantau Atmosfer Global (SPAG) Bukit Kototabang – Sumatera Barat.
- c. Menampilkan perubahan iklim rata-rata pada 4 musim (DJF, MAM, JJA dan SON) dalam periode 30 tahunan di masa depan, yang difokuskan pada tahun 2020, 2050 dan 2080 relatif terhadap periode rata-rata klimatologis SPAG tahun 1996-2008.

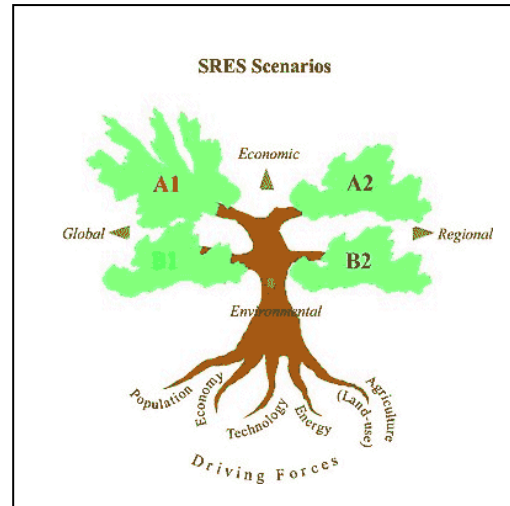
2. DATA DAN METODE

2.1. DATA

Penelitian tentang perbandingan beberapa model skenario perubahan iklim yang didasarkan pada skenario SRES telah dilakukan Ruosteenoja et. al (2004). Skenario SRES (*Special Report on Emissions Scenarios*) menggambarkan suatu bentuk dari ketidakpastian tentang ketersediaan sumber energi di masa depan serta kaitannya terhadap perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Adanya ketidakpastian tentang ketersediaan sumber energi diasumsikan dengan adanya perubahan penggunaan energi fosil menjadi energi non-fosil. Sedangkan gaya-gaya pengendali yang dimasukkan ke dalam skenario SRES tidak hanya mempengaruhi emisi CO₂, tetapi juga GRK lain seperti SO₂, metan dan lain sebagainya.

Berdasarkan skema di atas (Gambar 1) menunjukkan bahwa skenario SRES dibentuk oleh faktor gaya-gaya pengendali yaitu lingkungan yang meliputi populasi penduduk, ekonomi, teknologi, sumber daya energi,

penggunaan lahan dan pertanian. Sedangkan empat famili skenario diilustrasikan secara sederhana bagaikan sebuah “pohon” dua dimensi yang memiliki 2 cabang yaitu model skenario A1 dan B1 (bersifat Global) dan model skenario A2 dan B2 (bersifat Regional).



Gambar 1. Skema ilustrasi skenario SRES (sumber : IPCC, 2000).

Tabel 1. Skenario SRES berdasarkan storyline (sumber : IPCC, 2000).

AR4	Lebih difokuskan pada sektor ekonomi	Lebih difokuskan pada sektor lingkungan
Globalisasi (dunia yang homogen)	A1 Pertumbuhan ekonomi yang cepat (Grup : A1T/A1B/A1F1) Kenaikan temperatur tahun 2100 antara 1.4-6.4°C	B1 Penanganan lingkungan global yang berkelanjutan. Kenaikan temperatur tahun 2100 antara 1.1-2.9°C
Regionalisasi (dunia yang heterogen)	A2 Pembangunan ekonomi yang berorientasi regional. Kenaikan temperatur tahun 2100 antara 2.0-5.4°C	B2 Penanganan lingkungan lokal yang berkelanjutan. Kenaikan temperatur tahun 2100 antara 1.4-3.8°C

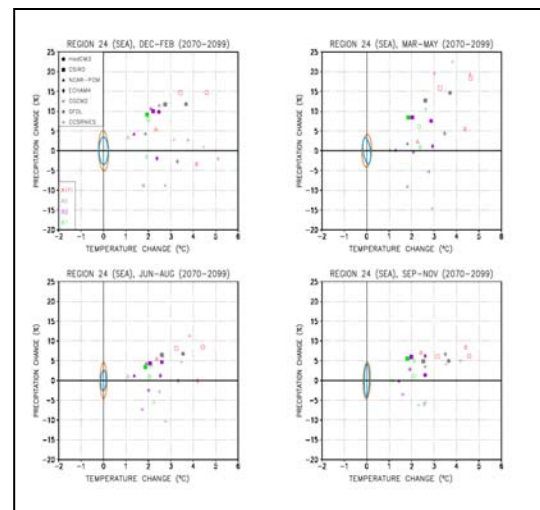
Sedangkan berdasarkan Tabel 1 penjelasan dari skenario SRES dapat dijelaskan secara lebih mudah. Model A1 dan B1 lebih menekankan pada

pendekatan global dimana bumi diasumsikan berada dalam kondisi yang homogen. Sedangkan pada model A2 dan B2 lebih menekankan pada pendekatan regional, dimana bumi diasumsikan sebagai sebuah kondisi yang heterogen. Pada model A1 dan A2 lebih difokuskan pada peningkatan sektor ekonomi, sedangkan pada model B1 dan B2 lebih difokuskan pada penanganan lingkungan. Sehingga pada Tabel 1 terlihat bahwa peningkatan temperatur permukaan rata-rata pada model A1/A2 lebih tinggi dibandingkan B1/B2, hal ini karena pertumbuhan ekonomi yang tinggi dapat mempercepat emisi GRK ke atmosfer dibanding dengan penataan lingkungan yang berkelanjutan (*sustainable*).

Pada laporannya, Ruosteenoja et. al. menampilkan sebuah perbandingan-menyeluruh dari perubahan iklim yang telah dilakukan perhitungan di 32 wilayah. Wilayah penelitian meliputi 5 benua yaitu Amerika, Asia, Eropa, Afrika dan Australia, serta beberapa wilayah daratan dan lautan di atas kawasan Antartika dan Artik. Hasil penelitian itu dinyatakan dalam wujud perubahan temperatur dan presipitasi musiman yang didasarkan pada data tahun 1961-1990 selama periode waktu 2020, 2050 dan 2080.

Menurut hasil laporannya, diperoleh sebuah hasil yang bersifat obyektif yang dapat digunakan sebagai penunjuk ketidakpastian dari perubahan iklim regional di masa depan. Hasil penelitian ini juga untuk mengidentifikasi beberapa wilayah yang menunjukkan semakin melebarnya jangkauan ketidakpastian itu. Informasinya dinyatakan di dalam pengolahan data statistik signifikan dari perubahan temperatur dan presipitasi yang dimodelkan ke dalam variabilitas iklim alami.

Pada penelitian tersebut, Ruosteenoja et. al. juga melakukan penelitian di atas wilayah Asia Tenggara (*South East Asia*) yang berada pada posisi 20°LU-10°LS dan 100°BT-150°BT. Pada Gambar 2 memperlihatkan proyeksi hasil pengolahan scatterplot di wilayah Asia Tenggara pada periode DJF hingga SON pada tahun 2070-2099. Sumbu-x memperlihatkan perubahan temperatur (°C) dan sumbu-y menunjukkan perubahan presipitasi (%). Sedangkan wilayah elips merupakan gambaran dari variabilitas iklim terhadap data rata-rata tahunan antara 1961-1990 yang dapat diakses melalui DDC.



Gambar 2. Hasil Pengolahan Scatterplot di atas wilayah Asia Tenggara (sumber : Ruosteenoja, 2004).

Penelitian lain yang berkaitan dengan hasil yang diperoleh oleh Ruosteenoja et. al., juga telah dilakukan oleh Ratag (2006) di dalam *WMO Special Lecture*. Hasil penelitiannya memperlihatkan munculnya dari jangkauan ketidakpastian dan variabilitas di dalam melihat perubahan iklim di masa depan.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Ruosteenoja et. al. dan Ratag terlihat bahwa hal ini merupakan suatu peluang yang sangat besar untuk melihat proyeksi pola presipitasi khususnya yang terjadi Indonesia.

Dalam hal ini, Ruosteenoja et. al. hanya melihat wilayah Asia Tenggara dalam perspektif yang relatif umum. Ini ditandai dengan cakupan wilayah yang sangat luas dan belum mewakili untuk penelitian khususnya di wilayah Indonesia. Dengan alasan inilah maka akan dilakukan identifikasi pola curah hujan dan temperatur udara di atas wilayah Indonesia khususnya di SPAG Bukit Kototabang- Sumatera Barat pada tahun 2100 dan diharapkan hasilnya akan menunjukkan pola kejadian yang lebih representatif.

Di dalam pengolahan ini telah dilakukan beberapa modifikasi untuk data yang diolah diantaranya wilayah penelitian difokuskan di SPAG Bukit Kototabang yang berlokasi di Desa Muaro, Bukit Kototabang, Kecamatan Palupuh, Kabupaten Agam, Provinsi Sumatera Barat pada posisi $00^{\circ}12'07''$ Lintang Selatan dan $100^{\circ}19'05''$ Bujur Timur.

Bahan utama penelitian ini meliputi sebagai berikut:

- a. Data unsur-unsur klimatologi yang meliputi temperatur udara permukaan dan curah hujan antara tahun 1996-2008 di SPAG Bukit Kototabang yang diambil melalui instrumen MAWS (Meteorological Automatic Weather Station).
- b. Data model AOGCM dari CCSR/NIES Jepang yang meliputi unsur perubahan temperatur udara dan curah hujan pada periode tahun 2020, 2050 dan 2030 berdasarkan skenario SRES A2 dan B2 (sebagai skenario referensi) wilayah SPAG Bukit Kototabang.

2.2. METODE

Untuk memahami perilaku kenaikan temperatur permukaan dan pengaruhnya terhadap pola presipitasi di suatu wilayah, para ahli telah melakukan upaya yang bersifat

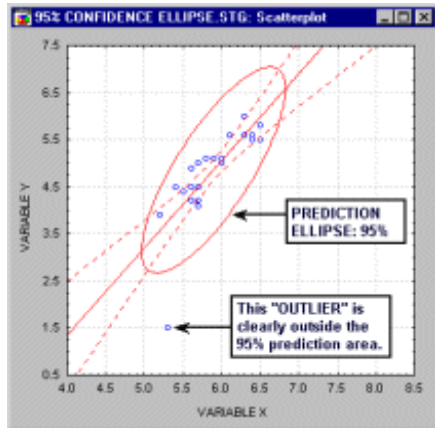
komprehensif dan maksimal. Salah satunya adalah dengan menggunakan pendekatan statistik Metode statistik ini dikenal sebagai *Prediction Interval Area Ellipse* atau lebih dikenal sebagai *Ellipse Error Detection* atau bidang elips (Ratag, 2006). Metode ini sangat membantu terutama untuk membentuk interval keyakinan untuk memprediksi observasi tunggal (*predictions intervals*).

Pada Gambar 3 bentuk elips tersebut ditentukan dengan berdasarkan pada sebuah asumsi bahwa dua buah variabel yang diamati (dalam hal ini temperatur dan curah hujan) mengikuti pola distribusi normal. Sedangkan orientasi elips dinyatakan sebagai sebuah korelasi linier antara dua buah variabel. Probabilitas dari nilai tersebut akan dicantumkan ke dalam area yang ditandai oleh bidang elips tersebut yang dinyatakan oleh nilai dari koefisien yang menyatakan bentuk elips tersebut (Montgomery, 1996).

Diagram scatter menggambarkan model proyeksi dari perubahan iklim. Sedangkan kontur elips akan memagari sebuah wilayah tengah dari nilai aslinya, dimana 95% probabilitas dari distribusi normal dua-dimensi dikonsentrasikan. Plot dari kontur elips untuk memberikan sebuah pengukuran dari model yang digerakkan oleh variabilitas internal. Jika sebuah titik berada di luar jangkauan elips, maka kita dapat menganggap perubahan iklim yang ditampilkan oleh titik tersebut secara statistik disebut signifikan.

Model skenario yang digunakan di dalam penelitian ini adalah CCSR/NIES. NIES (*National Institute for Environmental Studies*) yang didirikan pada tahun 1974 memiliki peran yang penting di dalam melakukan riset yang berkaitan dengan penanganan lingkungan di Jepang. Dalam mengantisipasi terhadap isu perubahan iklim dan pemanasan global. NIES telah melakukan kerjasama sama dengan

berbagai universitas di Jepang di dalam mengembangkan sebuah model iklim berbasis komputasi. Model ini diharapkan dapat merefleksikan interaksi yang terjadi antara atmosfer dan laut sebagai mesin pengendali utama iklim di permukaan bumi.



Gambar 3. Bidang Elips
(sumber : StatSoft, 2005).

NIES telah membuat estimasi dari perubahan temperatur global hingga seratus tahun mendatang dengan menggunakan model iklim yang didasarkan terhadap peningkatan konsentrasi GRK dan aerosol di atmosfer. Disamping itu NIES juga membuat perkiraan mengenai perubahan intensitas presipitasi dan berbagai faktor lainnya. Hal ini dikarenakan, perubahan temperatur dan presipitasi akan menyebabkan dampak yang cukup besar terhadap kehidupan hayati di atas bumi.

Model skenario iklim yang digunakan di sini merupakan model kopel atmosfer-laut yang dikembangkan dengan melakukan kerja sama dengan Universitas Tokyo dan Universitas Kyoto (Abe-Ouchi, 1996). Pada model skenario ini, NIES menggunakan ukuran resolusi grid 5.6° bujur x 5.6° lintang yang memanjang mulai dari Samudera Pasifik hingga Benua Maritim Indonesia. Skenario ini dapat digunakan untuk memprediksi perubahan/anomali

temperatur dan curah hujan hingga tahun 2100. Khusus untuk wilayah SPAG titik grid terdekat dari model CCSR/NIES berada pada posisi 101.25° BT dan 0° Ekuator.

Model skenario iklim NIES terdiri dari 4 kategori model SRES IPCC yaitu kategori : Kategori A1 yang terdiri dari A1a, A1F1 dan A1T. Kategori A2 yaitu A2a Kategori B1 yaitu B1a, dan kategori B2 yaitu B2a. Sehingga total jumlah model yang digunakan ada 6 buah model dari 4 kategori model SRES IPCC. Namun di dalam penelitian awal ini hanya dipilih dua skenario yaitu A2 dan B2, dikarenakan kedua skenario merupakan skenario referensi yang lebih mengedepankan pendekatan regional.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

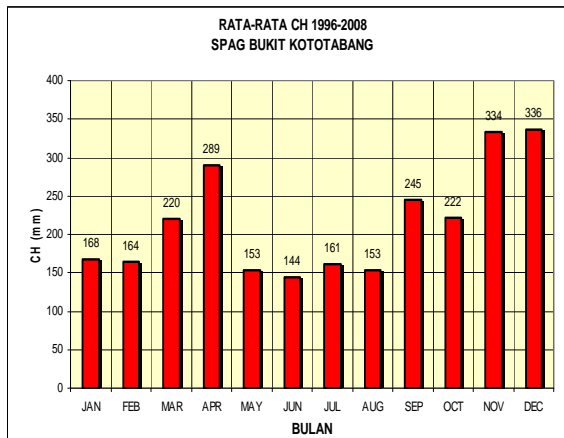
3.1. Variabilitas Alami

Berdasarkan data klimatologis antara tahun 1996-2008, rata-rata curah hujan bulanan di SPAG Bukit Kototabang memiliki dua puncak. Puncak-puncak tersebut terjadi di bulan April (289,4875 mm) dan Desember (336,1875 mm). Pola ini sebenarnya merupakan representasi wilayah Sumatera Barat yang secara umum tergolong ke dalam tipe hujan ekuatorial (Lihat Gambar 4).

Sebuah sistem iklim biasanya terbentuk dari adanya variabilitas alami dalam skala waktu yang bervariasi. Variabilitas alami tersebut dapat disebabkan oleh interaksi antara berbagai komponen di dalam sistem iklim itu sendiri, seperti atmosfer, lautan, chryosfer, tanah, vegetasi dan lain sebagainya. Oleh karena itu, dalam rangka untuk menentukan signifikansi dari simulasi model-model AOGCM yang merespon terhadap perubahan dari komposisi atmosfer tersebut, maka diperlukan sebuah usaha untuk membandingkan

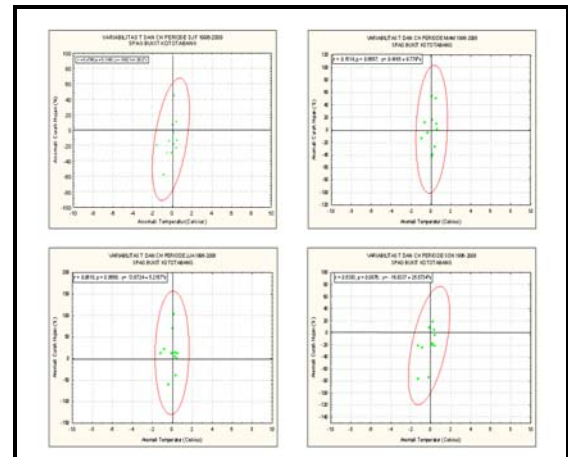
antara sinyal dari perubahan iklim terhadap 'gangguan' yang disebabkan oleh variabilitas alami.

Hasil deret-waktu dari pengamatan meteorologi tampaknya tidak dapat memberikan gambaran yang lengkap tentang karakteristik dari variabilitas alami yang terjadi di suatu stasiun pengamatan baik berdasarkan skala multi-dekadal ataupun abad. Namun secara fisis, variabilitas tersebut sangat kental dipengaruhi oleh gaya-gaya radiatif dari perubahan historis pada komposisi atmosfer. Di dalam penelitian ini, variabilitas alami yang terjadi di SPAG Bukit Kototabang hanya dapat mengandalkan data pengamatan selama 13 tahun. Meskipun relatif cukup terbatas, variabilitas tersebut diharapkan dapat memberikan gambaran yang jelas di dalam membandingkannya terhadap data-data model perubahan iklim.



Gambar 4. Rata-rata Curah Hujan 1996-2008 SPAG Bukit Kototabang

Gambar 5 di atas menunjukkan variabilitas alami yang terjadi di SPAG Bukit Kototabang selama periode 1996-2008 dan dibedakan di dalam skala musiman yakni Desember-Februari (DJF), Maret-Mei (MAM), Juni-Agustus (JJA) dan September-November (SON). Pada periode SON koefisien regresinya menunjukkan nilai terbesar yaitu 0,5383, sedangkan pada periode JJA nilai koefisien regresinya menunjukkan nilai terkecil yaitu sebesar 0,0618.



Gambar 5. Kontur Elips Variabilitas Temperatur Udara vs Curah Hujan SPAG Bukit Kototabang

Secara statistik, hasil ini memperlihatkan bahwa tidak ada pengaruh yang kuat antara perubahan temperatur udara permukaan terhadap perubahan curah hujan di wilayah SPAG Bukit Kototabang. Alasannya dikarenakan nilai rata-rata koefisien regresinya kurang dari 0,5 ($r < 0,5$). Sedangkan jika dikaitkan secara fisis-atmosfer, kenaikan temperatur tidak hanya berpengaruh terhadap kenaikan atau penurunan curah hujan, namun ada faktor-faktor lain, seperti misalnya terhadap pola tekanan udara, kelembaban udara, arah dan kecepatan angin, dan lain sebagainya.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Ruosteenoja et. al. (2003) yang mencoba melihat pola variabilitas alami yang terjadi di wilayah Asia Tenggara dengan resolusi yang lebih rendah (100° - 150° BT dan 20° LU- 10° LS), pola bidang elips yang terbentuk hampir menyamai pola variabilitas yang terjadi di SPAG Bukit Kototabang. Namun yang membedakan jangkauan dari anomali curah hujan yang terbentuk di SPAG Bukit Kototabang lebih besar dibandingkan wilayah Asia Tenggara secara global. Hal ini lebih disebabkan frekuensi gangguan yang terjadi di wilayah Sumatera Barat relatif cukup besar seperti pengaruh sirkulasi eddy di

sebelah barat Sumatera, gangguan tropis, IOD/ENSO dan juga faktor topografi.

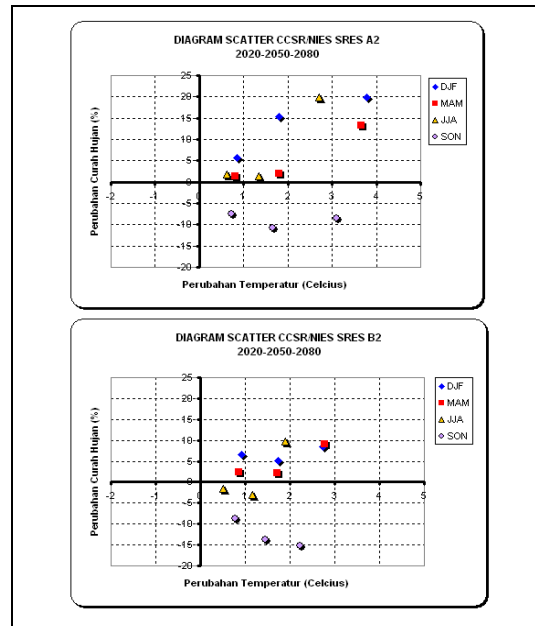
3.2. Hasil Simulasi Model CCSR/NIES

Untuk mengetahui bagaimana perubahan iklim disimulasikan dengan menggunakan model CCSR/NIES dapat dilihat pada Gambar 6. Pada gambar tersebut memperlihatkan proyeksi pola perubahan temperatur udara permukaan dan curah hujan untuk 3 periode tahun ke depan, yaitu tahun 2020, 2050 dan 2080 dengan menggunakan skenario SRES A2 dan B2.

Berdasarkan skenario SRES A2, secara umum kondisi intensitas curah hujan yang terjadi di SPAG Bukit Kototabang akan mengalami peningkatan hingga tahun 2100. Pada periode DJF dan MAM, hasil proyeksi SRES A2 menunjukkan hasil yang cukup konsisten, dimana antara tahun 2020 hingga 2080 intensitas curah hujan akan meningkat sekitar 16.56 % dibandingkan nilai rata-rata dari hasil observasi selama tahun 1996-2008. Namun pada periode JJA, hasil proyeksi SRES A2 menunjukkan hasil yang relatif tidak cukup konsisten dimana pola kenaikan/penurunan intensitas curah hujan tidak linier.

Pada tahun 2020 hasil proyeksi SRES A2 menunjukkan peningkatan sebesar 1.76%, namun pada tahun 2050 hasil proyeksi menunjukkan peningkatan hanya sebesar 1.31%. Meskipun nilainya masih menunjukkan kenaikan, namun dibandingkan kondisi tahun 2050 hasilnya justru menunjukkan penurunan. Hal yang menarik adalah pada tahun 2080, proyeksi intensitas curah hujan memperlihatkan adanya kenaikan hingga mencapai 19.95 %. Sedangkan pada periode DJF, seluruh hasil proyeksi SRES A2 menunjukkan adanya penurunan curah hujan sekitar 8.92 %. Meskipun demikian, hasil proyeksi yang

ditunjukkan terlihat tidak cukup konsisten untuk menggambarkan kenaikannya.



Gambar 6. Diagram Scatter Model CCSR/NIES SRES A2 dan B2 SPAG Bukit Kototabang

Adapun pada skenario SRES B2, secara umum kondisi curah hujan yang terjadi akan mengalami peningkatan, kecuali pada periode DJF yang menunjukkan trend penurunan. Pada periode DJF dan MAM, rata-rata intensitas curah hujan akan mengalami peningkatan sebesar 8.77 % hingga tahun 2080. Pada periode JJA, meskipun pada tahun 2080 hasil proyeksi curah hujan menunjukkan adanya peningkatan, namun pada tahun 2020 dan 2050 hasilnya justru menunjukkan adanya penurunan masing-masing sebesar 1.49 % dan 3.05 % dibandingkan nilai rata-rata dari hasil observasi 1996-2008. Kondisi ini menunjukkan adanya ketidaklinieran terhadap hasil proyeksi model CCSR/NIES yang dihasilkan. Memasuki periode SON, hasil proyeksi SRES B2 menunjukkan hasil yang relatif cukup konsisten. Pada tahun 2020 hingga 2080, intensitas curah hujan akan mengalami penurunan berturut-turut

sebesar 8.61 %, 13.80 % dan 15.15 %. Pola tersebut hampir sama dengan skenario SRES A2 dimana trendnya menunjukkan kecenderungan penurunan.

Berdasarkan uji variabilitas antara perubahan temperatur udara terhadap pola intensitas curah hujan bulanan yang terjadi di SPAG Bukit Kototabang menunjukkan bahwa variabilitas temperatur udara permukaan lebih kecil dibandingkan dengan variabilitas curah hujan. Nilai variabilitas temperatur udara permukaan berkisar antara -1.57°C hingga 0.64°C dibandingkan nilai rata-ratanya selama 13 tahun. Tetapi untuk variabilitas curah hujan besarnya berkisar antara -77.08% hingga 104.24% . Kondisi ini tentunya akan sangat mempengaruhi terhadap hasil luaran model dimana simulasi presipitasi akan lebih sedikit berhasil dibandingkan dengan simulasi temperatur udara permukaan (Ruosteenoja, et al., 2003).

Ada dua alasan yang dapat menjawabnya. Pertama variabilitas alami yang timbul menyebabkan adanya perbedaan yang mencolok antara hasil model dan observasi. Mengacu pada pengamatan di 32 wilayah di belahan bumi yang telah dilakukan Ruosteenoja et al. Ditemukan bahwa variabilitas curah hujan lebih kuat dibandingkan temperatur udara permukaan.

Sedangkan yang kedua, resolusi yang cukup rendah pada beberapa model menyebabkan pengaruh orografis tidak banyak diperhitungkan. Seperti diketahui proses terbentuknya hujan akan sangat sensitif terhadap tampilan orografis, sehingga hasilnya akan kurang representatif jika ditampilkan di dalam proyeksi model. Kondisi inilah yang dapat menjelaskan bahwa proyeksi curah hujan bagi model AOGCM di dalam hal ini model CCSR/NIES tidak cukup konsisten dibandingkan proyeksi temperatur udara. Seperti yang telah disebutkan

sebelumnya, tingginya nilai variabilitas alami curah hujan di SPAG disebabkan oleh beberapa pengaruh alami seperti pengaruh sirkulasi eddy di sebelah barat Sumatera, gangguan tropis, IOD/ENSO dan juga faktor topografi.

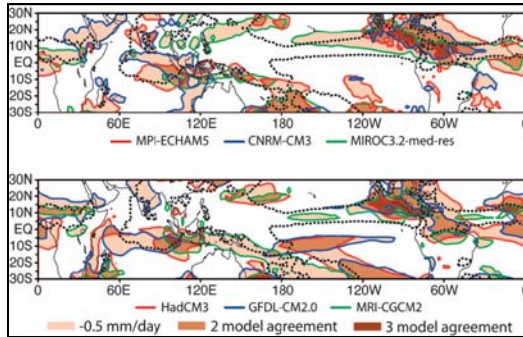
Menurut data hasil pengamatan di SPAG Bukit Kototabang (Lihat Tabel 2), pada tahun 1996/1997 yang dikenal dengan kejadian El Nino kuat menunjukkan hampir seluruh periode curah hujan menunjukkan penurunan yang berkisar antara 13.35 % hingga 77.08 %. Penurunan tertinggi dengan kriteria antara 50-70% terjadi pada periode JJA 1996 sebesar 70.17%, SON 1996 (77.08%), DJF 1997 (57.67%), JJA 1997 (59.72%) dan SON 1997 (74.48%). Hal ini membuktikan bahwa tingginya nilai variabilitas curah hujan sangat besar dipengaruhi oleh adanya gangguan yang diakibatkan oleh peristiwa El Nino.

Sebuah studi telah dilakukan Neelin et al. (2006) di wilayah tropis Indonesia dengan menggunakan ensemble multimodel dari simulasi pemanasan global. Pada Gambar 7. Hasilnya menunjukkan bahwa, di wilayah bagian selatan garis ekuator yakni di Sumatera Selatan, Jawa dan seluruh wilayah timur Indonesia, seluruh model sepakat menunjukkan adanya penurunan trend curah hujan pada periode JJA. Sedangkan di wilayah utara garis ekuator, termasuk di dalamnya Sumatera bagian utara, barat dan tengah serta sebelah utara Kalimantan, trend curah hujan justru menunjukkan adanya kenaikan.

Tabel 2. Variabilitas Temperatur Udara dan Curah Hujan Saat El Nino 1996/1997 di SPAG Bukit Kototabang

	DJF		MAM		JJA		SON	
	T	R	T	R	T	R	T	R
1996	-	-	-	-	-	-	-	-
	1.57	20.06	N/A	28.46	N/A	70.17	1.26	77.08
1997	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.85	57.67	0.90	13.35	0.37	59.72	0.17	74.48

Catatan : N/A = tidak ada pengukuran



Gambar 7. Skenario SRES A2 pada periode JJA tahun 2070-2099 dengan menggunakan enam buah model AOGCM

Hasil penelitian Neelin et. al. menunjukkan bahwa memang terlihat adanya kesesuaian antara hasil model CCSR/NIES yang dilakukan di wilayah SPAG Bukit Kototabang. Namun untuk periode DJF, MAM dan SON, mereka tidak melakukannya sehingga secara keseluruhan hasilnya belum dapat dibandingkan. Meskipun demikian, hal ini dapat dijadikan sebagai sebuah gambaran umum bahwa perubahan iklim yang mempengaruhi intensitas curah hujan di Indonesia memiliki sifat yang cukup variatif dan tidak dapat digeneralisir. Kondisi ini cukup beralasan mengingat wilayah Indonesia cukup luas serta memiliki perbedaan lokal dan topografis yang bervariasi.

4. KESIMPULAN

Pemanasan global telah membawa perubahan terhadap iklim regional, seperti perubahan intensitas curah hujan. Salinger (2005) menunjukkan

bahwa efek pemanasan global yang berpengaruh terhadap perubahan iklim akan sangat banyak dipengaruhi oleh variabilitas iklim seperti adanya peristiwa Osilasi Pasifik, Osilasi Atlantik Utara dan ENSO. Kondisi ini juga dapat ditunjukkan berdasarkan uji variabilitas yang dilakukan di SPAG Bukit Kototabang, bahwa nilai variabilitas yang dihasilkan relatif cukup tinggi terutama untuk intensitas curah hujan. Harga variabilitas yang tinggi itu (antara 70 hingga 100%) menunjukkan bahwa pengaruh El Nino 1996/1997 masih cukup dominan terhadap kenaikan/penurunan curah hujan.

Proyeksi dari perubahan iklim masa depan terhadap temperatur udara permukaan dan curah hujan khususnya di Stasiun Pemantau Atmosfer Global (SPAG) Bukit Kototabang – Sumatera Barat dengan menggunakan model AOGCM CCSR/NIES telah dilakukan. Hasilnya menunjukkan bahwa hingga tahun 2080, intensitas curah hujan akan mengalami peningkatan hingga 20% dibandingkan nilai rata-ratanya. Namun yang menarik disini, pada periode SON dua skenario yakni SRES A2 dan B2 sepakat bahwa adanya penurunan intensitas curah hujan hingga mencapai 15%. Penurunan ini belum diketahui penyebabnya, namun kondisi ini dapat dijadikan sebagai acuan di dalam melihat proyeksi perubahan iklim di masa depan.

5. ACUAN

Abe-Ouchi, A., 1996 : Outline of coupled atmosphere and ocean model and experiment. Internal report, Centre for Climate System Research, University of Tokyo, Japan.

Giorgi, F., B. Hewitson, J. Christensen, M. Hulme, H. von Storch, P. Whetton, R. Jones, L. Mearns, dan C. Fu, 2001:Regional

- Climate Information – Evaluation and Projections. In: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge and New York, pp.583-638.
- IPCC, 2001a, Climate Change 2001 : Climate Change 2001 : The Scientific Basis : Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. Van der Linden, X. Dai, K. Maskell dan C.A. Johnson (eds)], Cambridge University Press, Cambridge and New York, pp 881.
- IPCC, 2001b, Climate Change 2001 : Synthesis Report : Summary for Policymakers, represents the formally agreed statement of the IPCC in the Working Group contributions to the Third Assessment Report.
- Montgomery, 1996 : Statistic Methods and Applications, Statsoft, Tulsa, USA.
- Nakicenovic, N.J. Alcamo, G. Davis, B. de Vries, J. Fenhann, S. Gaffin, K. Gregory, A. Grubler, T.Y. Jung, T. Kram, E.L. Le Rovere, L. Michaelis, S. Mori, T. Morita, W. Pepper, H. Pitcher, L. Price, K. Raihi, A. Roehrl, H. Rogner, A. Sankovski, M. Schlesinger, P. Shukla, S. Smith, R. Swart, S. van Rooijen, N. Victor dan Z. Dadi, 2000 : Emissions Scenarios : A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge and New York, pp.115-166.
- Neelin, J.D, Munnich, M., Su, H., Meyerson, J.E., dan Holloway, C.E., 2006 : Tropical Drying Trends in Global Warming Models and Observations, PNAS volume 103, pp. 6110-6115.
- Ratag, M.A. , 2006 : Climate Change and Impacts in the South-West Pacific ; Range of Uncertainty and Variability in Future Climate Change, Invited Lecture, 14th Session, WMO RA V, Indonesia National Agency for Meteorology and Geophysics (BMG).
- Ruosteenoja, K., T.R. Carter, K. Jylhä dan H. Tuomenvirta, 2003 : Future climate in world regions: an intercomparison of model-based projections for the new IPCC emissions scenarios. The Finnish Environment 644, Finnish Environment Institute, pp. 83.