

Bab VI

Operasional Analisis dan Prediksi Musim di Indonesia

Robi Muharsyah, Supari, Dian Nur Ratri, Achmad Fachri Radjab, Ardhasena Sopaheluwakan, Amsari Mudzakir Setiawan, Adi Ripaldi, Fatchiyah, Damiana Fitria Kusatiti, Adyaksa Budi Raharja, Novi Fitrianti, Tiar Maharani, Niken Wahyuni, Arda Yuswantoro, Marlin Denata, Rosi Hanif Damayanti, Muhammad Agfi Isra Ramadhan, Alexanders Egg, Fathiya Nurrahmanita, Indra Gustari, Syahrul Romadhon, Diah Ariefiyanti, Mia Rosmiati, Suci Pratiwi, Ridha Rahmat, Hasalika Nurjanah, Alif Akbar Syafriano, Dyah Ayu Kartika, Yohanes Agung Kristomo

Prediksi iklim merupakan hal yang mutlak harus dilakukan agar sektor pertanian dapat memberi kinerja yang optimal dan menunjang ketahanan pangan nasional. Dalam bab sebelumnya telah dibahas adanya tantangan perubahan iklim dan iklim ekstrem yang perlu diatasi dalam memprediksi iklim pada masa yang akan datang. Selain itu, telah dibahas pula beberapa model iklim yang dapat digunakan untuk memprediksi iklim. Informasi iklim hasil pemodelan yang diperoleh oleh masyarakat haruslah informasi yang memiliki akurasi baik dan tervalidasi. Dalam Bab V telah dibahas secara singkat bahwa informasi prediksi iklim untuk seluruh wilayah Indonesia disediakan oleh Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). BMKG menyajikan data prediksi iklim berbasis Zona Musim yang mencakup prakiraan awal musim (awal musim hujan dan musim kemarau), perbandingan

R. Muharsyah et al.

BMKG, *e-mail*: robi.muharsyah@gmail.com

© 2024 Editor & Penulis

Muharsyah, R., Supari, Ratri, D. N., Radjab, A. F., Sopaheluwakan, A., ..., Kistomo, Y. A. (2024). Operasional analisis dan prediksi musim di Indonesia. Dalam D. E. Nuryanto & I. Fathrio (Ed.), *Prediksi iklim untuk ketahanan pangan* (159–193). Penerbit BRIN. DOI: 10.55981/brin.1244.c1390. E-ISBN: 978-602-6303-49-3.

prakiraan awal musim terhadap kondisi normal, dan prakiraan sifat hujan. Dalam bab ini dibahas bagaimana operasional analisis dan prediksi musim di Indonesia yang dilakukan oleh BMKG secara lebih detail yang diawali pembahasan ragam tipe hujan di Indonesia.

A. Ragam Tipe Hujan di Indonesia

Wilayah Indonesia berada pada posisi geografis yang unik, yaitu di antara benua Asia dan Australia, serta di antara Samudra Hindia dan Samudra Pasifik. Posisi geografis ini memberi beberapa konsekuensi terhadap kondisi iklim dan dinamika atmosfer di Indonesia, yaitu dengan adanya sistem tekanan udara dan proses interaksi antara atmosfer dan laut. Selain itu, keberadaan monsun dari benua Asia atau biasa dikenal sebagai angin baratan, dan Australia atau dikenal sebagai angin timuran yang berhembus melintasi wilayah Indonesia berdampak pada perubahan dimulainya musim hujan dan kemarau.

Berbagai fenomena dalam berbagai skala turut memengaruhi keragaman iklim di Indonesia, antara lain pada skala submusiman, seperti siklus Madden Julian Oscillation (MJO), Gelombang Ekuator, dan Siklon Tropis yang sesekali memberikan pengaruh dalam peningkatan hujan. Lalu pada skala antartahunan terdapat El Niño Southern Oscillation (ENSO). Selain itu, topografi wilayah Indonesia yang kompleks turut memengaruhi keragaman iklim di Indonesia, khususnya curah hujan.

Sejalan dengan pemahaman tentang kompleksitas iklim di Indonesia, sejumlah penelitian telah banyak dilakukan oleh para ahli iklim Indonesia (Aldrian & Dwi Susanto, 2003; Borema, 1926; Tjasyono, 1999; Winarso, 2001), serta para ahli iklim di BMKG (Mamenun et al., 2014). Secara umum, kajian dari Tjasyono (1999), Winarso (2001), Aldrian dan Susanto (2003) mengklasifikasikan curah hujan di Indonesia menjadi tiga tipe berdasarkan bentuk siklus hujan tahunan, yaitu (1) tipe A atau tipe monsun, (2) tipe B atau tipe ekuatorial, dan (3) tipe C atau tipe lokal. Tipe monsun memiliki satu puncak curah hujan yang biasa terjadi di akhir atau awal tahun dan biasanya bersamaan dengan berlangsungnya monsun Asia, tipe

ekuatorial memiliki dua puncak curah hujan yang biasanya terjadi pada bulan Maret dan Oktober, sedangkan tipe lokal merupakan tipe yang seperti berbalikan dari tipe monsun.

Adanya tiga pola umum curah hujan di Indonesia berimplikasi pada ketidakseragaman waktu kedatangan musim yang terjadi antara tipe tersebut. Bahkan, meskipun di dalam satu tipe yang sama, masih ditemukan keragaman awal musim ataupun panjang musim, antara suatu wilayah dengan wilayah di sekitarnya. Oleh karena itu, agar keragaman tersebut dapat disederhanakan, BMKG menggunakan istilah Zona Musim (ZOM) untuk mengidentifikasi wilayah-wilayah dengan kemiripan siklus hujan tahunan dan banyaknya musim yang ada di wilayah tersebut.

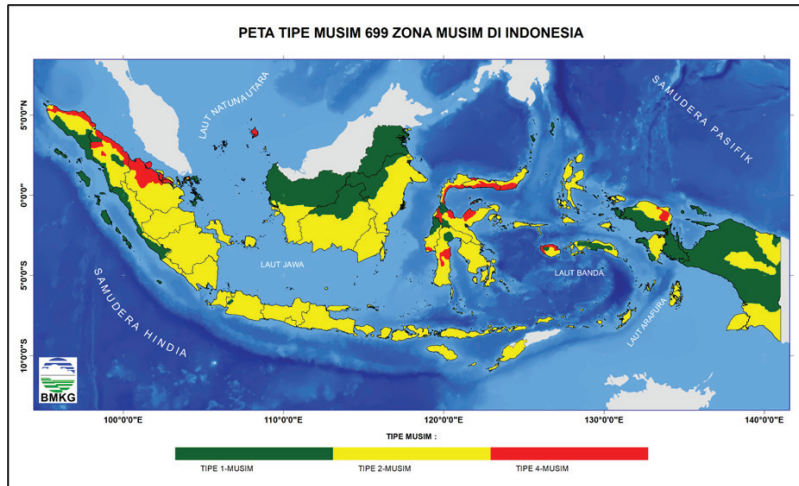
B. Zona Musim (ZOM) sebagai Unit Spasial Prediksi Musim

Operasional layanan prediksi musim yang dilakukan oleh BMKG, diawali dengan mengelompokkan wilayah Indonesia menjadi ZOM. Istilah ZOM merujuk pada kesamaan pola siklus hujan tahunan antarlokasi (grid atau titik) satu dengan lainnya (BMKG, 2021a). Kesamaan tersebut bisa berasal dari pola hujan tahunan, awal musim, jumlah curah hujan dalam satu musim, puncak musim atau durasi musim. Sejak tahun 2000-an, istilah ZOM silih berganti, mulai dari Daerah Prakiraan Musim (DPM) kemudian Zona Prakiraan Iklim (ZPI), tetapi tujuannya tetap sama, yaitu sebagai unit spasial dalam memantau perkembangan musim dan melakukan prediksi musim di Indonesia.

Saat ini, terdapat 699 ZOM di Indonesia yang merupakan pemutakhiran ZOM terbaru yang dibuat berdasarkan data rata-rata hujan periode 1991–2020 (BMKG, 2021b) dan telah dipublikasikan dalam buku *Pemutakhiran ZOM 1991–2020* (BMKG, 2021a). ZOM terbaru ini dibuat menggunakan data hujan penggabungan (*blending*) antara pengamatan *in situ* pos hujan dengan satelit, kemudian di interpolasi ke resolusi $0,05^{\circ} \times 0,05^{\circ}$. Selain data hujan penggabungan (*blending*), data *Digital Elevation Meter* dari United State Geologi-

cal Survey (USGS), juga dipakai dalam menentukan delineasi batas antar-ZOM. Perbedaan antara satu ZOM dengan ZOM lainnya di antaranya terdapat pada perbedaan awal musim, panjang musim, puncak musim, atau jumlah hujan dalam satu musim.

Dalam buku *Pemutakhiran ZOM 1991–2020*, dijelaskan bahwa ada dua tipe ZOM di Indonesia, pertama disebut sebagai ZOM tipe satu musim dan kedua, ZOM tipe lebih dari satu musim, yaitu dua atau empat musim (Gambar 6.1). Pada ZOM tipe satu musim secara klimatologi hanya ada satu musim, hujan atau kemarau saja. Sebagai contoh, Gambar 6.2a adalah ilustrasi untuk tipe ZOM satu musim dengan kondisi Hujan Sepanjang Tahun (HST). Pada ZOM HST, tidak ditemukan lebih dari dua dasarian berurutan dengan curah hujan kurang dari 50 milimeter (total curah hujan tiga dasarian berurutan kurang dari 150 milimeter perdasarian), dengan kata lain tidak ditemukan adanya periode musim kemarau. Sebaliknya, Gambar 6.2b adalah ilustrasi untuk tipe ZOM satu musim dengan kondisi Kemarau Sepanjang Tahun (KST). Pada KST, tidak ditemukan lebih dari dua dasarian berurutan dengan curah hujan lebih atau sama dengan 50 milimeter (total curah hujan tiga dasarian berurutan yang lebih atau sama dengan 150 milimeter). Dengan kata lain tidak ditemukan adanya periode musim hujan. Ada 113 ZOM tipe satu musim atau 16% dari total 699 ZOM, yang tersebar di setiap pulau seperti ditunjukkan oleh wilayah berwarna hijau pada Gambar 6.1.



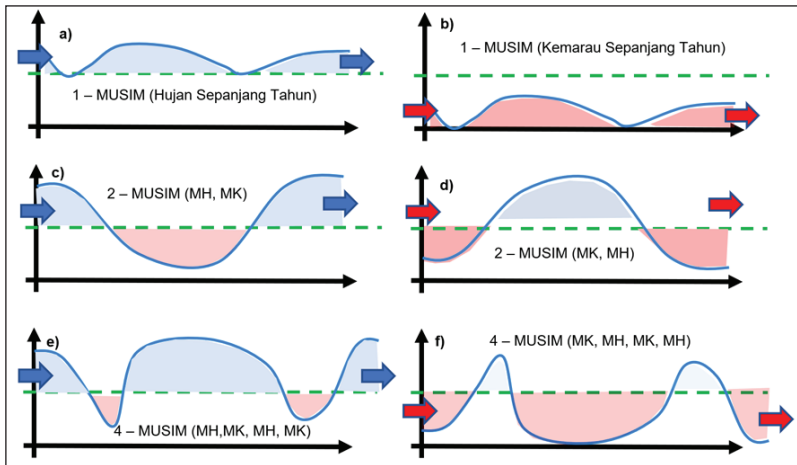
Sumber: BMKG (2013)

Gambar 6.1 Sebaran ZOM dengan Tipe Satu Musim (Hijau), Dua Musim (Kuning), dan Empat Musim (Merah)

Tipe kedua adalah ZOM yang memiliki lebih dari satu musim. Lebih dari satu musim artinya dalam pola klimatologi hujan dasarian ditemukan adanya lebih dari satu musim, bisa dua atau empat musim. Secara keseluruhan tipe kedua ini ditemukan pada 586 ZOM atau sebanyak 86% dari total 699 ZOM, dengan persebaran pada tiap pulau ditunjukkan oleh wilayah berwarna kuning pada Gambar 6.1, serta rincian pada setiap pulau diberikan pada Tabel 6.1. Gambar 6.2c adalah tipe dua musim dengan periode musim hujan terjadi di awal dan akhir tahun, dengan musim kemarau terjadi di pertengahan tahun. Sebaliknya, Gambar 6.2d adalah tipe dua musim dengan musim kemarau terjadi di awal dan akhir tahun, dengan musim hujan terjadi di pertengahan tahun. Secara keseluruhan, jumlah ZOM dengan tipe dua musim adalah sebanyak 537 ZOM di Indonesia.

Selanjutnya, selain tipe dua musim, juga terdapat ZOM dengan tipe empat musim. ZOM dengan tipe ini mempunyai dua musim kemarau dan dua musim hujan dalam pola klimatologi hujan dasarian. Gambar 6.2e adalah tipe empat musim diawali dengan telah

terjadi musim hujan dari tahun sebelumnya, kemudian diikuti periode musim kemarau pertama (MK1), kemudian musim hujan pertama (MH1), kemudian diikuti kembali oleh musim kemarau kedua (MK2), lalu musim hujan kedua (MH2). Sebaliknya, pada Gambar 6.2f, tipe empat musim diawali dengan telah terjadinya musim kemarau dari tahun sebelumnya, kemudian diikuti periode musim hujan pertama (MH1), musim kemarau pertama (MK1), kemudian diikuti kembali oleh musim hujan kedua (MH2), lalu musim kemarau kedua (MK2).



Keterangan: (a) Satu musim—Hujan Sepanjang Tahun (HST), (b) Satu musim—Kemarau Sepanjang tahun (KST), (c) dua musim—MH lalu MK, (d) dua musim—MK lalu MH, (e) empat musim—MH lalu MK lalu MH lalu MK, (f) empat musim—MK lalu MH lalu MK lalu MH.

Sumber: BMKG (2021)

Gambar 6.2 Ilustrasi Pola Klimatologi Hujan Dasarian yang Menunjukkan Perbedaan Tipe Musim

Setelah dapat dibedakan ZOM dengan tipe satu musim, dua musim, dan empat musim, ZOM terbaru ini dibedakan lagi berdasarkan pola klimatologi. Ada tiga pola klimatologi hujan dasarian yang sama dengan yang ditemukan oleh Aldrian dan Susanto (2003). Pada akhirnya, kombinasi jumlah musim dalam setahun dan pola

klimatologi hujan menghasilkan tipe ZOM yang lebih detail melengkapi yang sudah ditemukan oleh penelitian sebelumnya oleh Aldrian dan Susanto (2003). Berikut pengelompokan 699 ZOM yang saat ini dipakai oleh BMKG dalam operasional analisis dan prediksi musim.

- 1) Tipe ZOM Monsunal adalah ZOM yang memiliki pola hujan tahunan dengan satu periode hujan tertinggi dan satu periode hujan terendah. Hujan tertinggi terjadi pada periode berlangsungnya monsun Asia, biasanya terjadi di sekitar awal atau akhir tahun. ZOM dengan tipe monsun dibedakan lagi menjadi dua sub tipe sebagai berikut.
 - a) Tipe ZOM Monsunal-1 (MON1), berpola monsun dan hanya mempunyai satu musim, yaitu musim hujan sepanjang tahun (HST).
 - b) Tipe ZOM Monsunal-2 (MON2), berpola monsun dan mempunyai dua musim, yaitu musim kemarau dan musim hujan.
- 2) Tipe ZOM Ekuatorial adalah ZOM yang memiliki pola hujan tahunan dengan dua puncak hujan, tipe ini terdiri dari beberapa sub tipe, sebagai berikut.
 - a) Tipe ZOM Ekuatorial-1 (EKT1), berpola ekuatorial dan hanya mempunyai satu musim, yaitu musim hujan sepanjang tahun (HST).
 - b) Tipe ZOM Ekuatorial-2 (EKT2), berpola ekuatorial dan mempunyai dua musim, yaitu musim kemarau dan musim hujan.
 - c) Tipe ZOM Ekuatorial-4 (EKT4), berpola ekuatorial dan mempunyai empat musim, yaitu dua periode musim kemarau dan dua periode musim hujan.
- 3) Tipe ZOM Lokal adalah ZOM yang memiliki pola hujan tahunan berbeda dengan tipe monsun dan juga berbeda dengan tipe ekuatorial. ZOM ini umumnya memiliki satu periode hujan tertinggi dan satu periode hujan rendah, tetapi hujan tertingginya tidak terjadi pada periode monsun Asia. Tipe ini terdiri dari tipe-tipe berikut.

- Tipe ZOM Lokal-1 (LK1), berpola lokal dan hanya mempunyai satu musim, yaitu periode musim hujan sepanjang tahun (HST).
- Tipe ZOM Lokal-2 (LK2), berpola lokal dan mempunyai dua musim, yaitu satu periode musim kemarau dan satu periode musim hujan.
- Tipe ZOM Lokal-4 (LK4), berpola lokal dan mempunyai empat musim, yaitu dua periode musim kemarau dan dua periode musim hujan.
- Tipe ZOM Lokal-5 (LK5), berpola lokal dan hanya mempunyai satu musim, yaitu periode kemarau sepanjang tahun (KST).

Tabel 6.1 Jumlah Subtipe ZOM pada Tiap Pulau Besar

Pulau	MON1	MON2	EKT1	EKT2	EKT4	LK1	LK2	LK4	LK5	Total
Sumatra		53	31	46	26					156
Jawa	1	192								193
Bali		20								20
NTB		27								27
NTT		28								28
Kalimantan	20	42	3	2						67
Sulawesi	4	51	2	12	20		11	1	3	104
Maluku	1	11	1	18	2	4	3			40
Papua	23	14	12	3		8	3	1		64
Total	49	438	49	81	48	12	17	2	3	699
Persentase	7,0	62,7	7,0	11,7	6,7	1,7	2,4	0,3	0,4	100

Keterangan: Khusus MON1, EKT1, dan LK1 adalah ZOM dengan tipe satu musim dengan total ketiganya 113 ZOM.

Sumber: BMKG (2023)

C. Tahapan Pembuatan Prediksi Musim di BMKG

Musim adalah fenomena yang terjadi di bumi yang berhubungan dengan kondisi iklim dan mengalami transformasi dalam jangka waktu yang telah ditentukan dalam setahun, mencakup perubahan cuaca, suhu, dan faktor-faktor alam lainnya (Slingo, 2015). Musim

di suatu wilayah dapat disimulasikan bahkan diprediksikan menggunakan model iklim. Lembaga-lembaga meteorologi di beberapa negara di dunia menggunakan berbagai metode dan model untuk membuat prediksi iklim. Di India, prediksi curah hujan musiman dihitung sebagai rata-rata ansambel dari beberapa model terbaik dari semua model yang mungkin dibangun, misalnya menggunakan dua metode statistik, yaitu teknik Multiple Regression (MR) dan Projection Pursuit Regression (PPR), sebuah teknik regresi nonlinier (IMD, t.t.). Di Amerika, National Weather Services (NWS), Climate Prediction Center (CPC) dalam memprediksi jangka panjang menggunakan Climate Forecast System (CFS) yang sudah merupakan model kopel laut-atmosfer. Selain itu, mereka juga menggunakan metode statistik Canonical Correlation Analysis (CCA), ENSO Composites, Optimal Climate Normal (OCN), Constructed Analogue (CA), Screening Multiple Linear Regression (SMLR) untuk mendukung prediksi musiman dan bulanan (NWS CPC, 2021). Menilik prediksi musim di Australia, Bureau of Meteorology (BoM) saat ini telah beralih dari menggunakan model statistik berdasarkan pola suhu permukaan laut (SST) menjadi sistem berbasis model dinamis yang dikenal sebagai '*Predictive Ocean Atmosphere Model for Australia (POAMA)*' untuk prediksi iklim musiman (Charles et al., 2015). Kinerja model dinamis terbukti lebih tajam, lebih andal, dan secara konsisten lebih akurat dalam cakupan wilayah yang lebih luas dibandingkan sistem prediksi statistik sebelumnya. Di Filipina, PAGASA menggunakan metode probabilitas untuk mengukur tingkat ketidakpastian dalam prediksi musim dengan menetapkan nilai numerik sebagai probabilitas kemungkinan terjadinya peristiwa cuaca dalam rentang waktu dan lokasi tertentu. Probabilitas ini biasanya dinyatakan dalam persentase, yang mencakup rentang dari 0 (peristiwa pasti tidak terjadi)–100 (peristiwa pasti terjadi), mencerminkan tingkat ketidakpastian yang berbeda (Solis, 2023).

Sementara itu, di Indonesia dengan wilayahnya yang sangat luas serta dengan segala faktor iklim yang memengaruhi curah hujan di Indonesia, membuat prediksi musim menjadi tantangan sendiri

bagi BMKG. Kedeputan Bidang Klimatologi rutin melakukan rapat prakiraan musim tingkat nasional, dua kali dalam setahun. Biasanya, rapat Prakiraan Musim Kemarau (PMK) dilakukan di sekitar awal tahun, Januari atau Februari, dan rapat Prakiraan Musim Hujan (PMH) dilakukan di sekitar pertengahan tahun, Juli atau Agustus. Pada setiap rangkaian rapat prakiraan musim, baik PMK maupun PMH, terdapat lima tahapan umum, yaitu (1) penyiapan rancangan prediksi musim, (2) pembahasan dan konsensus, (3) diseminasi informasi prediksi musim, (4) evaluasi prediksi musim, dan (5) pemutakhiran prediksi musim. Gambar 6.3 menunjukkan bagian dari keseluruhan tahapan yang dilalui untuk menghasilkan prediksi musim di BMKG. Lebih jelasnya berikut penjelasan setiap tahapan tersebut.

1) Tahap Persiapan Rancangan Prediksi Musim

Pada tahap pertama, konsep rancangan prediksi musim disiapkan oleh Bidang Analisis Variabilitas Iklim, Pusat Informasi Perubahan Iklim, Kedeputan Bidang Klimatologi BMKG. Konsep tersebut merupakan kesimpulan dari hasil pengolahan dari luaran prediksi model-model iklim, khususnya untuk parameter curah hujan yang dipakai untuk membuat prediksi musim. Selain itu, konsep prediksi musim yang disiapkan juga sudah mempertimbangkan kondisi atmosfer-laut saat prediksi dibuat serta prediksinya untuk enam bulan hingga satu tahun ke depan.

2) Tahap Pembahasan Konsep dan Konsensus Prediksi Musim

Tahapan ini bertujuan untuk mengoreksi konsep prediksi musim yang sudah disiapkan sebelumnya (pada tahap 1) berdasarkan pertimbangan ilmiah yang diyakini makin memperbaiki prediksi musim yang akan dihasilkan. Tahap kedua ini dilakukan secara berjenjang dalam beberapa forum, sebagai berikut.

- a) Pembahasan pertama, disebut sebagai forum internal BMKG pusat dengan melibatkan Kedeputan Bidang Klimatologi, Meteorologi, Litbang BMKG, dan STMKG.

- b) Pembahasan kedua, disebut sebagai National Climate Expert Forum (NCEF), melibatkan para ahli iklim dari luar BMKG, seperti dari kelompok-kelompok riset bidang iklim di BRIN, serta akademisi bidang iklim dari ITB dan IPB. Pembahasan ini menghasilkan rekomendasi umum terhadap kondisi iklim global terkini dan yang akan terjadi pada beberapa bulan mendatang, serta dampak kondisi tersebut terhadap curah hujan di Indonesia.
- c) Pembahasan ketiga, disebut sebagai forum internal BMKG nasional. Kegiatan ini merupakan puncak dari rangkaian tahap kedua di mana pada bagian ini diadakan pertemuan antara prakirawan cuaca (*forecaster*) dari BMKG pusat dengan prakirawan cuaca (*forecaster*) dari UPT BMKG dari 34 provinsi di Indonesia. Tujuan dari pembahasan ketiga ini adalah menyepakati prediksi musim nasional berdasarkan saran dan masukan yang telah dilalui pada pembahasan forum internal BMKG pusat dan NCEF. Hasil dari pembahasan ketiga ini menjadi konsensus akhir prediksi musim yang selanjutnya dipakai sebagai kesepakatan nasional dan dirilis kepada publik dan pengguna informasi prediksi musim.

3) Tahapan Diseminasi Prediksi Musim

Tahapan ini dilakukan dalam suatu forum yang disebut sebagai National Climate User Forum (NCUF). Pada forum ini diadakan pertemuan antara BMKG dengan para pengguna informasi prediksi musim dari berbagai kalangan, baik dari pemerintah, seperti Kementerian Pertanian, Kementerian Perdagangan, Kementerian Kesehatan, Kementerian PUPR, Bappenas, dan Bapanas maupun dari pihak nonpemerintah, seperti petani garam, kopi, dan tembakau. Setelah tahapan NCUF, biasanya diikuti dengan rilis ke media atau *press conference* Informasi Prakiraan Musim yang juga merupakan bagian penting dari keseluruhan rangkaian tahapan nasional pembuatan prediksi musim. Melalui *press conference* ini hasil prediksi musim disebarluaskan secara masif melalui kanal media cetak nasional, elektronik nasional, dan media sosial BMKG.

4) Tahapan Evaluasi Prediksi Musim

Tahapan ini ditujukan untuk mengevaluasi seberapa akurat prediksi musim yang sudah dibuat dan sebarluaskan sebelumnya kepada publik. Evaluasi prediksi musim dilakukan berkala tiap dasarian dengan memantau perkembangan musim yang sedang terjadi pada 699 ZOM. Misalnya jika telah diprediksikan Awal Musim Kemarau di ZOM100 pada Agt III (Agustus dasarian ke-3), perlu dilakukan pengecekan berdasarkan data pengamatan di lapangan, apakah curah hujan di ZOM100 sudah memasuki musim kemarau tepat pada Agt III sehingga dapat dikatakan prediksi musim TEPAT atau ME-NYIMPANG. Akan tetapi, jika hingga Agt III curah hujan di ZOM100 belum menunjukkan terjadinya musim kemarau, prediksi musim di ZOM100 perlu dimutakhirkan menggunakan inisial prediksi musim terbaru dari luaran model iklim global.



Sumber: Juknis Pemutakhiran Metode Prediksi Musim (2003)

Gambar 6.3 Tahapan Penyiapan Konsep, Tahapan Pembahasan Prediksi Musim, hingga Tahapan Penyebaran Informasi Prediksi Musim ke Publik dan Pengguna

5) Tahapan Pemutakhiran Prediksi Musim

Pemutakhiran prediksi musim dilakukan dua kali setahun, tepatnya sekitar dua atau tiga bulan setelah prediksi musim dirilis ke publik. Misalnya PMK 2023 dirilis ke publik pada awal Maret 2023 maka di sekitar awal Mei dilakukan pemutakhiran prediksi musim. Pemutakhiran dilakukan atas dasar perkembangan terkini kondisi atmosfer-laut yang memengaruhi iklim di Indonesia pada beberapa bulan mendatang, khususnya parameter iklim yang berdampak pada penambahan atau pengurangan curah hujan. Pemutakhiran tidak dilakukan pada keseluruhan ZOM, tetapi hanya pada ZOM yang teridentifikasi harus di mutakhirkan prediksinya, dengan syarat dan kondisi yang dibahas dalam diskusi secara berkelanjutan antara prakirawan cuaca (*forecaster*) di BMKG pusat dan *forecaster* yang menjadi penanggung jawab (*focal point*) di UPT BMKG tingkat provinsi.

D. Ketentuan Teknis Pembuatan Prediksi Musim di BMKG

1. Parameter Musim

BMKG memantau perkembangan musim dan membuat prediksi musim pada 699 ZOM. Seperti dijelaskan sebelumnya pada Tabel 6.1, dari 699 ZOM terdapat 113 ZOM yang dikelompokkan sebagai ZOM dengan tipe satu musim. Secara klimatologi ZOM dengan tipe satu musim mempunyai curah hujan dasarian yang selalu menunjukkan periode musim kemarau atau periode musim hujan sepanjang tahun. Dengan kata lain, rata-rata selama periode 1991–2020 menunjukkan curah hujan tiap dasarian di ZOM tersebut selalu lebih dari 50 mm perdasarian, atau sebaliknya selalu kurang dari 50 mm per dasarian. Sementara itu, pada ZOM dengan tipe lebih dari satu musim, dalam satu tahun bisa terdapat dua musim (satu periode MK dan satu periode MH) atau empat musim (dua periode MK dan dua periode MH). Menurut BMKG, definisi musim didasarkan pada jumlah curah hujan perdasarian. Dasarian merujuk pada rentang waktu selama sepuluh hari. Oleh karena itu, satu bulan dibagi menjadi tiga dasa-

rian, yaitu Dasarian I yang mencakup periode 10 hari pertama pada bulan tersebut (tanggal 1–tanggal 10), Dasarian II yang mencakup 10 hari kedua (tanggal 11–20), dan Dasarian III yang mencakup 10 hari terakhir bulan tersebut (tanggal 21–akhir bulan).

Secara operasional, BMKG menggunakan definisi untuk satu periode musim dengan mengacu pada dua syarat yang telah ditetapkan. Pertama, untuk memperoleh klasifikasi musim hujan atau musim kemarau, dibutuhkan keberadaan minimal tiga dasaxrian berturut-turut dengan curah hujan yang melebihi ambang batas 50 mm perdasarian (Wati et al., 2019). Kedua, dalam menentukan perbedaan antara musim hujan dan musim kemarau, BMKG mengadopsi pendekatan berdasarkan jumlah total curah hujan selama tiga dasarian berturut-turut. Apabila jumlah curah hujan dalam tiga dasarian tersebut melebihi 150 mm, akan dianggap sebagai satu periode musim hujan. Sebaliknya, jika jumlah curah hujan dalam tiga dasarian tersebut kurang dari 150 mm, akan dianggap sebagai satu periode musim kemarau.

Pada buku prakiraan musim terbaru (BMKG, 2023), setidaknya ada lima parameter musim yang sifatnya wajib untuk dipantau dan diprediksi, sebagai berikut.

1) Awal musim

Awal musim kemarau, ditetapkan berdasarkan jumlah curah hujan dalam satu dasarian (10 hari) kurang dari 50 milimeter dan diikuti oleh dua dasarian berikutnya. Permulaan musim kemarau bisa terjadi lebih awal (maju), sama, atau lebih lambat (mundur) dari kondisi normal. Sementara itu, awal musim hujan ditetapkan berdasar jumlah curah hujan dalam satu dasarian (10 hari) sama atau lebih dari 50 milimeter dan diikuti oleh dua dasarian berikutnya. Permulaan musim hujan bisa terjadi lebih awal (maju), sama, atau lebih lambat (mundur) dari normal.

2) Perbandingan Awal Musim terhadap Normal

Perbandingan awal musim terhadap normal (rata-rata curah hujan periode 1991–2020) ditetapkan dengan menghitung selisih dasarian

antara prakiraan awal musim dengan normal awal musim. Informasi ini dibagi menjadi tiga kategori.

- a) Maju: jika prakiraan awal musim terjadi lebih awal dibandingkan normal awal musim.
- b) Sama: jika prakiraan awal musim sama dengan normal awal musim.
- c) Mundur: jika prakiraan awal musim terjadi lebih terlambat dibandingkan normal awal musim.

3) Sifat musim

Sifat hujan, merupakan perbandingan antara jumlah curah hujan selama rentang waktu yang ditetapkan (minimal satu periode musim hujan atau satu periode musim kemarau) terhadap jumlah curah hujan normal pada rentang yang sama. Sifat hujan dibagi menjadi tiga kategori.

- a) Atas Normal (AN): jika nilai curah hujan lebih dari 115% terhadap normal.
- b) Normal (N): jika nilai curah hujan antara 85%–115% terhadap normal.
- c) Bawah Normal (BN): jika nilai curah hujan kurang dari 85% terhadap normal.

4) Puncak musim

Puncak musim hujan merupakan periode di mana terdapat jumlah curah hujan tertinggi untuk akumulasi tiga dasarian berturut-turut. Jika tiga dasarian tersebut berada pada bulan yang berbeda, bulan yang dinyatakan sebagai puncak musim hujan adalah disebutkan bulan dengan dua dari tiga dasarian yang diperoleh. Sebaliknya, puncak musim kemarau merupakan periode dengan jumlah curah hujan terendah untuk akumulasi tiga dasarian berturut-turut. Jika terdapat minimal tiga dasarian bernilai 150 mm, bulan yang dinyatakan sebagai puncak musim kemarau diambil di tengah periode tersebut. Sementara itu, perbandingan puncak musim terhadap normal ditetapkan

kan dengan menghitung selisih bulan antara prakiraan puncak musim dengan normal puncak musim yang dibagi menjadi tiga kategori.

- a) Maju: jika prakiraan puncak musim terjadi lebih awal dibandingkan normal puncak musim.
- b) Sama: jika prakiraan puncak musim sama dengan normal puncak musim.
- c) Mundur: jika prakiraan puncak musim terjadi lebih terlambat dibandingkan normal puncak musim.

5) Durasi musim

Selain parameter yang sudah disebutkan di atas, sejak tahun 2023 ada parameter baru yang menjadi turunan dari penentuan awal musim dan akhir musim, yaitu durasi musim dan perbandingannya terhadap normal. Durasi musim merupakan jumlah dasarian dalam satu periode musim. Durasi musim dihitung dengan menentukan dahulu awal musim dan akhir musim dalam satu musim. Selang dasarian antara akhir musim dan awal musim disebut sebagai durasi musim. Durasi musim terbagi dalam delapan kelompok berdasarkan jumlah dasarian, yaitu 1–4 dasarian, 5–8, 13–15, 16–20, 21–24, 25–28, dan lebih dari 28 dasarian. Kemudian, perbandingan durasi musim terhadap normal ditetapkan dengan menghitung selisih dasarian prakiraan durasi musim dengan normal durasi musim yang dibagi dalam tiga kategori.

- a) Lebih pendek: jika prakiraan durasi musim terjadi lebih pendek dibandingkan normal durasi musim.
- b) Sama: jika prakiraan durasi musim sama panjang dengan normal durasi musim.
- c) Lebih panjang: jika prakiraan durasi musim terjadi lebih panjang dibandingkan normal durasi musim.

2. Alur Teknis Prediksi Musim di BMKG Pusat

a. Penyiapan Rancangan dan Konsensus Prediksi Musim

Penyiapan rancangan prediksi musim menggunakan pendekatan *robustness* atau kesepakatan terbaik model. Konsep ini mengukur

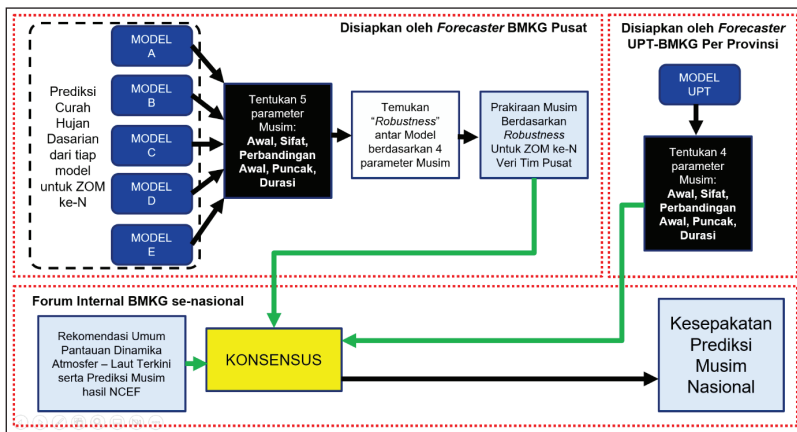
seberapa banyak model yang sepakat dalam memprediksi tiap parameter musim. Gambar 6.4 adalah ilustrasi tahapan penyiapan konsep prediksi musim hingga tahap pembahasan dalam forum internal BMKG tingkat nasional. Secara umum ada tiga bagian (kotak merah), diawali dari bagian pertama, yaitu penyiapan konsep oleh *forecaster* BMKG pusat, tepatnya di Bidang Analisis Variabilitas Iklim, Pusat Informasi Perubahan Iklim, Kedeputian Bidang Klimatologi. Pada bagian ini, *forecaster* menyiapkan prediksi curah hujan dasarian dari beberapa model untuk 699 ZOM. Selanjutnya, dari prediksi curah hujan dasarian pada tiap model dan tiap ZOM dengan tipe dua musim atau lebih, diturunkan menjadi parameter musim, yaitu Awal Musim, Perbandingan terhadap Normal, Sifat Musim, Puncak Musim dan Durasi Musim. Kemudian, dari masing-masing parameter tersebut di cari *robustness* antarmodel sehingga diperoleh kecenderungan dari semua model. Secara teknis, pada tiap ZOM, pendekatan *robustness* mengikuti langkah-langkah berikut.

- 1) Tentukan parameter musim dari masing-masing model.
- 2) Tentukan modus atau frekuensi terbanyak dari tiap parameter.
- 3) Hitunglah seberapa banyak model yang terpilih modus tersebut.
 - a) Jika hanya ditemukan satu modus maka disebutkan di *Robustness 1*.
 - b) Jika ditemukan dua modus dengan jumlah model (langkah 3) yang sama maka disebutkan di *Robustness 1* dan *Robustness 2*.

Sebagai contoh pada ZOM100, lima dari delapan model menunjukkan prediksi Awal Musim kemarau pada Jun III (Juni dasarian III) maka berdasarkan *robustness* untuk Awal Musim pada ZOM1920 dipilih pada Jun III. Hal yang serupa dilakukan untuk mencari arah *robustness* pada tiap parameter musim untuk tiap ZOM. Khusus untuk ZOM dengan tipe satu musim, hanya parameter musim Sifat Musim yang dihitung arah *robustness* nya.

Semua hasil yang disiapkan, seperti nilai prediksi curah hujan dasarian pada tiap model, parameter musim dari masing-masing model, dan hasil *robustness* dari masing-masing parameter musim pada tiap ZOM, disampaikan kepada *forecaster* UPT BMKG per

provinsi. Namun, pada saat bersamaan, beberapa UPT juga menyiapkan konsep prediksi musim menggunakan model-model yang selama ini mereka yakini lebih baik untuk daerah mereka saja. Pada akhirnya, UPT BMKG juga mempunyai kesimpulan parameter musim untuk provinsinya masing-masing seperti terlihat pada Gambar 6.4 (kotak merah kanan atas).



Sumber: Juknis Pemutakhiran Metode Prediksi Musim (2003)

Gambar 6.4 Ilustrasi Tahapan Penyiapan Rancangan Prediksi Musim hingga Tahap Pembahasan dalam Forum Internal BMKG pada Tingkat Nasional

Terakhir, hasil *robustness* dan hasil kesimpulan parameter musim dari *forecaster* BMKG Pusat dan *forecaster* BMKG daerah dibahas bersama dalam forum internal BMKG nasional atau dikenal sebagai istilah “konsensus”. Pada saat konsensus berlangsung, *forecaster* dari masing-masing provinsi akan menyepakati satu hasil untuk tiap parameter musim. Kesepakatan biasanya merujuk pada nilai *robustness*, tetapi terkadang juga merujuk pada nilai selain *robustness* dengan pertimbangan tertentu. Pertimbangan yang dimaksud berkaitan dengan kondisi lokal, seperti topografi, kajian kemampuan model yang digunakan pada masa lalu, dan kondisi iklim terkini di ZOM

yang sedang dibahas prediksi musimnya. Perlu dicatat juga bahwa proses konsensus tidak saja bersandar pada hasil-hasil yang sudah disiapkan oleh *forecaster* BMKG pusat ataupun UPT BMKG, akan tetapi konsensus dilakukan dengan mengikuti rekomendasi umum dari forum NCEF.

b. Model Iklim yang Dilibatkan untuk Prediksi Musim

Masukan model yang terlibat dalam pengambilan keputusan prediksi musim dibagi dalam empat kelompok, yaitu (1) *Direct Output* Model Dinamis (DO-MD), (2) *Post Processing* Model Dinamis (PP-MD), (3) Model Statistik, dan (4) Model Analogi. Total dari gabungan empat kelompok tersebut adalah 14 model serta kombinasi beberapa model dengan rincian tiap model disajikan pada Tabel 6.2.

Pada kelompok pertama DO-MD, terdapat tiga jenis model, yaitu ECMWF-SEAS5 RAW, CFSv2 RAW, dan Indonesia Regional Climate Model (InaRCM). Prediksi curah hujan dari ECMWF-SEAS5 RAW adalah luaran dari model prediksi musim dari lembaga penyedia prediksi model iklim global, ECMWF. Prediksi musim yang mereka miliki mengusung konsep Ensemble Prediction System (EPS) (Johnson et al., 2019; Molteni et al., 1996). Pada satu kali inisial prediksi, ECMWF-SEAS5 mempunyai *lead time* prediksi hingga 215 hari atau sekitar 7 bulan ke depan. Selain itu, dengan konsep EPS, model ini terdiri dari beberapa *individual forecast* yaitu sebanyak 51 *ensemble member* sehingga memungkinkan untuk dibuat prediksi curah hujan probabilistik. Resolusi spasial model ini relatif lebih baik dari model lainnya sekitar 40 km persegi mencakup daratan dan lautan. Selain luaran prediksi curah hujan, model ECMWF juga menyediakan parameter iklim lainnya, seperti prediksi Angin 850 hPa, Suhu Muka Laut, Suhu Udara Permukaan (t2m) yang bisa digunakan sebagai gambaran prediksi kondisi atmosfer-laut pada beberapa waktu mendatang. Selanjutnya, CFSv2 adalah model prediksi musim dari CPC NOAA, Amerika Serikat. Kelebihan model ini mempunyai jangkauan hingga hampir 10 bulan ke depan dengan resolusi spasial sekitar 100 km persegi (Saha et al., 2014). Konsep ansambel (*ensemble*) dari model

ini mengusung ansembl jeda waktu (*lag-time ensemble*), sekitar 20–24 inisial prediksi gabung menjadi satu membentuk *ensemble member*, yang pada akhirnya juga bisa digunakan untuk membuat prediksi curah hujan probabilistik. Terakhir, InaRCM adalah regional model yang secara mandiri dijalankan oleh bagian Litbang BMKG. InaRCM ini memiliki resolusi spasial sekitar 20 km persegi mencakup seluruh daratan dan lautan di sekitar Indonesia. Saat ini, InaRCM belum dibangun dalam bentuk prediksi ansambel (*ensemble forecast*) sehingga masih berupa prediksi tunggal dan dapat dimanfaatkan untuk prediksi curah hujan deterministik saja.

Pada kelompok PP-MD, terdapat empat jenis model, yaitu ECMWF-SEAS5 COR, CFSv2 COR, InaMME1, InaMME2. ECMWF-SEAS5 COR dan CFSv2 COR berasal dari model yang sama dengan kelompok pertama DO-MD, akan tetapi telah dilakukan *post-processing*, menggunakan metode koreksi bias untuk mendapatkan prediksi yang lebih mendekati nilai pengamatan hujan di lapangan (Ratri et al., 2019). Metode koreksi bias yang dipakai adalah *linear scaling* (LS) (Lafon et al., 2013). Metode ini mengoreksi rata-rata DO-MD terhadap rata-rata nilai pengamatan sebenarnya. Singkatnya, untuk mendapatkan prediksi curah hujan terkoreksi pada bulan ke-*m* maka dicari terlebih dahulu hubungan antara *mean* observasi dan *mean* model untuk bulan ke-*m* tersebut berdasarkan pengamatan dan prediksi curah hujan DO-MD pada masa lalu disebut sebagai *reforecast* sehingga diperoleh suatu Faktor Koreksi (FK), kemudian mengalikan FK tersebut dengan prediksi curah hujan DO-MD terbaru pada bulan ke-*m*. Sementara itu, InaMME1 merupakan luaran *post-processing* menggunakan metode CCA, dari masukan *direct output* NMME, sedangkan InaMME2 merupakan gabungan dari InaMME1 dan ECMWF-SEAS5 COR.

Kelompok ketiga adalah model statistik. Model statistik telah lama digunakan dalam prakiraan musim (Nury et al., 2017; Thapliyal, 1997). Metode ini melibatkan analisis statistik terhadap data iklim historis untuk mengidentifikasi pola dan hubungan antara berbagai variabel iklim. Contohnya, regresi linier dapat digunakan untuk memahami bagaimana perubahan suhu permukaan laut dapat me-

mengaruhi curah hujan di suatu wilayah. Selain itu, analisis statistik juga dapat digunakan untuk membuat model musiman berdasarkan data historis. Model ini dapat mengidentifikasi siklus tahunan dalam suhu, curah hujan, atau faktor lain yang memengaruhi iklim. Dengan demikian, model statistik dapat memberikan perkiraan tentang apa yang mungkin terjadi di musim mendatang berdasarkan pola-pola sebelumnya. Model statistik yang pernah diaplikasikan di BMKG adalah model statistik menggunakan konsep *time series* analisis (ARIMA), analisis sinyal (WAVELET), dan jaringan saraf tiruan (ANFIS). Semua model tersebut terdapat dalam satu paket aplikasi yang dikenal sebagai HyBMG (Nuraini et al., 2019). HyBMG merupakan aplikasi yang dikembangkan oleh Puslitbang BMKG sejak 2007 untuk membantu *forecaster* dalam membuat prediksi jangka panjang, khususnya untuk curah hujan. Agar menambah ragam pada model statistik ini maka nilai rata-rata gabungan dari seluruh metode ARIMA, ANFIS, WAV-ARIMA, dan WAV-ANFIS juga dihitung membentuk satu nilai prediksi baru disebut sebagai ENSMEANStat1, sedangkan ENSMEANStat2, hanya tiga model dilibatkan ARIMA, AWAR-ARIMA, dan WAV-ANFIS.

Kelompok terakhir, adalah model Analogi. Model ini salah satu teknik yang telah lama populer untuk membuat prediksi pada skala cuaca (Hamill et al., 2015; Hamill & Whitaker, 2006). Model Analogi tergolong dalam teknik *statistical downscaling* sederhana yang berdasarkan pada hipotesis hubungan dua situasi pada skala *synoptic* yang sama akan menghasilkan pengaruh yang sama juga pada skala lokal (Horton et al., 2017). Pada prediksi musim di BMKG, model Analogi diterapkan dengan mencari kemiripan kondisi iklim pada beberapa waktu terkini (1–12 bulan terakhir) serta prediksinya beberapa bulan mendatang (1–6 bulan berikutnya), lalu dibandingkan kemiripannya dengan kondisi iklim pada masa lalu, misal dari 1981 hingga 2020. Kondisi iklim yang dicari kemiripannya diidentifikasi dari kecenderungan prediksi indeks NINO3.4 apakah menuju netral, El Niño, atau La Niña. Selain itu, analogi kemiripan prediksi indeks IOD apakah menuju IOD positif, IOD negatif, atau IOD netral. Saat ini, model analogi yang digunakan berdasarkan pendekatan *K-means*

Clustering yang bertujuan untuk mengelompokkan tahun-tahun yang memiliki kemiripan antara berdasarkan prediksi NINO34 dan IOD terhadap indeks NINO34 dan IOD pada masa lalu (Balsa et al., 2022).

Tabel 6.2 Model yang Digunakan dalam Pengambilan Keputusan untuk Prediksi Musim

No	Jenis Model	Nama Model	Metode	Jangkauan Prediksi (Bulan)	Penyedia
1	Direct Output Model	ECMWF-SEASS RAW	-	7	ECMWF
2		CFSv2 RAW	-	10	CPC NOAA
3		InaRCM	RegCM + NoCLM	7	LITBANG BMKG
4	Post-Processing Model Dinamis	ECMWF-SEASS COR	<i>Linear Scaling</i>	7	PUSPIPER BMKG
5		CFSv2 COR	<i>Linear Scaling</i>	7	PUSPIPER BMKG
6		InaMME1	CCA (<i>Canonical Correlation Analysis</i>)	10	PUSPIPER BMKG
7		InaMME2	InaMME1 + ECMWF COR	7	PUSPIPER BMKG
8	Statistik	HYBMG	ARIMA	12	LITBANG BMKG
9		HYBMG	WAV-ARIMA	12	LITBANG BMKG
10		HYBMG	ANFIS	12	LITBANG BMKG
11		HYBMG	WAV-ANFIS	12	LITBANG BMKG
12		HYBMG	ENSMEANStat1	12	LITBANG BMKG
13		HYBMG	ENSMEANStat2	12	LITBANG BMKG
14	Analogi	Analogi ENSO+IOD	K-Means	12	PUSPIPER BMKG

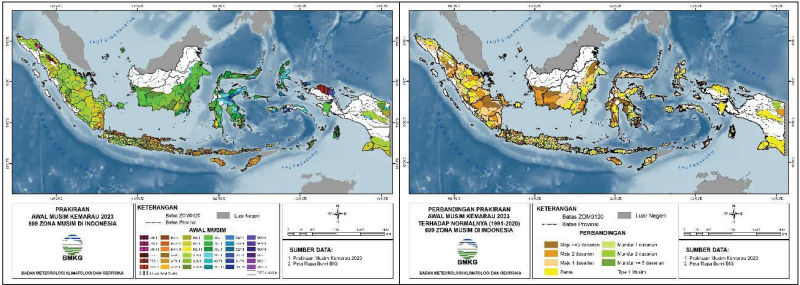
Sumber: BMKG (2023)

c. Contoh Penyajian Informasi Prakiraan Musim Kemarau

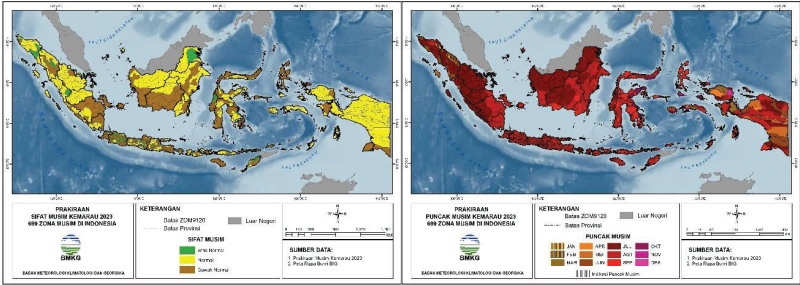
Gambar 6.5 ini adalah contoh ragam informasi Prakiraan Musim Kemarau 2023 (PMK2023). Semua peta pada Gambar 6.5 merupakan hasil akhir dari seluruh rangkaian proses pembuatan prediksi musim.

Produk informasi ini dirilis ke publik pada Februari 2023 yang disajikan dalam *Buku Prakiraan Musim Kemarau 2023*. Di dalam buku tersebut disajikan beberapa hal, di antaranya

- 1) narasi kondisi terkini dan prediksi dinamika atmosfer-laut pada beberapa bulan mendatang,
- 2) peta prediksi musim kemarau untuk tiap provinsi,
- 3) peta prediksi musim hujan untuk beberapa ZOM yang bertipe empat musim,
- 4) tabel nilai prediksi curah hujan dasarian dari Januari–Desember 2023 pada tiap ZOM,
- 5) tabel nilai curah hujan dasarian untuk periode normal 1991–2020 pada tiap ZOM, dan
- 6) grafik pola klimatologi hujan bulanan pada tiap ZOM.



a) Prediksi Awal Musim b) Perbandingan Prakiraan Awal Musim terhadap Normal



c) Prediksi Sifat Musim d) Prediksi Puncak Musim

Sumber: BMKG (2023)

Gambar 6.5 Produk Informasi Prakiraan Musim Kemarau 2023

d. Metode dalam Pantauan Perkembangan Musim
Kemarau dan Hujan

Setelah prakiraan musim dirilis ke publik maka dilakukan pantauan terhadap kondisi musim yang sedang berlangsung secara berkala tiap dasarian. Tahapan memantau perkembangan musim dimulai dengan menyiapkan analisis hujan dasarian di seluruh daratan Indonesia. Analisis curah hujan berasal dari pengamatan hujan lebih dari 4000 pos hujan di seluruh Indonesia. Pengamatan pos hujan ini berasal dari UPT BMKG per provinsi yang dikumpulkan dalam satu portal data Base BMKGSOFT. Pengamatan dari pos hujan lalu digabung dengan pengamatan hujan dari satelit GSMaP, menggunakan teknik geo-statistik sehingga diperoleh curah hujan dalam format raster dengan resolusi spasial sekitar $0,05^\circ \times 0,05^\circ$ (BMKG, 2021b). Kemudian, dari format raster diagregasi ke unit spasial ZOM, dengan cara meratakan semua grid yang terdapat pada tiap ZOM. Misal pada ZOM100 terdapat 40 grid dengan masing-masing mempunyai nilai curah hujan maka untuk mendapatkan nilai curah hujan yang mewakili ZOM 100, nilai curah hujan pada 40 grid tersebut dirata-ratakan seluruhnya. Proses ini dilakukan pada 699 ZOM dan terus-menerus setiap dasarian. Pada akhirnya dapat diketahui perkembangan kondisi iklim di setiap ZOM berdasarkan nilai curah hujan dasarian.

Keputusan untuk menyatakan sudah dimulai atau belum awal musim di ZOM diamati berdasarkan *threshold* 50 mm perdasarian (Wati et al., 2019). Misalkan untuk musim kemarau, pada dasarian ke- t , curah hujan pada suatu ZOM sudah menunjukkan nilai kurang dari 50 mm, artinya ZOM tersebut sudah terindikasi akan mengalami musim kemarau dimulai pada dasarian ke- t . Namun, keputusan untuk menyatakan ZOM tersebut sudah mengalami musim kemarau masih memerlukan dua dasarian berikutnya. Ada tiga kondisi yang biasanya ditemukan pada saat pengambilan keputusan untuk menyatakan musim kemarau.

- 1) Jika nilai curah hujan yang teramati pada dua dasarian berikutnya, $t+1$ dan $t+2$ kurang dari 50 mm, dengan jelas dapat nyatakan awal musim kemarau dimulai pada dasarian ke- t . Kondisi pertama

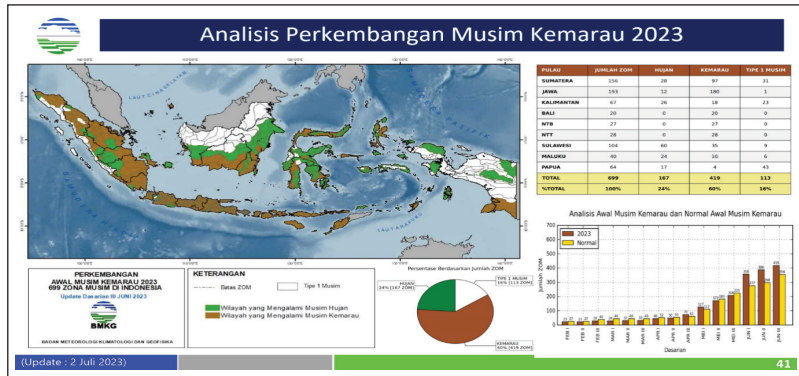
ini diutamakan untuk dijadikan syarat penentuan awal musim kemarau, namun jika tidak ditemukan kondisi pertama ini maka diperbolehkan memilih salah satu dari kondisi 2 dan 3 tergantung yang mana memenuhi syarat terlebih dahulu.

- 2) Jika nilai curah hujan yang teramati pada satu dasarian berikutnya, $t+1$ sedikit di atas 50 mm, perlu menunggu nilai curah hujan pada dasarian berikutnya, $t+2$. Pada saat telah diperoleh nilai curah hujan pada $t+2$ maka dimungkinkan pada dua kondisi, yaitu nilai $t+2$ lebih dari 50 mm atau kurang dari 50 mm. Oleh karena itu, perlu dijumlahkan nilai $t + t+1 + t+2$, jika total nilai ketiganya kurang dari 150 mm, dapat nyatakan awal musim kemarau dimulai pada dasarian ke- t , namun jika lebih dari 150 mm maka dasarian ke- t batal menjadi awal musim kemarau.
- 3) Jika nilai curah hujan yang teramati pada satu dasarian berikutnya, $t+1$ kurang dari 50 mm, indikasi awal musim kemarau sudah makin menguat, akan tetapi masih perlu menunggu nilai curah hujan pada dasarian berikutnya, $t+2$. Pada saat telah diperoleh nilai curah hujan pada $t+2$ maka dimungkinkan pada dua kondisi, yaitu nilai $t+2$ lebih dari 50 mm atau kurang dari 50 mm, oleh karena itu perlu dijumlahkan nilai $t + t+1 + t+2$, jika total nilai ketiganya kurang dari 150 mm, dapat dinyatakan awal musim kemarau dimulai pada dasarian ke- t , namun jika lebih dari 150 mm maka dasarian ke- t batal menjadi awal musim kemarau.

Apabila dasarian ke- t batal ditetapkan menjadi awal musim kemarau maka proses yang sama diulangi kembali namun pengecekan digeser ke dasarian $t+1$, kemudian dilanjutkan mengecek nilai curah hujan dasarian pada $t+2$ dan $t+3$. Hal yang sama dilakukan pada pengambilan keputusan untuk menentukan awal musim hujan. Perbedaanannya terdapat pada jumlah curah hujan yang dimonitor adalah lebih dari 50 mm perdasarian untuk tiga dasarian berurutan atau jumlah ketiganya lebih dari 150 mm.

Agar memudahkan pemahaman tentang pemantauan perkembangan musim, pada Gambar 6.6 disajikan contoh peta perkembangan

Musim Kemarau 2023 yang dirilis pada awal Juli 2023, untuk pemantauan berdasarkan data terakhir Juni dasarian III, 2023 (Jun III). Warna cokelat pada peta menunjukkan ZOM yang sudah memasuki musim kemarau, sedangkan warna hijau adalah ZOM yang belum memasuki kemarau atau masih mengalami musim hujan. Hingga Jun III, 60% atau 419 ZOM dari 699 ZOM sudah memasuki musim kemarau yang tersebar di berbagai pulau di Indonesia. Sebagai contoh, semua ZOM di kepulauan Bali dan Nusa Tenggara, sudah memasuki musim kemarau, sedangkan di pulau Jawa, 180 dari 193 ZOM juga sudah memasuki musim kemarau. Pada peta tersebut juga diketahui bahwa 113 ZOM dari 699 ZOM adalah ZOM tipe satu musim sehingga tidak dilakukan pemantauan perkembangan awal musim di ZOM tersebut. Selanjutnya, pada Gambar 6.6 juga disertakan pemantauan perbandingan kondisi kemarau terhadap kondisi normal yang disajikan pada grafik batang pada bagian kanan bawah. Grafik tersebut menampilkan perbandingan akumulasi jumlah ZOM yang sudah memasuki musim kemarau antara kondisi saat ini dengan kondisi normal dari Januari I–Juni III. Mulai dari Januari I–Mei III, perkembangan kondisi kemarau 2023 relatif mirip dengan kondisi normalnya, namun pada Jun I–Jun III, terdapat perbedaan cukup signifikan yang menunjukkan pada tahun 2023 jumlah ZOM yang sudah memasuki musim kemarau cenderung lebih banyak dari kondisi normal.



Keterangan: Dikutip dari paparan rutin “Analisis Dinamika Atmosfer Laut; Analisis dan Prediksi Curah Hujan”, Pemutakhiran Dasarian III Juni 2023, Bidang Analisis Variabilitas Iklim, Pusat Informasi Perubahan Iklim (Puspiper), BMKG
Sumber: BMKG (2023)

Gambar 6.6 Pemantauan Perkembangan Musim Kemarau 2023 pada 699 ZOM di Indonesia

E. Pemutakhiran Prediksi Musim

1. Alasan Pemutakhiran Prediksi Musim

Prediksi musim dibuat berdasarkan pemahaman terhadap kondisi atmosfer-laut yang terus berubah pada skala submusiman hingga musiman. Pada skala musiman, ENSO adalah faktor yang punya dampak langsung terhadap curah hujan di Indonesia (Supari et al., 2018). ENSO fase hangat atau yang lebih populer dikenal sebagai El Niño adalah kondisi yang ditandai dengan adanya peningkatan SST di Samudra Pasifik tropis bagian tengah, sedangkan ENSO fase dingin atau La Niña adalah kondisi yang ditandai adanya SST di Pasifik yang relatif lebih dingin dibandingkan rata-ratanya. Kedua fase ENSO tersebut memengaruhi pola pergerakan udara dari Samudra Pasifik menuju Indonesia (dikenal dengan istilah *sirkulasi Walker*) sehingga kemudian akan memengaruhi distribusi curah hujan dan suhu udara di seluruh wilayah Indonesia. Kemudian, pada skala sub-musiman fenomena MJO, Gelombang Ekuator, daerah pertemuan

angin (konvergensi), atau anomali Suhu Muka Laut sekitar Indonesia ikut memengaruhi perubahan curah hujan di Indonesia dalam waktu singkat (Diong et al., 2023; Latos et al., 2021; Permana & Supari, 2021).

Oleh karena itu, sering teramati meskipun suatu ZOM sudah memasuki musim kemarau, masih dimungkinkan untuk terjadinya hujan dalam periode singkat misalnya dalam satu minggu atau satu dasarian. Akibatnya satu kali inisial prediksi dari banyak model iklim tidak cukup untuk mengakomodasi ketidakpastian yang akan terjadi pada beberapa bulan mendatang, khususnya keragaman curah hujan di Indonesia. Meskipun model prediksi musim yang digunakan punya jangkauan 7–12 bulan, akan tetapi secara teori akurasi suatu model iklim juga akan menurun seiring makin jauh target waktu yang diprediksikan (Ratri et al., 2023). Akurasi model iklim cenderung menurun seiring makin jauhnya target waktu yang diprediksi karena makin jauh ke depan dalam waktu, makin banyak faktor-faktor yang dapat memengaruhi iklim yang menjadi tidak pasti.

Meskipun model prediksi musim memiliki jangkauan 7–12 bulan, banyak variabel iklim, seperti perubahan suhu permukaan laut, pola angin, dan fenomena iklim global, seperti El Niño, dapat berubah dengan cepat dan tidak selalu dapat diprediksi dengan akurat dalam jangka waktu yang sangat jauh ke depan. Hal ini membuat prediksi musim untuk jangka waktu yang lebih lama menjadi lebih tidak pasti. Selain itu, makin jauh ke depan dalam waktu, kesalahan dalam pengukuran awal atau ketidakpastian dalam data input model juga dapat mengakumulasi, menghasilkan ketidakpastian yang lebih besar dalam prediksi iklim. Meski demikian, model prediksi musim tetap berharga dalam memberikan pandangan umum tentang apa yang mungkin terjadi dalam jangka panjang, yang dapat membantu dalam perencanaan dan pengambilan keputusan. Namun, penting untuk selalu mempertimbangkan tingkat ketidakpastian yang lebih besar ketika menggunakan prediksi iklim untuk jangka waktu yang lebih jauh ke depan.

Oleh karena itu, setelah dilakukan pemantauan perkembangan kondisi iklim secara berkala tiap dasarian maka perlu dilakukan

pemutakhiran prediksi musim berdasarkan inisial prediksi terbaru. Pemutakhiran ini ditujukan untuk memperbarui ZOM yang belum mengalami awal musim namun diasumsikan prediksi dari inisial sebelumnya tidak tepat. Secara teknis, keputusan dimutakhirkan atau tidak suatu ZOM menjadi konsensus bersama antara *forecaster* BMKG pusat dan *forecaster* UPT BMKG perprovinsi.

2. Contoh Mekanisme Pemutakhiran Prakiraan Musim Kemarau 2023

BMKG mengeluarkan PMK 2023 yang dirilis pada bulan Februari 2023. Semua model yang digunakan untuk pada PMK2023 tersebut berasal dari inisial prediksi pada bulan Januari 2023 sehingga dapat disebut sebagai 'PMK2023 inisial Jan'.

Berdasarkan analisis perkembangan musim yang dipantau secara berkala setiap dasarian terdapat ZOM yang seharusnya sudah memasuki kemarau berdasarkan informasi yang dibuat, namun di wilayah tersebut masih mengalami musim hujan. Oleh karena itu, guna mengakomodasi perubahan kondisi dinamika atmosfer-laut yang berdampak pada musim di Indonesia, BMKG perlu melakukan pemutakhiran informasi prakiraan musim tersebut. Dalam melakukan pemutakhiran PMK 2023, ada beberapa syarat dan ketentuan yang harus terpenuhi oleh tiap ZOM, mengingat keragaman iklim di wilayah Indonesia yang sangat tinggi sehingga tidak semua ZOM perlu dilakukan pemutakhiran. Berikut adalah syarat dan ketentuan yang harus dipenuhi oleh suatu ZOM agar dapat dimutakhirkan.

- 1) ZOM merupakan tipe lebih dari satu musim.
- 2) Hasil pemantauan perkembangan musim hingga dasarian III April 2023, ZOM tersebut masih mengalami musim hujan.
- 3) ZOM-ZOM yang telah diprakirakan awal musimnya hingga April I berdasarkan PMK 2023 inisial Januari, akan tetapi pantauan pada di April III, ZOM-ZOM tersebut belum masuk musim kemarau.
- 4) Berdasarkan pemantauan perkembangan musim hingga April III, ZOM tersebut masih belum masuk musim kemarau sama sekali. Kemudian, diyakini PMK2023 inisial April, PMK yang

dijalankan dari inisial prediksi terbaru, dianggap lebih tepat maka ZOM tersebut perlu dimutakhirkan, dengan syarat selisih prakiraan awal MK antara inisial Januari dan inisial April harus lebih dari dua dasarian. Sebagai contoh pada ZOM100, prakiraan awal musim kemarau dari inisial Januari akan terjadi pada Mei II, kemudian inisial April menunjukkan prakiraan awal musim akan terjadi pada Jun II (lebih dari 2 dasarian).

- 5) ZOM yang tidak memiliki awal musim kemarau (masih mengalami musim hujan) pada inisial Januari maka perlu dimutakhirkan dengan hasil prakiraan terbaru.

Tabel 6.3 adalah contoh hasil pemutakhiran PMK2023 inisial Januari menggunakan inisial April 2023. Jumlah ZOM yang di mutakhirkan beragam bergantung pada parameter musim yang menjadi perhatian. Sebagai contoh, awal musim dimutakhirkan pada 29 ZOM, sedangkan puncak musim dimutakhirkan pada 67 ZOM.

Tabel 6.3 Contoh Sebaran Jumlah ZOM pada Tiap Pulau Besar yang dimutakhirkan untuk PMK 2023

Pulau	AMK	Perbandingan AMK	Sifat	Puncak	Perbandingan Puncak	Durasi	Perbandingan Durasi
Sumatra	10	10	22	21	21	29	29
Jawa	1	1	0	0	0	0	0
Kalimantan	1	1	2	4	4	9	9
Bali	0	0	0	0	0	0	0
NTB	4	4	4	5	5	10	10
NTT	4	4	11	14	14	19	19
Sulawesi	6	6	8	21	21	18	18
Maluku	1	1	1	1	1	1	1
Papua	2	2	0	1	1	1	1
Total	29	29	48	67	67	87	87

Sumber: BMKG (2023)

F. Penutup

Dalam operasional analisis dan prediksi musim di BMKG, digunakan Zona Musim (ZOM) sebagai unit spasial untuk menggambarkan

kemiripan pola hujan di suatu wilayah. Berdasarkan pemutakhiran terbaru data rata-rata hujan 1991–2020, saat ini terdapat 699 ZOM di Indonesia. Pada 699 ZOM ini secara rutin dilakukan analisis dan prediksi musim hujan dan kemarau. Ada lima tahapan umum dalam proses pembuatan prediksi musim, yaitu (1) penyiapan rancangan prediksi musim, (2) pembahasan dan konsensus, (3) diseminasi informasi prediksi musim, (4) evaluasi prediksi musim, dan (5) pemutakhiran prediksi musim.

Pada tahap awal dalam menyiapkan rancangan prediksi musim, total ada 14 model dan kombinasi antarmodel, yang digunakan untuk pengambilan keputusan prediksi musim. Semua model tersebut dapat dikelompokkan menjadi empat kategori, yaitu Direct Output Model Dinamis (DO-MD), Post Processing Model Dinamis (PP-MD), Model Statistik, dan Model Analogi. Pada kelompok DO-MD, terdapat tiga jenis model yang digunakan, seperti ECMWF-SEAS5 RAW, CFSv2 RAW, dan InaRCM, masing-masing dengan karakteristik dan resolusi spasial yang berbeda. Kelompok PP-MD mencakup model-model yang telah dilakukan *post-processing*, yaitu ECMWF-COR dan CFSv2-COR untuk mendapatkan prediksi yang lebih mendekati nilai pengamatan hujan di lapangan. Model statistik ini melibatkan analisis statistik berbasis *time series* dan analisis sinyal yaitu ARIMA, ANFIS, WAVE-LET. Model statistik ini bekerja berdasarkan data iklim historis untuk memprediksi kejadian hujan di waktu yang akan datang. Terakhir, ada model Analogi yang mencari kemiripan kondisi iklim saat ini dan prediksi beberapa waktu mendatang dengan kondisi iklim pada masa lalu. Saat ini, model Analogi berdasarkan pendekatan *K-means Clustering* digunakan untuk mengelompokkan tahun-tahun dengan kemiripan prediksi indeks NINO3.4 dan IOD.

Pada umumnya, ragam model yang dipakai untuk membangun prediksi musim di BMKG memiliki jangkauan hingga 7–12 bulan ke depan. Perlu disadari juga bahwa akurasi model tersebut cenderung menurun seiring makin jauh target waktu yang diprediksi. Ini disebabkan oleh banyak faktor yang dapat memengaruhi iklim di Indonesia, baik spasial maupun temporal. Oleh karena itu, penting

untuk selalu memperhitungkan tingkat ketidakpastian yang lebih besar ketika menggunakan prediksi musim untuk jangka waktu yang lebih jauh ke depan. Dalam pemanfaatan prediksi musim, BMKG juga melakukan monitoring serta analisis terhadap perkembangan musim secara berkala tiap dasarian. Selain itu, BMKG juga melakukan pemutakhiran terhadap prediksi musim yang telah dirilis ke publik. Pemutakhiran prediksi musim penting untuk mengakomodasi perubahan kondisi dinamika atmosfer-laut yang dapat memengaruhi musim di Indonesia.

Pada setiap rilis prediksi musim, ada lima parameter musim yang selalu diprediksikan, yaitu awal musim, perbandingannya awal musim terhadap normal, sifat musim, puncak musim, durasi musim. Semua prediksi parameter musim ini dimanfaatkan oleh pengguna informasi iklim BMKG sesuai kebutuhan mereka masing-masing.

Referensi

- Aldrian, E., & Susanto, R. D. (2003). Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature. *International Journal of Climatology*, 23(12), 1435–1452. <https://doi.org/10.1002/joc.950>.
- Balsa, C., Rodrigues, C. V., Araújo, L., & Rufino, J. (2022). Cluster-based analogue ensembles for hindcasting with multistations. *Computation*, 10(6), 91. <https://doi.org/10.3390/computation10060091>.
- BMKG. (2021a). *Buku Pemutakhiran zona musim Indonesia periode 1991–2020*. Pusat Informasi Perubahan Iklim.
- BMKG. (2021b). *Buku peta rata-rata curah hujan dan hari hujan periode 1991–2020 Indonesia*. Pusat Informasi Perubahan Iklim.
- BMKG. (2023). *Buku prakiraan musim kemarau 2023*. Pusat Informasi Perubahan Iklim.
- BMKG. (2023). *Pemutakhiran metode prediksi musim 2023*. Pusat Informasi Perubahan Iklim.
- BMKG. (2023). *Pemutakhiran zona musim 2023*. Pusat Informasi Perubahan Iklim.

- Borema, B. (1926). Maps of the mean annual and monthly rainfall in Sumatra. *Verhandelingen, Koninklijk Magnetisch En Meteorologisch Observatorium, Batavia*.
- Charles, A., Duell, R., Wang, X., & Watkins, A. (2015). Seasonal forecasting for Australia using a dynamical model: Improvements in forecast skill over the operational statistical model. *Australian Meteorological and Oceanographic Journal*, 65(3/4), 356–375. <https://doi.org/10.22499/2.6503.005>.
- Diong, J. Y., Abdullah, M. F. A. B., Permana, D., Pura, A., Lam, H., & Xavier, P. (2023). *Regional features of Boreal summer intraseasonal variability and their relationship with rainfall extremes over Southeast Asia* [Preprint]. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3039141/v1>.
- Hamill, T. M., Scheuerer, M., & Bates, G. T. (2015). Analog probabilistic precipitation forecasts using GEFS reforecasts and climatology-calibrated precipitation analyses*. *Monthly Weather Review*, 143(8), 3300–3309. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-15-0004.1>.
- Hamill, T. M., & Whitaker, J. S. (2006). Probabilistic quantitative precipitation forecasts based on reforecast analogs: Theory and application. *Monthly Weather Review*, 134(11), 3209–3229. <https://doi.org/10.1175/MWR3237.1>.
- Horton, P., Obled, C., & Jaboyedoff, M. (2017). The analogue method for precipitation prediction: Finding better analogue situations at a subdaily time step. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(7), 3307–3323. <https://doi.org/10.5194/hess-21-3307-2017>.
- IMD. (t.t.). *Frequently asked Questions (FAQs) on Monsoon*. https://mausam.imd.gov.in/imd_latest/monsoonfaq.pdf
- Johnson, S. J., Stockdale, T. N., Ferranti, L., Balmaseda, M. A., Molteni, F., Magnusson, L., Tietsche, S., Decremier, D., Weisheimer, A., Balsamo, G., Keeley, S. P. E., Mogensen, K., Zuo, H., & Monge-Sanz, B. M. (2019). SEAS5: The new ECMWF seasonal forecast system. *Geoscientific Model Development*, 12(3), 1087–1117. <https://doi.org/10.5194/gmd-12-1087-2019>.
- Lafon, T., Dadson, S., Buys, G., & Prudhomme, C. (2013). Bias correction of daily precipitation simulated by a regional climate model: A comparison of methods: Bias Correction of Daily Precipitation Simulated by a Regional Climate Model. *International Journal of Climatology*, 33(6), 1367–1381. <https://doi.org/10.1002/joc.3518>.

- Latos, B., Lefort, T., Flatau, M. K., Flatau, P. J., Permana, D. S., Baranowski, D. B., Paski, J. A. I., Makmur, E., Sulystyo, E., Peyrillé, P., Feng, Z., Matthews, A. J., & Schmidt, J. M. (2021). Equatorial waves triggering extreme rainfall and floods in Southwest Sulawesi, Indonesia. *Monthly Weather Review*, 149(5), 1381–1401. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-20-0262.1>.
- Mamenun, M., Pawitan, H., & Sopaheluwakan, A. (2014). Validasi dan koreksi data satelit trmm pada tiga pola hujan di Indonesia. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 15(1). <https://doi.org/10.31172/jmg.v15i1.169>.
- Molteni, F., Buizza, R., Palmer, T. N., & Petroliagis, T. (1996). The ECMWF ensemble prediction system: Methodology and validation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 122(529), 73–119. <https://doi.org/10.1002/qj.49712252905>.
- Nuraini, T. A., Nuryanto, D. E., Komalasari, K. E., Satyaningsih, R., Fajariana, Y., Anggraeni, R., & Sopaheluwakan, A. (2019). Pengembangan model HyBMG 2.07 untuk prediksi iklim di Indonesia dengan menggunakan data Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM). *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 20(2), 101. <https://doi.org/10.31172/jmg.v20i2.610>.
- Nury, A. H., Hasan, K., & Alam, M. J. B. (2017). Comparative study of wavelet-ARIMA and wavelet-ANN models for temperature time series data in northeastern Bangladesh. *Journal of King Saud University - Science*, 29(1), 47–61. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2015.12.002>.
- NWS CPC. (2021). *Long-lead forecast tool discussion and analysis*. National Weather Service. https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/predictions/long_range/tools.html
- Permana, D. S. & Supari. (2021). Impacts of the MJO on Rainfall at Different Seasons in Indonesia. Dalam *IOP conference series: Earth and environmental science* (Vol. 893, Artikel 012070). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/893/1/012070>.
- Ratri, D. N., Weerts, A., Muharsyah, R., Whan, K., Tank, A. K., Aldrian, E., & Hariadi, M. H. (2023). Calibration of ECMWF SEAS5 based streamflow forecast in Seasonal hydrological forecasting for Citarum river basin, West Java, Indonesia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 45, 101305. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101305>.

- Ratri, D. N., Whan, K., & Schmeits, M. (2019). A comparative verification of raw and bias-corrected ECMWF seasonal ensemble precipitation reforecasts in Java (Indonesia). *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 58(8), 1709–1723. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-18-0210.1>.
- Saha, S., Moorthi, S., Wu, X., Wang, J., Nadiga, S., Tripp, P., Behringer, D., Hou, Y.-T., Chuang, H., Iredell, M., Ek, M., Meng, J., Yang, R., Mendez, M. P., Van Den Dool, H., Zhang, Q., Wang, W., Chen, M., & Becker, E. (2014). The NCEP Climate Forecast System Version 2. *Journal of Climate*, 27(6), 2185–2208. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00823.1>
- Slingo. (2015). Tropical meteorology and climate | Monsoon: Overview. Dalam *Encyclopedia of Atmospheric Sciences* (Second). Elsevier.
- Supari, Tangang, F., Salimun, E., Aldrian, E., Sopaheluwakan, A., & Juneng, L. (2018). ENSO modulation of seasonal rainfall and extremes in Indonesia. *Climate Dynamics*, 51(7–8), 2559–2580. <https://doi.org/10.1007/s00382-017-4028-8>.
- Solis, A. L. S. (2023). *Seasonal forecast in Philipina*. GOVPH. <https://bagong.pagasa.dost.gov.ph/climate/climate-prediction/seasonal-forecast>
- Thapliyal, V. (1997). Preliminary and final long range forecast for seasonal monsoon rainfall over India. *Journal of Arid Environments*, 36(3), 385–403. <https://doi.org/10.1006/jare.1996.0233>.
- Tjasyono, B. (1999). *Klimatologi umum*. ITB.
- Wati, T., Kusumaningtyas, S. D. A., & Aldrian, E. (2019). Study of season onset based on water requirement assessment. Dalam *IOP conference series: Earth and environmental science* (Vol. 299, Artikel 012042). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/299/1/012042>.
- Winarso, P. A. (2001). *Sistem prakiraan cuaca dan iklim Indonesia*.