

# PENGEMBANGAN SISTEM INFORMASI PRAKIRAAN CUACA BERBASIS DAMPAK MENGGUNAKAN MODEL PRAKIRAAN CUACA NUMERIK UNTUK WILAYAH JAKARTA

Younggy H.M. Hutabarat<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup> Stasiun Meteorologi Raja Haji Abdullah - Karimun

\*Email: yhasandaran@gmail.com

## ABSTRACT

*Impact based forecast is one of the forecasting systems currently being developed by BMKG. The change of paradigm from ordinary weather forecasting systems to impact-based weather forecast is a step to improve the class of BMKG forecasts. The purpose of this study is to determine what weather parameters can be used as a predictor of flood disasters in Jakarta and determine the probability of numerical weather forecast model data for rain that has the potential to flood in Jakarta. This study uses 2015-2019 Jakarta flood events data, GFS models and disaster matrix data. This research begins with the collection of Jakarta flood events in 2015-2019, then performs a composite analysis of weather variables that can be used as a flood disaster predictor, quantifies flood events into impacts (minimal, minor, significant and severe), quantifies weather to likelihood (very low, low, medium and high) and presenting of impact based forecast maps. The results showed that the GFS numerical weather forecast model in Jakarta succeeded in describing the values of rainfall, relative humidity and temperature, CAPE and vertical velocity parameters, but the results were not in accordance with actual reality. The probability of each variable described by the GFS model included as likelihood is as follows, rainfall has a probability of 20-25% which is included as a very low likelihood category (<29%), relative humidity and temperature has a probability of 50-55% which includes as a low likelihood category (30-59%), CAPE has a probability of 43-45%, which is included as a low likelihood category (30-59%) and vertical velocity has a probability of 35-38% where it is included as a low likelihood category (30 -59%). In this study the GFS model successfully illustrates the probability and likelihood of relative humidity and temperature, CAPE and vertical velocity better than rainfall in flood events in the DKI Jakarta area.*

**Keywords:** *impact based forecast, likelihood, weather variable, flood, GFS*

## ABSTRAK

*Impact based forecast* adalah salah satu sistem prakiraan yang sedang dikembangkan BMKG. Perpindahan paradigma dari sistem prakiraan cuaca biasa menjadi prakiraan cuaca berbasis dampak merupakan suatu langkah untuk meningkatkan kelas prakiraan BMKG. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui parameter cuaca apa saja yang dapat dijadikan perkursor kejadian bencana banjir di Jakarta dan mengetahui probabilitas data model prakiraan cuaca numerik terhadap hujan yang berpotensi banjir di Jakarta. Penelitian ini menggunakan data kejadian banjir Jakarta tahun 2015-2019, model GFS dan data matriks bencana. Penelitian ini diawali dengan pengumpulan data kejadian banjir Jakarta tahun 2015-2019, kemudian melakukan analisis komposit variabel cuaca yang dapat dijadikan perkursor bencana banjir, melakukan kuantifikasi kejadian banjir kedalam dampak (*minimal, minor, significant dan severe*), melakukan kuantifikasi cuaca menjadi *likelihood (very low, low, medium dan high)* dan penyajian peta *impact based forecast*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model prakiraan cuaca numerik GFS di wilayah Jakarta, berhasil menggambarkan nilai parameter curah hujan, RH dan suhu, CAPE dan *vertical velocity*, namun hasilnya belum sesuai dengan kenyataan sebenarnya. Probabilitas tiap variabel yang digambarkan oleh model GFS yang dimasukkan sebagai *likelihood* adalah sebagai berikut, curah hujan memiliki probabilitas 20-25% dimana ini termasuk sebagai kategori *likelihood very low (<29%)*, RH dan suhu memiliki probabilitas 50-55% dimana ini termasuk sebagai kategori *likelihood low (30-59%)*, CAPE memiliki probabilitas 43-45%, dimana ini termasuk sebagai kategori *likelihood low (30-59%)* dan *vertical velocity* memiliki probabilitas 35-38% dimana ini termasuk sebagai kategori *likelihood low (30-59%)*. Dalam penelitian ini model GFS berhasil menggambarkan probabilitas dan *likelihood* RH dan suhu, CAPE dan *vertical velocity* lebih baik dari curah hujan pada kejadian banjir di wilayah DKI Jakarta.

**Kata kunci:** *impact based forecast, likelihood, variabel cuaca, banjir, GFS*

## PENDAHULUAN

Indonesia merupakan benua maritim yang terletak di khatulistiwa serta memiliki kondisi atmosfer yang kompleks. Selain itu, keterpaparan Indonesia dengan laut menjadikan suplai uap air sangat melimpah di wilayah ini. Hal ini menjadikan Indonesia memiliki iklim tropis dan memiliki curah hujan yang cukup tinggi. Ketersediaan informasi cuaca selama ini ternyata tidak cukup untuk mengurangi dampak buruk cuaca ekstrem (WMO, 2015). Di Indonesia hal ini diduga karena masyarakat merasa tidak terlalu perlu untuk tahu kondisi cuaca baik saat ini maupun beberapa saat ke depan karena iklim Indonesia yang tropis menjadikan cuaca hanya seputar hujan atau tidak hujan. Berbeda halnya dengan negara-negara subtropis, mereka sangat bergantung dengan informasi cuaca mengingat kondisi cuaca dapat memburuk dalam hitungan menit. Padahal pada kenyataannya, Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) menyatakan bahwa 95% bencana di Indonesia adalah bencana hidrometeorologi.

Setelah dikaji, ketepatan informasi prakiraan dan peringatan dini bencana harus diikuti pengetahuan masyarakat akan apa yang harus dilakukan untuk menanggapi informasi tersebut. Masyarakat harus mengerti bahwa bencana hidrometeorologi memberikan dampak kehidupan mereka dalam berbagai aspek. Salah satu daerah di Indonesia yang paling sering terpapar terjadi bencana hidrometeorologi, seperti banjir adalah Ibukota, DKI Jakarta. Provinsi DKI Jakarta merupakan satu wilayah yang memiliki permasalahan kebencanaan yang kompleks (BPBD, 2013). Dengan luas 661,52 km<sup>2</sup>, 40% atau 24.000 hektar wilayah Jakarta merupakan dataran rendah dengan ketinggian rata-rata di bawah permukaan air laut. DKI Jakarta juga merupakan pertemuan sungai dari bagian Selatan dengan kemiringan dan curah hujan tinggi. Terdapat 13 sungai yang melewati dan bermuara ke teluk Jakarta. Secara alamiah, kondisi ini memposisikan wilayah DKI Jakarta

memiliki kerawanan yang tinggi terhadap bencana banjir.

Berdasarkan data dari BNPB (2019) telah terjadi banjir yang cukup berdampak buruk terhadap masyarakat DKI Jakarta. Tercatat telah terjadi 100 kali kejadian banjir dengan hampir 100.000 korban terdampak di seluruh wilayah DKI Jakarta. Pada periode sebelum tahun tujuh puluhan, penyebab utama adalah faktor alam. Sesudah periode tersebut penyebab banjir menjadi semakin kompleks, bukan hanya faktor alam, tetapi faktor sosial ekonomi dan budaya serta akibat yang ditimbulkannya juga berbeda. Dimensi banjir menjadi lebih besar akibat adanya perkembangan kawasan yang tidak didukung dengan teknologi pengendalian banjir yang memadai. Faktor-faktor kejadian banjir yang terjadi sekarang ini dipengaruhi oleh beberapa faktor yang dapat dikuantifikasi dalam suatu indeks yang merupakan gambaran dari suatu wilayah terhadap hubungannya dengan bencana, diantaranya indeks *Hazard*, *Exposure*, *Vulnerability*, dan *Risk* merupakan indeks-indeks yang menggambarkan keadaan suatu wilayah terhadap bencana (BNPB, 2016).

Oleh karena itu, tingginya resiko bencana di Indonesia, khususnya untuk daerah penelitian di DKI Jakarta, maka muncul lah salah satu hal baru yang sudah mulai berkembang di negara luar dan sekarang sudah mulai dicoba dan dikembangkan juga di negara Indonesia, yaitu *Impact Based Forecast (IBF)*. Sejak tahun 2015, *United Kingdom Meteorological Office (UKMO)* mulai menerapkan suatu sistem penyampaian informasi prakiraan cuaca berbasis dampak yang disebut *Impact Based Forecast (IBF)*. Dalam IBF, informasi cuaca yang diberikan diterjemahkan dengan dampak yang akan ditimbulkan akibat kondisi cuaca tersebut. Untuk keperluan pengurangan dampak bencana, Indonesia menjadi salah satu dari beberapa negara yang akan menerapkan IBF mengingat kebutuhan akan informasi prakiraan berbasis dampak ini semakin penting untuk diketahui dan dikembangkan. Sebagai sesuatu hal yang baru, pergantian pola pikir dalam

penyajian informasi cuaca dengan cara konvensional menjadi IBF ini menjadi tantangan tersendiri untuk instansi pemerintah yang bertanggung jawab, terutama BMKG dan BNPB (BMKG, 2019).

Kondisi Indonesia yang kompleks dari berbagai aspek, mulai dari topografi hingga sosial budaya, menjadikan dampak yang ditimbulkan berbeda pada tiap daerah. Hal ini membutuhkan kajian mendalam, sehingga keterlibatan semua pihak, mulai dari pemerintah, komunitas, akademisi hingga masyarakat sangat dibutuhkan mulai dari kajian kondisi daerah hingga pemanfaatan informasi IBF. IBF sangat bergantung pada pengetahuan yang baik mengenai mitigasi bencana. Hal ini terkait dengan tujuan utama dari IBF, yaitu mengurangi dampak bencana hidrometeorologi.

## KAJIAN PUSTAKA

Beberapa penelitian tentang IBF ini telah dilakukan di luar negeri. Namun untuk di Indonesia sendiri IBF merupakan suatu hal baru yang sedang dimulai oleh BMKG dan juga sedang dalam pengembangan. BMKG sudah mulai melakukan kerja sama dengan WMO, seperti melakukan kegiatan diklat IBF. Boyce dan Farrell (2018) yang melakukan penelitian di wilayah Caribbean membuat sebuah platform yang disebut dengan Caribbean Dewetra Platform (CDP), yang merupakan platform fusi data spatio-temporal yang mampu memadukan data bahaya, sosial ekonomi dan informasi kerentanan yang terus berkembang untuk mendukung pengambilan keputusan yang lebih baik dalam komunitas manajemen bencana.

Boyce dan Farrell (2018) menyatakan informasi spesifik suatu negara seperti model elevasi digital, model kemiringan, luasan daerah aliran sungai, peta bahaya, demografi populasi dan kritis infrastruktur dapat digabungkan dengan data bahaya untuk mengidentifikasi aset yang berpotensi terbuka dengan cepat dan mendukung peramalan berbasis dampak. Boyce dan Farrell (2018) juga menambahkan bahwa *Caribbean Dewetra*

*Platform* (CDP) dapat memberikan info data meteorologi dan bencana secara online, manajemen bencana, alat kolaboratif yang mendukung prakiraan berbasis dampak, peringatan dini multi-hazard dan pengambilan keputusan yang lebih baik. Contoh penggunaan data yang digunakan pada saat terjadi bencana *Hurricane Maria*, ditampilkan data-data seperti data akumulasi curah hujan dari WRF, data prediksi ketinggian gelombang, data akumulasi curah hujan dari satelit, dan tampilan reflectivity data radar. Kesimpulan dari penelitian Boyce dan Farrell (2018) adalah untuk mengurangi kerugian dari suatu bencana secara signifikan, ekonomi regional harus mendukung secara penuh ketahanan cuaca dan iklim melalui tindakan yang meningkatkan adaptasi termasuk prakiraan berbasis dampak yang ditargetkan, penyebaran awal informasi yang akurat dan mudah dimengerti dan pengiriman data layanan yang dapat dengan mudah diintegrasikan ke dalam proses pengambilan keputusan yang nanti akan menjadi sangat penting dan krusial.

Penelitian berikutnya yang juga melakukan riset mengenai IBF adalah tentang efek peringatan berbasis dampak dan rekomendasi perilaku untuk cuaca ekstrem. Kegiatan penelitian yang dilakukan di negara Switzerland ini merupakan suatu penelitian yang dilakukan berdasarkan survei dan tanggapan oleh masyarakat terhadap bencana dan pengetahuannya terhadap berbagai *warning* dari bencana yang sudah ada. Menurut Weyrich dkk. (2018), terdapat empat tipe dari peringatan, yaitu *standard warning* (SW), *impact-based warning* (IBW), *standard warning plus behavioral recommendations* (SW+BR) dan *impact-based warning plus behavioral recommendations* (IBW+BR). Kesimpulan yang diberikan oleh Weyrich dkk. (2018), pada penelitian yang dilakukan di Switzerland ini adalah untuk menyebarluaskan dua jenis peringatan, IBW dan SW, kepada masyarakat untuk peristiwa nyata dan mengambil respons peringatan. Karena informasi tambahan dalam peringatan memengaruhi bagaimana informasi peringatan

itu dipersepsikan maka pemahaman masyarakat terhadap peringatan yang diberikan sangat penting. Weyrich dkk (2018) juga menjelaskan bahwa hubungan antara persepsi dan tindakan meminimalkan risiko itu sangat penting.

Penelitian selanjutnya yaitu yang dilakukan oleh Weingartner dkk. (2019), di wilayah Kenya dengan tujuan mengurangi dampak banjir melalui tindakan berbasis prakiraan. Menurut Weingartner dkk. (2019), mirip dengan penilaian risiko banjir, peramalan berbasis dampak memerlukan informasi tentang bahaya, kerentanan, dan paparan yang relevan. Ini juga termasuk data hidrometeorologi, serta dampak yang terekam dari kejadian sebelumnya. Penelitian Weingartner dkk. (2019), membahas tentang tren data saat ini dan tren data di masa depan Kenya. Weingartner dkk. (2019), menekankan bahwa sistem manajemen data risiko banjir yang berskala besar dan terpilah akan membuat peramalan berbasis dampak menjadi lebih efektif.

Budimir dkk. (2019), melakukan penelitian tentang pentingnya mengkomunikasikan prakiraan kompleks untuk peningkatan peringatan dini di Nepal. Yang dilakukan adalah melakukan komunikasi dengan stakeholder nasional. Dimana stakeholder nasional menginginkan prakiraan dikategorikan oleh dampak menggunakan prakiraan probabilistik dan prakiraan deterministik. Budimir dkk. (2019), juga menjelaskan bahwa pentingnya untuk mengkomunikasikan ketidakpastian prakiraan kepada publik. Karena hal ini merupakan hal yang penting dan krusial sehingga setiap lapisan masyarakat memiliki persepsi yang sama. Secara umum penelitian yang dilakukan Budimir dkk. (2019), adalah menjelaskan betapa pentingnya menjalin hubungan komunikasi yang baik terhadap stakeholder yang memiliki tanggungjawab terhadap kebencanaan.

Penelitian terakhir yang melakukan penelitian tentang IBF dilakukan di daerah Bangladesh. Sai dkk. (2018), melakukan penelitian di Bangladesh yang merupakan

daerah langganan banjir. Metode yang digunakan oleh Sai dkk. (2018), ada empat metode yaitu pertama, melakukan pengelompokan dari berbagai stakeholder yang memiliki kepentingan. Kedua, dari peristiwa masa lalu, skenario dampak banjir ditentukan untuk menyelidiki konsekuensi banjir dan puncak banjir. Kemudian, ambang batas skenario dampak juga dapat ditentukan dan tindakan mitigasi dampak untuk kelompok-kelompok yang terpapar banjir diidentifikasi untuk setiap skenario. Ketiga, menggunakan kode warna dikaitkan dengan setiap skenario dampak, sehingga menciptakan peta berbasis dampak dan kode warna. Peringatan kode warna kemudian dikembangkan: sementara pesan peringatan dapat membahas informasi utama (yaitu lokasi, waktu, ketinggian air yang diharapkan, dll.), Kode warna yang berkorelasi bertindak sebagai tautan visual ke informasi panduan lokal seperti peta, dampak yang diharapkan dan yang disarankan tindakan mitigasi risiko untuk menghadapi konsekuensi yang diharapkan. Keempat, pertemuan dengan otoritas utama yang terlibat dalam layanan sistem peringatan dini di tingkat nasional dan lokal dilakukan untuk membahas persyaratan untuk menjadikan *impact-based forecast warning* sebagai layanan operasional di Bangladesh.

Sai dkk. (2018), menyimpulkan layanan *impact-based forecast warning* membutuhkan peramalan khusus dan peringatan yang dikeluarkan dengan cara yang dapat dipahami dan dapat memicu tindakan mitigasi risiko dengan memberi tahu pengguna akhir tentang dampak yang diharapkan.

## Hujan

Hujan adalah presipitasi tetes-tetes air yang jatuh dari awan (presipitasi dari awan konvektif mempunyai diameter lebih dari 0.5 mm). Presipitasi adalah bentuk umum untuk menyebut tetes air atau partikel es yang terbentuk pada lapisan yang lebih tinggi dan jatuh ke permukaan tanah. Presipitasi yang terdiri dari tetes air yang sangat halus (diameter

kurang dari 0.5 mm) dan sangat dekat satu sama lain disebut drizzle (Zakir dkk., 2010).

Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika BMKG (2010) membagi kriteria hujan menjadi 4 kategori, yaitu:

1. Hujan ringan dengan intensitas 5-20 mm/hari
2. Hujan sedang dengan intensitas 20.1-50 mm/hari
3. Hujan lebat dengan intensitas 50.1-100 mm/hari
4. Hujan sangat lebat dengan intensitas > 100 mm/hari

### Kelembapan relatif dan suhu

Kelembapan relatif yang tinggi, sekitar 70% atau lebih memiliki asosiasi terhadap hujan lebat konvektif. Funk (2003) menjelaskan bahwa kelembapan relatif antara permukaan hingga lapisan 500 mb yang tinggi adalah lebih baik daripada udara yang kering untuk pembentukan presipitasi.

Cimino dan Moore (1975) menemukan korelasi yang tinggi antara kelembapan relatif 800-500 mb dengan curah hujan, sehingga menjadikan kelembapan relatif sebagai variabel prediktor keberadaan uap air. Namun seiring perkembangan di dunia meteorologi, saat ini kelembapan relatif dapat diamati nilainya dengan berbagai model yang kini sudah tersedia banyak. Sehingga dapat dilakukan prediksi dengan menggunakan model untuk memprediksi nilai kelembapan relatif.

### CAPE (*Convective Available Potential Energy*)

*Convective Available Potential Energy* atau biasa disebut juga Energi Potensial Tersedia adalah energi yang dimiliki oleh parcel udara pada suatu lapisan setelah parcel udara terangkat ke atas sampai pada lapisan tersebut. CAPE cukup baik untuk menandai potensi lapisan atmosfer.

Sareng (2016), CAPE adalah area dimana suhu parcel udara lebih panas daripada lingkungannya. Area tersebut menunjukkan jumlah energi yang tersedia untuk parcel udara bergerak naik ke atas. CAPE dinyatakan dalam

satuan Joule/Kilogram (J/Kg). Semakin besar perbedaan suhu antar parcel yang hangat dengan lingkungan yang lebih dingin, semakin besar nilai CAPE dan pergerakan ke atas untuk menghasilkan konveksi yang kuat. Secara umum CAPE dikategorikan didalam tabel berikut,

Tabel 1. Kriteria nilai CAPE (sumber : <http://weather.mailasail.com/Franks-Weather/Cape>)

Nilai CAPE (J/Kg)	Kategori
0	Stabil
0 – 1000	Konvektifitas lemah, tidak stabil
1000 – 2500	Konvektifitas sedang, tidak stabil
2500 – 3500	Konvektifitas kuat, labil
> 3500	Konvektifitas sangat kuat, sangat labil

### *Vertical velocity*

Stabilitas atmosfer memungkinkan untuk mengetahui kecenderungan gerakan vertikal (*vertical velocity*) dari suatu massa udara di atmosfer. Perbedaan-perbedaan yang kecil dalam gerakan vertikal tersebut penting untuk menerangkan atau meramalkan pembentukan awan-awan konvektif, hujan ataupun wilayah daerah tekanan rendah (Pawitan, 1989). Udara yang tidak stabil memungkinkan terbentuknya awan khususnya awan yang mempunyai ukuran vertikal yang menjulang tinggi dan yang biasanya menimbulkan cuaca buruk. Sebaliknya dengan cuaca cerah, tanpa awan adalah sebagai akibat udara yang stabil (Prawirowardoyo, 1996).

Ketika gerak vertikal dinyatakan dalam satuan Pascal persekon (Pa/s) maka nilai negatif berarti udara pada kolom vertikal bergerak ke atas. Sedangkan wilayah dengan nilai gerak vertikal positif udaranya cenderung bergerak turun. Nilai gerak vertikal negatif atau kecepatan vertikal ke atas akan mempercepat terjadinya proses kondensasi dan proses presipitasi.

### **Karakteristik cuaca Jakarta**

Puncak curah hujan di Pulau Jawa yang merupakan wilayah dengan curah hujan tipe monsoonal pada umumnya terjadi pada DJF. Karena Jakarta berada di wilayah Pulau Jawa, maka Jakarta termasuk wilayah dengan curah hujan tipe monsoonal (Nuryanto, 2013). Penelitian Gernowo (2009) membahas tentang efek monsoon pada kejadian banjir tahun 2002 dan 2007 di Jakarta. Menurutnya pada periode monsoon aktif terjadi dinamika awan di atas Jakarta, yaitu sekitar bulan Desember, Januari, dan Februari. Pada penelitian berikutnya Gernowo dan Yulianto (2010) menyimpulkan ada tiga faktor dominan yang menyebabkan banjir di Jakarta pada tahun 2002 dan 2007, yaitu kehadiran vortex, fase aktif osilasi gelombang Madden Julian Oscillation (MJO) dan kondisi lokal (adanya konvergensi yang menyebabkan pertumbuhan awan konvektif).

Kejadian monsoon di Indonesia didominasi oleh awan-awan konvektif dan hujan-hujan konveksi. Di sisi lain monsoon juga dapat diperkuat oleh angin-angin lokal untuk menghasilkan hujan yang berlimpah. Awan-awan konvektif tersebut dapat menghasilkan hujan lebat, bahkan *hailstone* (batu es) dan kilat. Sedangkan sebagian besar curah hujan konveksi terjadi setelah insolasi maksimum (jam 12.00 waktu lokal). Curah hujan konveksi dapat terjadi waktu pagi hari karena pengaruh wilayah maritim.

### **Penyampaian informasi prakiraan cuaca**

Informasi peringatan cuaca dikeluarkan ketika threshold suatu parameter cuaca sudah tercapai sehingga dapat dinyatakan sebagai cuaca signifikan. Dampak yang akan timbul juga disampaikan berikut informasi keadaan cuaca signifikannya. Tipikal informasi prakiraan cuaca signifikan dengan cara konvensional adalah menyampaikan keadaan cuaca disertai potensi keadaan cuaca, serta peringatan bahaya yang dapat timbul. Ciri lain dari informasi prakiraan cuaca konvensional adalah pembuatan prakiraan yang dilakukan secara rutin dan berkala, baik saat kondisi cuaca sedang baik maupun buruk. Sebagai contoh,

untuk wilayah DKI Jakarta pembuatan informasi prakiraan cuaca yang dilakukan saat ini adalah per tiga jam untuk tiga hari ke depan.

### **Penyampaian informasi IBF**

Berbeda dengan peringatan cuaca, informasi utama yang disampaikan dalam IBF adalah dampak dan respon yang harus dilakukan akibat cuaca signifikan. Dampak dan respon disampaikan berdasarkan urgensi dan nomor pada matriks dampak dan respon yang telah disusun. Cara penyampaian informasinya adalah menyebutkan keadaan cuaca, dampak yang akan timbul, serta respon yang perlu dilakukan. Selain itu, IBF lebih menuntut informasi yang tepat sasaran secara waktu, artinya pembuatan informasi tidak terpaku pada jadwal rutin, namun disesuaikan dengan signifikansi keadaan cuaca.

### **Peran berbagai pihak dalam IBF**

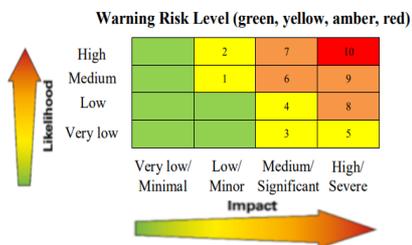
Di Indonesia, lembaga yang bertanggung jawab dalam membuat prakiraan dan menyebar informasi cuaca resmi adalah BMKG. Sedangkan lembaga yang bertanggung jawab terhadap kebencanaan adalah BNPB. Ketersediaan data dan informasi keadaan daerah-daerah di Indonesia berada dalam lingkup BNPB. Selain itu, wewenang untuk memberikan arahan kepada pemerintah dan masyarakat dalam merespon suatu bahaya bencana alam ada pada BNPB. Hal tersebut menunjukkan bahwa penggerak sistem IBF adalah BMKG dan BNPB. Kedua instansi ini akan bekerjasama untuk menyebarkan informasi dan mengarahkan masyarakat dalam menghadapi bencana agar kerugian berupa nyawa dan harta benda dapat berkurang. Keberhasilan berjalannya IBF akan tercapai jika semua pihak terlibat.

### **Penyusunan matriks dampak dan respon**

Matriks dampak dan respon merupakan suatu matriks yang mengintegrasikan antara prakiraan cuaca yang diberikan oleh BMKG dan tindakan yang diharapkan dilakukan oleh pemerintah (BNPB/BPBD) dan masyarakat. Oleh karena itu, pada awal tahun 2018, BMKG

menyelenggarakan suatu kegiatan diskusi untuk mengkaji penyusunan matriks dampak dan respon bersama dengan BNPB, BPBD, ESDM, dan Tagana, dengan tujuan bahwa matriks yang dihasilkan tepat sasaran dan sesuai dengan yang terjadi di lapangan.

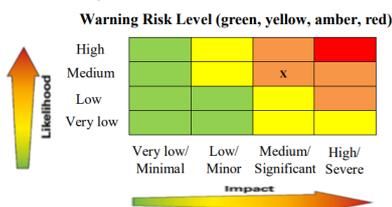
Merujuk pada (WMO, 2015), terdapat sepuluh tingkat peringatan, ini merupakan hasil kolaborasi antara empat kategori dampak (*minimal, minor, significant, dan severe*) dan empat level *likelihood*/keyakinan prakirawan (*very low, low, medium, dan high*) sebagaimana terlihat pada gambar 1. Pada gambar 1 tampak enam kotak berwarna hijau, lima berwarna kuning, empat berwarna jingga, dan satu berwarna merah. Pada gambar tersebut, warna hijau menunjukkan “tidak ada peringatan”, kuning merupakan tingkatan WASPADA, jingga merupakan tingkatan SIAGA, dan merah merupakan tingkatan AWAS. Pemberian nomor tingkatan 1 – 10 pada tabel tersebut dilakukan dengan mempertimbangkan kategori *impact* dan *likelihood*, dimana semakin ke kanan *impact* dan semakin naik *likelihood*, nomor tingkatan juga semakin besar.



Gambar 1. Risk Matrix (WMO, 2015)

### Penggunaan Risk Matrix Dalam Pembuatan Warning

Level warning menggunakan *risk matrix* disusun berdasarkan peluang kejadian (*likelihood*) dan potensi dampak yang ditimbulkan (*impact*). Contoh penyampaian *level warning* pada matriks tersebut umumnya sebagai berikut,



Gambar 2. Contoh Level Warning Warna Orange (Level 6) (BMKG, 2019)

Ketika *warning* hujan lebat yang dikeluarkan berwarna oranye (tanda x) maka suatu fenomena akan memiliki dampak signifikan. Potensi kemungkinan terjadinya fenomena tersebut berada dalam kategori medium (60- 80%). Masyarakat diberikan saran untuk tindakan yang harus dilakukan mengacu pada kategori 6. Begitu pula untuk sektor kebencanaan harus merespon pada kategori 6.

## METODE

### Data

Penelitian ini menggunakan beberapa data yang terdiri dari data banjir yang merupakan data dari masa lampau, data GFS untuk melihat unsur-unsur yang berpengaruh di atmosfer berdasarkan prakiraan dan data matriks bencana dari BNPB.

Data tersebut adalah sebagai berikut :

- Data model prakiraan GFS

Data model ini adalah salah satu data yang digunakan untuk penelitian ini. Data GFS dengan resolusi 0,25 x 0,25 diambil satu hari kedepan dan tiga hari kedepan berdasarkan kejadian banjir yang sudah didapatkan. Pengambilan satu hari dan tiga hari tersebut untuk semua kejadian. Data diunduh dari situs <https://rda.ucar.edu/datasets/ds084.1/>

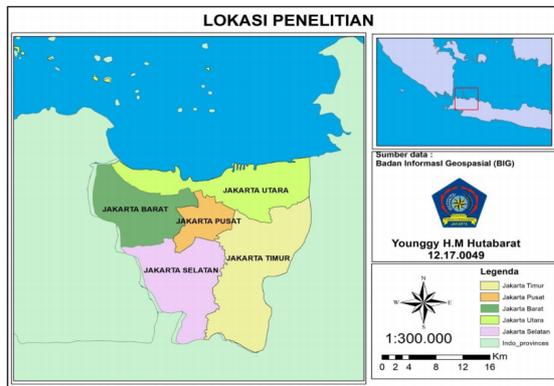
- Data Kejadian Banjir 2015-2019

Data kejadian banjir yang menjadi dasar data yang akan diolah diambil selama lima tahun terakhir dan berdasarkan ketersediaan data di GFS yang mulai ada datanya tahun 2015 sampai 2019. Data kejadian banjir diperoleh dari BNPB.

- Data Matriks Bencana

Data matriks bencana digunakan sebagai data untuk melihat kerentanan suatu wilayah terhadap bencana di daerah tersebut, khususnya untuk penelitian ini wilayah DKI Jakarta. Data matriks bencana ini diperoleh dari BNPB.

Penelitian ini berada di wilayah Jakarta yang merupakan daerah tropis yang berada pada area koordinat  $5^{\circ} 19' 12''$  LS -  $6^{\circ} 23' 54''$  LS dan  $106^{\circ} 22' 42''$  BT -  $106^{\circ} 58' 18''$  BT.



Gambar 3. Peta Lokasi Penelitian

### Pengolahan Data

Teknik pengolahan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut,

- a) Pengumpulan data bencana banjir di wilayah DKI Jakarta dari tahun 2015 – 2019

Data kejadian bencana banjir yang terekam di BNPB Jakarta merupakan data yang akan digunakan sebagai dasar suatu peristiwa bencana untuk dijelaskan dampaknya. Data diambil selama kurang lebih 5 tahun dengan jumlah data sebanyak 30 kejadian untuk melihat seberapa konsistennya unsur – unsur atmosfer yang mempengaruhi terjadinya bencana banjir tersebut. Pada kejadian bencana banjir ini faktor penyebab utama banjir adalah adanya intensitas curah hujan yang tinggi.

- b) Analisis komposit parameter cuaca dari GFS yang dapat dijadikan perkursor bencana banjir

Melakukan penentuan unsur-unsur cuaca yang diperoleh dari data model prakiraan GFS dengan melihat unsur-unsur cuaca yang dilakukan dengan cara melakukan pemilihan data sesuai dengan lokasi penelitian, yaitu wilayah Jakarta menggunakan CDO

(Climate Data Operator). Kemudian data yang sudah sesuai berdasarkan lokasi penelitian ditampilkan menggunakan *panoply* lalu variabel dinamis seperti curah hujan, suhu, kelembapan, *cape* (*convective available potential energy*) dan *vertical velocity* yang ada di dalam data diekspor kedalam format .csv untuk kemudian dicari nilainya. Data dilihat berdasarkan prakiraan satu hari dan tiga hari. Pengambilan satu hari dan tiga hari sebelum ini dilakukan untuk melihat keadaan kekonsistenan data, dimana kekonsistenan data ini nanti akan dibuat sebagai bahan sebagai perkursor untuk kejadian banjir.

- c) Melakukan kuantifikasi kejadian banjir DKI Jakarta tahun 2015 – 2019 ke dalam dampak

Melakukan pengelompokan kejadian banjir yang terjadi dari tahun 2015- 2019 ke dalam empat jenis dampak yaitu : *minimal*, *minor*, *significant* dan *severe*.

- d) Melakukan kuantifikasi cuaca menjadi *likelihood*

Secara umum untuk unsur-unsur meteorologi yang sudah didapatkan dari data model GFS, selanjutnya akan dilakukan pengelompokan kedalam *likelihood*. Dimana akan dibuat *likelihood* yang berisikan unsur-unsur meteorologi selain hujan sebagai bahan referensi lain, mengingat hujan merupakan salah satu unsur yang paling sulit diprediksi oleh NWP. Unsur-unsur seperti suhu, kelembapan, *cape* (*convective available potential energy*) dan *vertical velocity* yang akan dilihat kesesuaiannya jika dibuat ke dalam bentuk *likelihood*.

- e) Pembuatan Peta Impact Based Forecast

Untuk yang selanjutnya mulai dari langkah pertama sampai dengan yang keempat akan dibuat ke dalam sebuah tampilan peta IBF. Tujuannya

adalah untuk merepresentasikan bagaimana prakiraan cuaca berbasis dampak berdasarkan data kejadian banjir yang sudah ada mulai dari tahun 2015-2019 di Jakarta. Peta IBF sendiri sudah dibuat BMKG yang dapat dilihat melalui *BMKG Signature*, yang akan membedakan apa yang akan ditampilkan di penelitian ini dengan apa yang sudah dibuat oleh BMKG adalah, didalam penelitian ini akan mencoba untuk menambahkan unsur-unsur meteorologi ke dalam *likelihood* yang lain selain hujan yang akan digunakan sebagai prekursor kejadian banjir. Diharapkan akan ada unsur lain yang dapat merepresentasikan hujan dalam bentuk *likelihood*. Dengan demikian BMKG akan memiliki prekursor lain yang dapat dipertimbangkan selain hanya prekursor hujan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

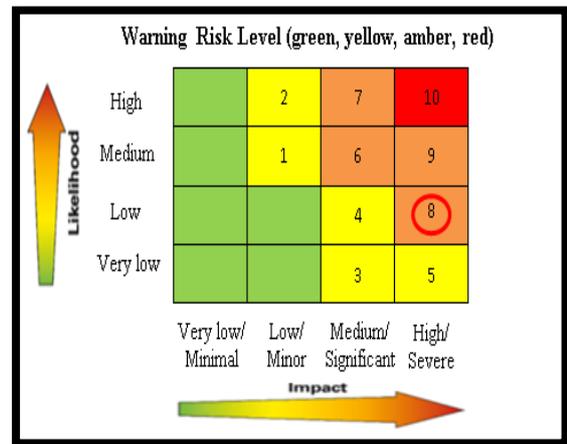
Berdasarkan hasil data curah hujan, cape, rh dan suhu dan *vertical velocity* yang sudah diekstrak dari GFS dan dikelompokkan berdasarkan *forecast* 1 hari kedepan dan 3 hari kedepan maka dapat diperoleh kaitannya dengan *likelihood* sebagai berikut :

### Hubungan Cape dengan matriks dampak dan respon

Tabel 1. Variabel CAPE terpilih H-1 dan H-3 dari model GFS

H-1				H-3			
No	Kejadian Banjir	Daerah Hujan	Cape (J/Kg)	No	Kejadian Banjir	Daerah Hujan	Cape (J/Kg)
1	23-Mar-15	Jaktim	1032	1	23-Mar-15	Jaktim	975
2	27-Feb-16	Jakbar	830	2	27-Feb-16	Jakbar	938
3	5-Mar-16	Jaktim	1009	3	5-Mar-16	Jaktim	1268
4	8-Mar-16	Jaktim	1382	4	8-Mar-16	Jaktim	1068
		Jaksel	1198			Jaksel	859
5	11-Mar-16	Jaksel	901	5	15-Mar-16	Jaktim	1196
6	15-Mar-16	Jaktim	1090	6	18-Mar-16	Jaktim	1041
7	18-Mar-16	Jaktim	1243	7	2-Apr-16	Jaktim	908
8	2-Apr-16	Jaktim	787	8	2-Apr-16	Jaksel	1008
9	25-May-16	Jaktim	867	9	11-Oct-16	Jaktim	1031
10	27-Aug-16	Jaksel	811	10	9-Nov-16	Jaksel	772
11	20-Feb-17	Jaktim	1088	11	20-Feb-17	Jaktim	944
12	9-Mar-17	Jaktim	1526	12	21-Feb-17	Jaktim	970
13	17-Mar-17	Jaksel	885	13	9-Mar-17	Jaktim	923
14	29-Oct-18	Jaktim	887	14	17-Mar-17	Jaksel	830
15	11-Nov-18	Jaktim	957	15	29-Oct-18	Jaktim	756
16	12-Nov-18	Jaktim	879	16	11-Nov-18	Jaktim	774
				17	12-Nov-18	Jaktim	795

Data cape yang terpilih yang ditunjukkan oleh tabel diatas akan dimasukkan kedalam *likelihood*, untuk melihat posisinya model GFS ini didalam *likelihood* yang mana akan dihubungkan kesesuaiannya didalam tabel *risk matrix*.



Gambar 4. Hubungan *likelihood* CAPE dengan matriks dampak dan respon

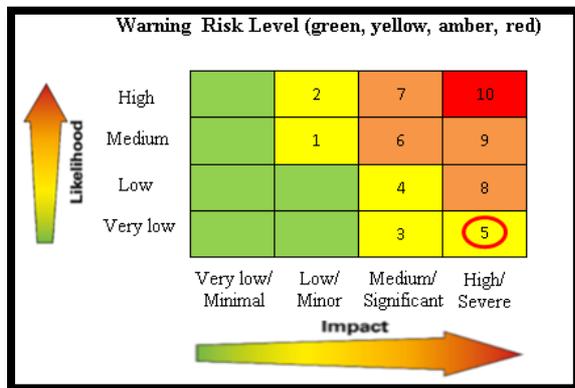
Berdasarkan tabel 1 menunjukkan bahwa kemampuan model GFS dalam merepresentasikan hujan lebat dengan *likelihood* cape mampu berada di kisaran 43-45%, dimana kondisi ini berada pada kategori *likelihood* low (30-59%). Dengan demikian menurut model GFS, maka *warning* yang dikeluarkan ditunjukkan oleh lingkaran merah dimana hujan lebat akan menimbulkan dampak *severe*, tetapi probabilitas kejadian hujan *low* (30-59%). Sebagai informasi untuk masyarakat diberikan saran tindakan mengacu pada kategori 8.

### Hubungan variabel hujan dengan matriks dampak dan respon

Tabel 2. Variabel hujan terpilih H-1 dan H-3 dari model GFS

H-1				H-3			
No	Kejadian Banjir	Daerah Hujan	Hujan (mm)	No	Kejadian Banjir	Daerah Hujan	Hujan (mm)
1	9-Feb-15	Jakbar	113.8	1	23-Jan-15	Jakut	80.6
		Jakpus	229.9			Jakbar	61.4
		Jaksel	68.8	2	9-Feb-15	Jakpus	133
2	27-Feb-16	Jakbar	50.4			Jaktim	95.5
3	2-Mar-16	Jakut	132.2	3	12-Feb-16	Jaktim	76.4
4	11-Mar-16	Jaksel	93.2	4	2-Mar-16	Jakut	81.9
5	15-Mar-16	Jaktim	52.8	5	11-Mar-16	Jaksel	76.5
6	2-Apr-16	Jaksel	71.3	6	11-Oct-16	Jaktim	57
7	17-Mar-17	Jaksel	57.4			Jaksel	
8	6-Feb-18	Jaktim	62.1	7	9-Nov-16	Jaksel	

Data hujan yang terpilih yang ditunjukkan oleh tabel diatas akan dimasukkan kedalam *likelihood*, untuk melihat posisinya model GFS ini didalam *likelihood* yang mana akan dihubungkan kesesuaiannya didalam tabel *risk matrix*.



Gambar 5. Hubungan *likelihood* variabel hujan dengan matriks dampak dan respon

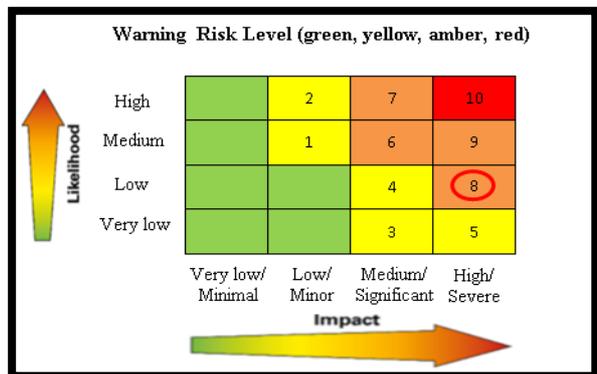
Berdasarkan tabel 2 menunjukkan bahwa kemampuan model GFS didalam merepresentasikan hujan lebat mampu berada di kisaran 20-25%, dimana kondisi ini berada pada kategori *likelihood very low* (<29%). Dengan demikian menurut model GFS, maka *warning* yang dikeluarkan ditunjukkan oleh lingkaran merah dimana hujan lebat akan menimbulkan dampak *severe*, tetapi probabilitas kejadian hujan *very low* (<29%). Sebagai informasi untuk masyarakat diberikan saran tindakan mengacu pada kategori 5.

### Hubungan variabel rh dan suhu dengan matriks dampak dan respon

Data rh dan suhu yang terpilih yang ditunjukkan oleh tabel dibawah akan dimasukkan kedalam *likelihood*, untuk melihat posisinya model GFS ini didalam *likelihood* yang mana akan dihubungkan kesesuaiannya didalam tabel *risk matrix*.

Tabel 3. Variabel rh dan suhu terpilih H-1 dan H-3 dari model GFS

H-1					H-3								
No	Kejadian Banjir	Daerah Hujan	RH (%)			Suhu (°C)	No	Kejadian Banjir	Daerah Hujan	RH (%)			Suhu (°C)
			850 Mb	700 Mb	500 Mb					850 Mb	700 Mb	500 Mb	
1	23-Jan-15	Jakbar	80	86	89	30.5	1	23-Jan-15	Jakbar	82	90	97	29.1
		Jaktim	80	87	91	29.5			Jaktim	84	91	97	27.7
		Jakut	80	87	90	29.3			Jakut	83	91	97	28.2
2	9-Feb-15	Jakbar	83	96	96	29.9	2	9-Feb-15	Jakbar	88	96	91	29.1
		Jakpus	94	96	96	29.3			Jakpus	89	96	91	28.6
		Jaksel	94	92	92	28.8			Jaksel	86	89	82	27.9
3	12-Feb-16	Jaktim	84	93	91	28.9	3	23-Mar-15	Jaktim	84	85	85	30.4
4	27-Feb-16	Jakbar	84	86	87	30.5	4	12-Feb-16	Jaktim	91	96	98	26.8
5	2-Mar-16	Jakut	86	85	95	30.1	5	2-Mar-16	Jakut	84	83	91	29.5
6	11-Mar-16	Jaksel	86	84	89	31.2	6	15-Mar-16	Jaktim	79	80	96	29.9
7	18-Mar-16	Jaktim	82	80	87	31.0	7	18-Mar-16	Jaktim	83	79	90	30.4
8	2-Apr-16	Jaktim	83	87	84	30.9	8	11-Oct-16	Jaktim	87	86	94	30.3
		Jaksel	85	83	89	30.6	9	9-Nov-16	Jaksel	87	84	89	30.0
9	22-Apr-16	Jaktim	81	95	88	30.9	10	21-Feb-17	Jaktim	83	81	85	29.5
10	22-Jul-16	Jaksel	80	92	85	30.8	11	9-Mar-17	Jaktim	81	82	88	29.2
11	9-Nov-16	Jaksel	80	80	82	27.1	12	5-Feb-18	Jaktim	87	86	90	30.2
12	21-Feb-17	Jaktim	83	85	82	28.9	13	6-Feb-18	Jaktim	86	84	89	30.1
13	17-Mar-17	Jaksel	81	82	80	29.0	14	5-Feb-18	Jaktim	81	80	96	29.9
14	5-Feb-18	Jaktim	86	86	87	29.8	15	11-Nov-18	Jaktim	85	84	91	31.9
15	6-Feb-18	Jaktim	85	77	93	28.4	16	11-Nov-18	Jaktim	86	85	88	32.8
16	11-Nov-18	Jaktim	87	88	83	32.1							



Gambar 6. Hubungan *likelihood* variabel rh dan suhu dengan matriks dampak dan respon

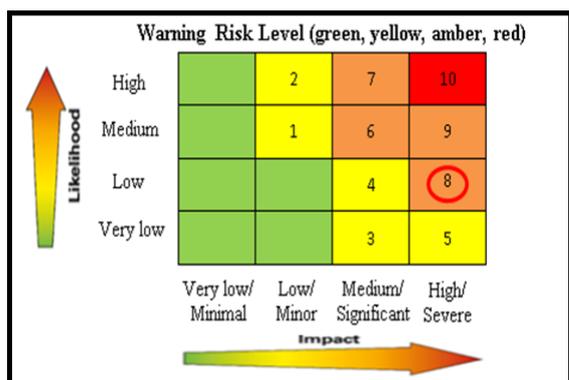
Berdasarkan tabel 3 menunjukkan bahwa kemampuan model GFS dalam merepresentasikan hujan lebat dengan *likelihood* rh dan suhu mampu berada di kisaran 43-45%, dimana kondisi ini berada pada kategori *likelihood low* (30-59%). Dengan demikian menurut model GFS, maka *warning* yang dikeluarkan ditunjukkan oleh lingkaran merah dimana hujan lebat akan menimbulkan dampak *severe*, tetapi probabilitas kejadian hujan *low* (30-59%). Sebagai informasi untuk masyarakat diberikan saran tindakan mengacu pada kategori 8.

## Hubungan variabel *vertical velocity* dengan matriks dampak dan respon

Tabel 4. Variabel *vertical velocity* terpilih H-1 dan H-3 dari model GFS

H-1					H-3						
No	Kejadian Banjir	Daerah Hujan	Vertical Velocity (Pa/s)			No	Kejadian Banjir	Daerah Hujan	Vertical Velocity (Pa/s)		
			850 Mb	700 Mb	500 Mb				850 Mb	700 Mb	500 Mb
1	9-Feb-15	Jakbar	-0.6	-0.6	-0.6	1	23-Jan-15	Jakbar	0.0	-0.1	-0.1
		Jakpus	-0.7	-0.7	-0.7			Jaktim	-0.1	-0.2	-0.2
		Jakeel	-0.8	-0.8	-0.8			Jakut	-0.1	-0.2	-0.2
2	12-Feb-16	Jaktim	0.0	0.1	0.1	2	9-Feb-15	Jakbar	-0.2	0.3	0.2
		Jakut	0.6	0.3	0.3			Jakpus	-0.3	-0.5	-0.3
3	2-Mar-16	Jakut	0.6	0.3	0.3	3	23-Mar-15	Jaktim	-0.1	-0.2	-0.1
4	11-Mar-16	Jakeel	0.2	0.2	0.4	4	12-Feb-16	Jaktim	0.1	0.1	0.2
5	15-Mar-16	Jaktim	-0.2	-0.2	-0.1	5	2-Mar-16	Jakut	-0.3	-0.1	-0.2
6	2-Apr-16	Jakeel	-0.1	-0.1	0.1	6	15-Mar-16	Jaktim	0.0	-0.1	-0.1
7	25-May-16	Jaktim	-0.1	-0.1	-0.1	7	2-Apr-16	Jaktim	-0.1	-0.3	-0.2
8	11-Oct-16	Jaktim	0.2	0.2	0.2	8	25-May-16	Jaktim	0.0	0.1	0.1
9	21-Feb-17	Jaktim	0.1	0.1	0.1	9	11-Oct-16	Jaktim	-0.2	-0.2	-0.2
10	5-Feb-18	Jaktim	0.2	0.2	-0.2	10	21-Feb-17	Jaktim	-0.1	0.1	0.1
11	11-Nov-18	Jaktim	-0.2	-0.3	-0.1	11	5-Feb-18	Jaktim	-0.1	-0.1	-0.1
12	12-Nov-18	Jaktim	-0.1	-0.1	-0.1	12					

Data *vertical velocity* yang terpilih yang ditunjukkan oleh tabel diatas akan dimasukkan kedalam *likelihood*, untuk melihat posisinya model GFS ini didalam *likelihood* yang mana akan dihubungkan kesesuaiannya didalam tabel *risk matrix*.

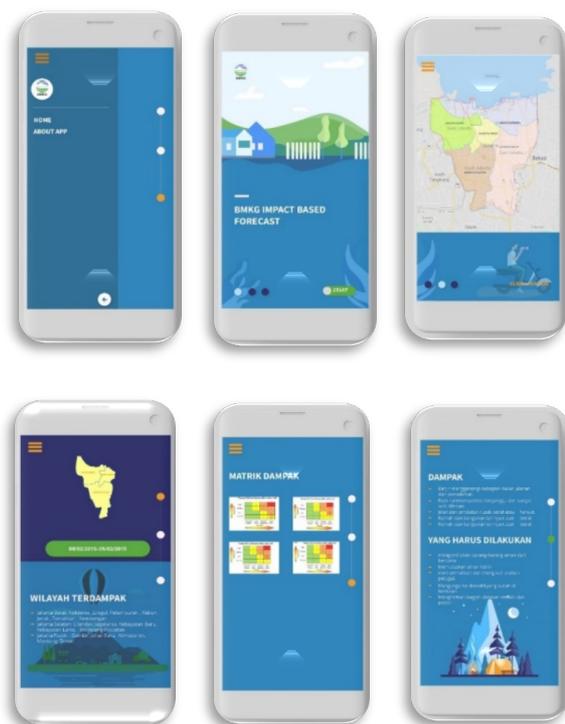


Gambar 7. Hubungan *likelihood* variabel *vertical velocity* dengan matriks dampak dan respon

Berdasarkan tabel 4 menunjukkan bahwa kemampuan model GFS dalam merepresentasikan hujan lebat dengan *likelihood vertical velocity* mampu berada di kisaran 43-45%, dimana kondisi ini berada pada kategori *likelihood low* (30-59%). Dengan demikian menurut model GFS, maka *warning* yang dikeluarkan ditunjukkan oleh lingkaran merah dimana hujan lebat akan menimbulkan dampak *severe*, tetapi probabilitas kejadian hujan *low* (30-59%). Sebagai informasi untuk masyarakat diberikan saran tindakan mengacu pada kategori 8.

## Penyajian peta *impact based forecast* dengan variabel-variabel yang digunakan sebagai *likelihood* yang disajikan dalam bentuk aplikasi *mobile* sebagai inovasi

Berikut ini merupakan suatu konsep sederhana dalam mempermudah masyarakat untuk mengakses informasi *impact based forecast* secara mudah dan cepat dalam tampilan *mobile phone*.



Gambar 8. Tampilan peta *impact based forecast* dalam *mobile phone*

## KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian diatas kesimpulan yang dapat dihasilkan adalah sebagai berikut :

- Berdasarkan model prakiraan cuaca numerik GFS, parameter cuaca yang dapat dijadikan sebagai perkursor kejadian bencana banjir di wilayah DKI Jakarta adalah curah hujan, rh dan suhu, cape dan *vertical velocity*. Dimana posisi rh dan suhu, cape dan *vertical velocity* merupakan perkursor

lain yang memenuhi untuk merepresentasikan hujan lebat di wilayah DKI Jakarta. Posisi *likelihood* rh dan suhu, cape dan *vertical velocity* berdasarkan model GFS lebih baik dibandingkan dengan curah hujan. rh dan suhu, cape dan *vertical velocity* berada di *likelihood low* sedangkan curah hujan berada di *likelihood very low*.

- b) *Predictability* tiap variabel cuaca terpilih yang berhasil digambarkan oleh model GFS yang dimasukkan sebagai *likelihood* adalah sebagai berikut, curah hujan memiliki *predictability* 20-25% dimana ini termasuk sebagai kategori *likelihood very low* (<29%), rh dan suhu memiliki *predictability* 50-55% dimana ini termasuk sebagai kategori *likelihood low* (30-59%), cape memiliki *predictability* 43-45%, dimana ini termasuk sebagai kategori *likelihood low* (30-59%) dan *vertical velocity* memiliki *predictability* 35-38% dimana ini termasuk sebagai kategori *likelihood low* (30-59%). Dalam penelitian ini model GFS berhasil menggambarkan *predictability* dan *likelihood* rh dan suhu, cape dan *vertical velocity* lebih baik dari curah hujan di wilayah DKI Jakarta.
- c) Penggunaan model GFS berdasarkan prakiraan 1 hari dan 3 hari tidak memiliki perbedaan signifikan untuk hasil output model data yang dihasilkan. Hasil ini menandakan bahwa model GFS mampu merepresentasikan unsur-unsur cuaca secara baik, untuk 1 hari kedepan maupun 3 hari kedepan.

Saran yang dapat diberikan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a) Variabel-variabel cuaca yang berpengaruh di atmosfer bukan hanya hujan, cape, rh, suhu dan *vertical velocity*, masih ada seperti angin, k-indeks, l-indeks dan sebagainya. Maka

dari itu untuk penelitian selanjutnya baik di daerah DKI Jakarta ataupun didaerah lainnya perlu ditambahkan variabel yang lain untuk memperoleh hasil yang lebih baik lagi.

- b) Diharapkan hasil penelitian ini dapat bermanfaat dan bisa dijadikan referensi dalam rencana BMKG untuk mengembangkan prakiraan cuaca berbasis dampak di seluruh wilayah Indonesia.

## DAFTAR PUSTAKA

- BPBD, 2013, *Rencana Penanggulangan Bencana Provinsi DKI Jakarta 2013 – 2017*, RPB 2013-2017, Jakarta.
- BMKG, 2019, *Modul Diklat Impact Based Forecast*, BMKG, Jakarta.
- BNPB, 2016, *Penurunan Indeks Risiko Bencana di Indonesia*, Direktorat PRB, Jakarta
- Boyce, S. dan Farrel, D., 2018, The Caribbean Dewetra Platform, *Caribbean Institute for Meteorology and Hydrology*.
- Budimir, M., Donovan, A., Brown, S., Shakya, P., Gautam, D., Uprety, M., Cranston, M., Sneddon, A., Smith, P., dan Dugar, S., 2019, Communicating Complex Forecast for Enhanced Early Warning in Nepal, *Geoscience Communication*, hal. 1-32.
- Cimino, N. P., dan L. M. Moore, 1975, *An Objective aid to Forecasting Summertime Showers Over the Lower Rio Grande Valley of south Texas*, NOAA Tech., Maryland.
- Funk, T. W, 2003, Heavy Convective Rainfall Forecasting: *A Comprehensive Look at Parameters, Processes, Patterns, and Rules of Thumb*, Training Document, National Weather Service weather forecast office, Ouisville.
- Gernowo, R., 2009, Monsoon Effect at Flood Phenomena on 2002 and 2007 in DKI-JAKARTA, *Berkala Fisika*, vol. 12, hal. 7-13.

- Gernowo, R. dan Yulianto, T., 2010, Fenomena Perubahan Iklim dan Karakteristik Curah Hujan Ekstrim di DKI Jakarta, *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXIV HFI Jateng & DIY*, hal. 13-18.
- Nuryanto, D. E., 2013, Karakteristik Curah Hujan Abad 20 Di Jakarta Berdasarkan Kejadian Iklim Global, *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, vol. 14, hal. 139 - 147.
- Pawitan, H., 1989, Termodinamika Atmosfer, Pusat antar Ilmu Hayat., Institut Pertanian Bogor.
- Prawiwardoyo., 1996, *Meteorologi*, ITB, Bandung.
- Sai, F., Cumiskey, L., Weerts, A., Bhattacharya, B., dan Khan, H., R., 2016, Towards Impact-based Flood Forecasting and Warning in Bangladesh: A Case Study at the Local Level in Sirajganj District, *Natural Hazard and Earth System Sciences*, hal. 1-20.
- Sareng, M.R.I., 2016, *Kajian Indeks Stabilitas Atmosfer Untuk Prediksi Kejadian Hujan Di Kupang*, Skripsi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Tangerang Selatan.
- Weingartner, L., Jaime, C., Todd, M., Levine, S., Mcdowell, S., dan Macleod, D., 2019, Reducing Flood Impacts Through Forecast-Based Action, *Overseas Development Institute*, vol. 553, hal. 1-75.
- Weyrich, P., Scolobig, A., Bresch, N., D., dan Patt, A., 2019, Effect of Impact-Based Warnings and Behavioral Recommendations for Extreme Weather Events, *American Meteorology Society*, vol. 10, hal. 781-796.
- WMO, 2015, *Guidelines on Multi-Hazard Impact Based Forecast and Warning Services*, WMO-No.1150.
- Zakir A., Sulistya, W., dan Khotimah, M.K., 2010, *Perspektif Operasional Cuaca Tropis*, Pusat Penelitian dan Pengembangan BMKG, Jakarta.
- The Weather Window, 2019, <http://weather.mailasail.com/Franks-Weather/Cape>, diakses tanggal 20 September 2020.