

Pengembangan Sistem Peringatan Dini Cuaca Ekstrem Terintegrasi Berbasis Y-Model *Webgis Development Methodology* (Y-WDM)

Abdullah Ali^{1*}, Iddam Hairully Umam¹, Hesti Heningtyas¹, Rindita Charolidya¹, Bertha Sanditya¹, Azhari Putri Cempaka¹, Teguh Setyawan², Dan Kiki²

¹ Sub Bidang Pengelolaan Citra Radar Cuaca, Pusat Meteorologi Publik BMKG, Jl. Angkasa I No. 2 Kemayoran, Kota Jakarta Pusat, DKI Jakarta 10610, Indonesia.

² Sub Bidang Peringatan Dini Cuaca, Pusat Meteorologi Publik BMKG, Jl. Angkasa I No. 2 Kemayoran, Kota Jakarta Pusat, DKI Jakarta 10610, Indonesia.

***E-mail: abdullah.ali@bmkgo.id**

Received: 04 01 2022 / Accepted: 21 07 2022/ Published online: 26 07 2022

ABSTRAK

Kejadian bencana hidrometeorologi di Indonesia menempati persentase terbesar hingga kurun 10 tahun terakhir. Pengembangan sistem peringatan dini cuaca ekstrem terintegrasi merupakan salah satu proses awal dari rangkaian upaya mitigasi bencana hidrometeorologi. Data model, observasi, dan penginderaan jauh yang menjadi basis data dalam pembuatan peringatan dini cuaca ekstrem, memungkinkan petugas melakukan deteksi dini adanya bahaya sehingga memiliki waktu tunggu yang cukup untuk mempersiapkan rencana tanggap darurat yang efektif. Dalam penelitian ini, sistem peringatan dini dibangun dengan mengimplementasikan Y-Model *WebGIS Development Methodology* (YWDM) yang merupakan kombinasi rekayasa sistem informasi geografis dan konteks pengembangan aplikasi berbasis web. Pemrosesan data spasial dilakukan menggunakan bahasa pemrograman python, meliputi data radar dan satelit cuaca, observasi permukaan, deteksi petir, model deteksi awan badai, dan model prakiraan jangka pendek pergerakan awan. Visualisasi web GIS dilakukan menggunakan bahasa pemrograman JavaScript dan php, dan manajemen database dilakukan menggunakan PostgreSQL. Hasil implementasi metodologi YWDM pada penelitian ini dinamakan dengan framework/kerangka Space (*Spatial Based Extreme Weather Warning System*) dimana di dalamnya terdapat sitem Sidarma-Nowcast. Pengembangan sistem ini menunjukkan peningkatan kecepatan dan tingkat kemudahan pada proses pembuatan dan diseminasi informasi peringatan dini.

Kata Kunci: Sistem Peringatan Dini Cuaca Ekstrem Terintegrasi, Web GIS, YWDM

ABSTRACT

*The incidence of hydrometeorological disasters in Indonesia is in the largest percentage for the last 10 years. The development of an integrated extreme weather early warning system is one of the initial processes in a series of hydrometeorological disaster mitigation efforts. Data models, observation and remote sensing become the database in early warning of extreme weather, the officers who carry out early detection of hazards so that they have sufficient waiting time to prepare an effective emergency response plan. In this study, an early warning system was built by implementing the Y-Model *WebGIS Development Methodology* (YWDM) which is a combination of geographic information*

systems and web-based application development context. Spatial data processing is carried out using the python programming language, including radar and weather satellite data, surface observation, lightning detection, storm detection and identification, and nowcasting models. Web GIS visualization is built by using JavaScript and php programming language, database management managed using PostgreSQL. The results of the implementation are in the form of a SPACE (Spatial Based Extreme Weather Warning System) framework which Sidarma-Nowcast is a system within the framework. The development of this system shows an increase and the level of improvement in the process of producing and disseminating early warning information.

Keywords: *Integregated Extreme Weather Early Warning Systems, Web GIS, YWDM*

PENDAHULUAN

World Meteorological Organization (WMO) dalam dokumen *Multi-hazard Early Warning Systems* menyatakan bahwa peringatan dini merupakan elemen utama dari pengurangan risiko bencana (Hemachandra, 2020). Informasi ini dapat mencegah jatuhnya korban jiwa, mengurangi dampak ekonomi, dan kerusakan material akibat bencana. Agar efektif, sistem peringatan dini perlu melibatkan secara aktif berbagai kalangan terkait, seperti: Lembaga Pemerintahan terkait dan komunitas berisiko dari berbagai potensi bahaya, mengedukasi publik mengenai potensi bencana dan cara menyikapi informasi peringatan dini, menyebarkan informasi peringatan dini secara cepat, efektif, efisien dan memastikan bahwa ada tindak lanjut langkah kesiapsiagaan bencana yang diambil. Sendai Framework untuk Pengurangan Risiko Bencana tahun 2015-2030 mengakui manfaat sistem peringatan dini multi hazard dan memasukannya menjadi salah satu dari tujuh target globalnya (Maskrey, 2016).

Pada tahun 1992, *The European Center for Medium Range Weather Forecast* (ECMWF) dan *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) pertama kali mengenal teknik ensemble prakiraan jangka menengah sebagai sistem peringatan dini, dan dinamai *Enasemble Prediction System* (Matsuda & Nakazawa,

2015). Sistem tersebut diaplikasikan oleh beberapa badan meteorologi seperti *Japan Meteorological Agency* (JMA), *Canadian Meteorological Center* (CMC), dan *UK Meteorological Office* (UKMO). *Enasemble Prediction System* (EPS) merupakan kompen utama dalam pusat *operasional Numerical Weather Prediction* (NWP), dan merupakan suatu pendekatan yang dapat mengukur ketidakpastian terkait dengan prakiraan cuaca.

Terdapat beberapa metodologi pengimplementasian web GIS, antara lain: *Web GIS Development Cycle* (Alesheiksh et. al., 2002), *Rapid GIS Development* (Cavaco et al., 2010), *Web GIS Navigational Development Techniques* (NDT) Metodholgy (Escalona dkk., 2008). Hingga saat ini metodologi pengembangan web GIS masih terus berkembang. Menurut (Avisioan & Fitzgerald 2006) terdapat delapan hal yang harus diperhatikan dalam pemilihan metodologi pengembangan sistem, yaitu :

- a) *Rules*: apakah pedoman yang jelas mencakup fase, tugas, dan tujuan tersedia?
- b) *Coverage*: apakah meliputi seluruh proses pengembangan?
- c) *Design*: apakah metodologi tersebut memisahkan desain fisik dan lokal?
- d) *Inter-stage communication*: apakah seluruh fase atau tahapan saling berkaitan?

- e) *Teachable*: apakah teknik dan metodologi yang digunakan mudah dipahami?
- f) *Designing for change*: apakah desain metodologi mudah untuk dimodifikasi?
- g) *Simplicity and pragmatic*: apakah mudah untuk digunakan?
- h) *Participation*: apakah dapat dibangun melalui sistem partisipasi?

Ananda *et al.*, (2016), mengusulkan metode baru dalam pengembangan web GIS, dinamakan dengan Y-Model Web GIS *Development Methodology* (YDWM), dimana huruf Y diambil dari bentuk skema metodologi. Metodologi YDWM didasarkan pada riset akademik dan pengalaman penulis saat mengimplementasikan jenis-jenis metodologi pengembangan sistem. Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan metodologi YDWM pada pengembangan sistem peringatan dini cuaca ekstrem terintegrasi di lingkup BMKG.

METODE PENELITIAN

Metodologi pengembangan sistem peringatan dini cuaca ekstrem terintegrasi yang digunakan adalah YDWM. Metodologi ini dikemukakan oleh (Ananda *et al.*, 2016) yang menggunakan pendekatan pengembangan perangkat lunak secara umum, pengembangan web, dan aplikasi GIS. Penamaan YDWM merupakan representasi diagram metodologi yang menyerupai huruf Y. Metode YDWM dibagi menjadi tiga bagian, bagian pengembangan GIS, bagian pengembangan web, serta bagian integrasi dan manajemen. Bagian pengembangan GIS dan web dilaksanakan secara paralel dalam empat fase, dan dilanjutkan dengan proses integrasi dan manajemen.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam pengembangan sistem peringatan dini cuaca ekstrem terintegrasi terbagi pada bagian *back-end* dan bagian *front-end*. Pada bagian *back-end* alat yang digunakan untuk mengolah data spasial yang ditampilkan pada web GIS adalah bahasa pemrograman python. Setiap perintah yang dikirimkan oleh pengguna pada *interface* web GIS dijalankan menggunakan bahasa pemrograman PHP. Pada bagian *front-end*, bahasa pemrograman Java Script, HTML, dan CSS digunakan untuk mengatur tampilan dan interaksi web GIS.

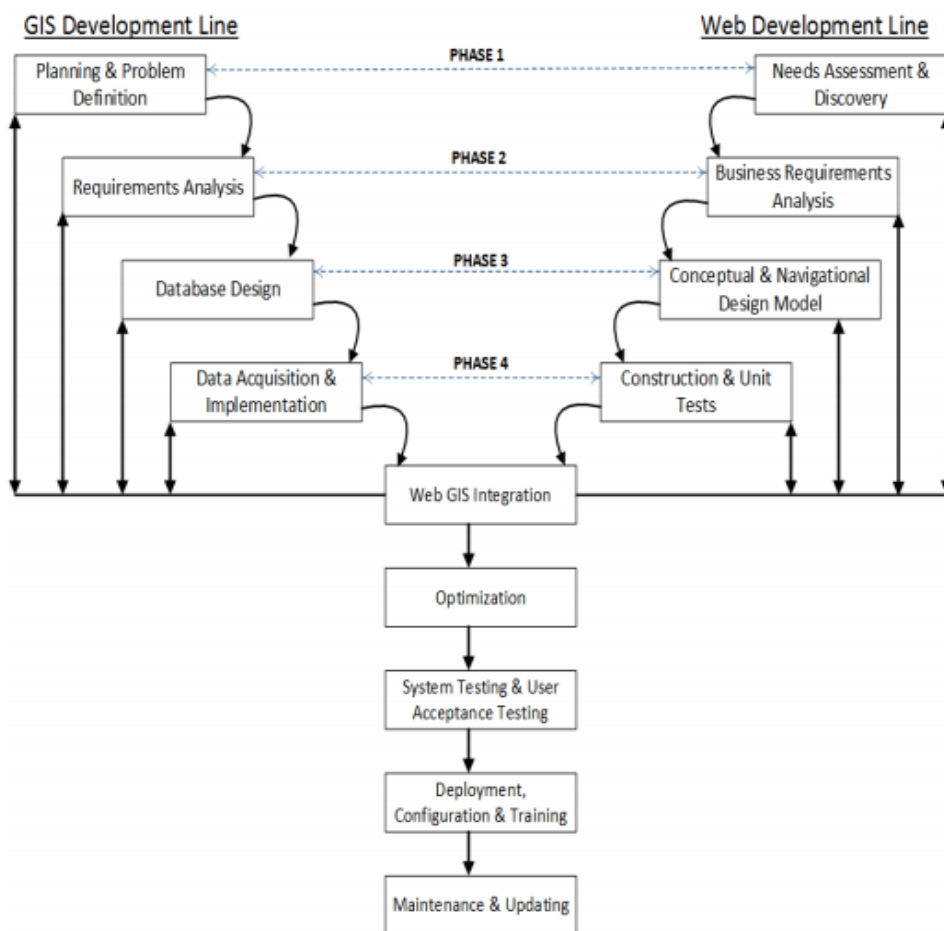
Metode Pengumpulan, Pengolahan, dan Analisis Data

Data-data spasial yang akan ditampilkan pada web GIS antara lain: data radar cuaca, data satelit cuaca, data observasi permukaan, data deteksi petir, model deteksi awan badai, model prediksi pergerakan awan, dan batas administrasi kecamatan. Data radar cuaca dari 41 lokasi radar yang dimiliki BMKG diintegrasikan ke dalam satu *server* pengolahan data menggunakan bahasa pemrograman python yang kemudian akan diolah menjadi produk *Column Maximum* (Ali *et al.*, 2018), *Precipitation Accumulation* (Ali *et al.*, 2020), *Surface Rainfall Intensity*, *Horizontal Wind*, dan *Storm Structure Analysis*. Citra satelit cuaca produk *Enhanced* dan *Rapid Developing Cumulus Area* diambil dari hasil pengolahan data Himawari 8 oleh Sub Bidang Pengelolaan Citra Satelit Cuaca BMKG. Data observasi permukaan diperoleh dari Pusat Database BMKG, sedangkan data petir diperoleh dari Pusat Seismologi Teknik, Geofisika Potensial dan Tanda Waktu BMKG. Model prediksi pergerakan awan dijalankan menggunakan algoritma *Short Term Ensemble Prediction System* (Ali *et al.*, 2021), sedangkan deteksi awan badai dijalankan menggunakan algoritma

Thunderstorms Identification Tracking Analysis and Nowcasting (TITAN).

Pada fase awal dilakukan analisis perencanaan dan perumusan masalah pada bagian pengembangan GIS dan penilaian kebutuhan pada bagian pengembangan web. Fase kedua dilakukan dengan menganalisis kebutuhan fungsional maupun non-fungsional dalam sistem baik dalam unsur web dan GIS. Fase ketiga dilakukan dengan mendesain database GIS dan konsep desain dan model navigasi

pada web interaktif. Fase keempat merupakan fase yang paling penting untuk bagian pengembangan GIS, yaitu proses akuisisi data dan implementasi yang kemudian dikonstruksikan dan diuji coba pada bagian pengembangan web. Proses integrasi dan manajemen dibagai menjadi beberapa tahap, antara lain optimasi, pengujian, konfigurasi dan training, serta pemeliharaan. Skema metodologi YWDM terdapat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Skema Y-Model Web GIS Methodology (Ananda et. al., 2016)

HASIL DAN PEMBAHASAN

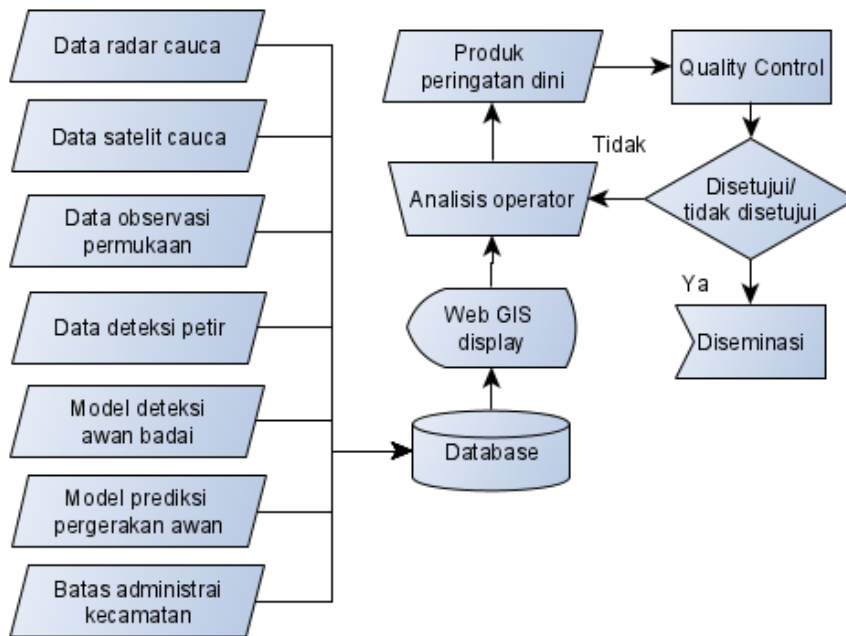
Fase 1 : Perencanaan dan Perumusan Masalah

Pengembangan sistem ini bertujuan untuk mengintegrasikan basis data spasial sebagai pertimbangan

pembuatan peringatan dini yang kemudian divisualisasikan dalam aplikasi web GIS yang dilengkapi dengan fitur *input*, *quality control*, dan diseminasi. Fase 1 bagian pengembangan GIS direpresentasikan menggunakan diagram alur kerja pada

Gambar 2. Pada bagian *web development line*, sistem ini diharapkan mampu meningkatkan tingkat keakuratan dan memangkas waktu produksi pembuatan peringatan dini. Pemangkasan waktu

produksi, terutama pada unit kerja dengan wilayah tanggung jawab yang luas, dilakukan melalui integrasi antara input data spasial, proses produksi peringatan dini, *quality control*, dan diseminasi.



Gambar 2. Diagram alir kerja perencanaan pengembangan GIS pada fase 1

Fase 2 : Analisis Kebutuhan Fungsional Dan Non-Fungsional

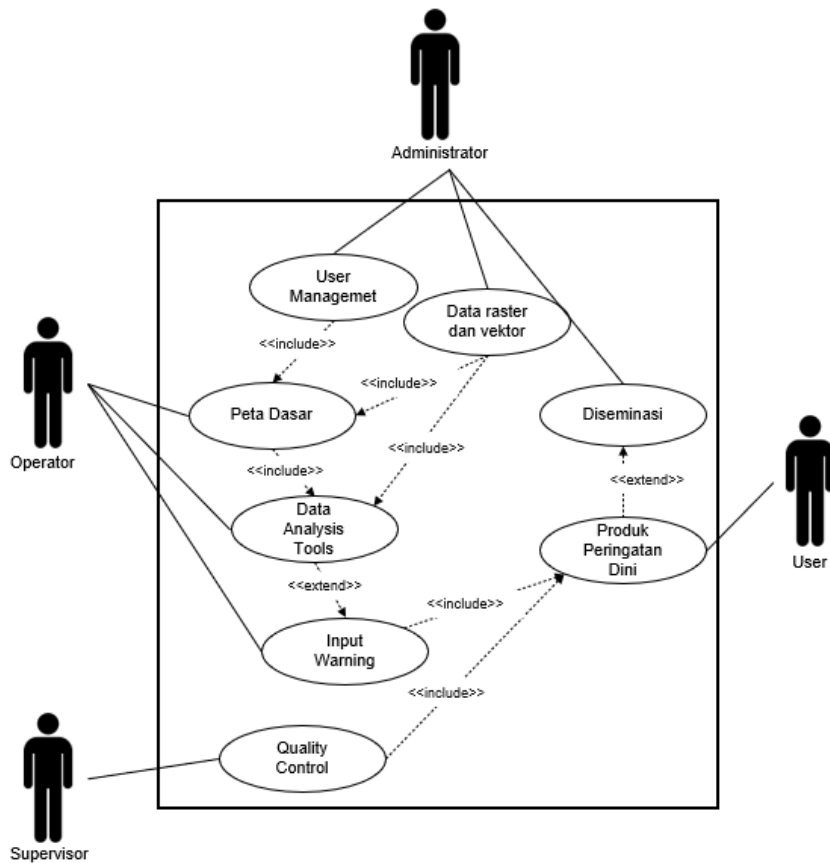
Kebutuhan pada sisi alur pengembangan GIS antara lain:

- Sistem dapat mengintegrasikan data radar cuaca, satelit cuaca, observasi permukaan, deteksi petir, model deteksi awan badai, model prediksi pergerakan awan sebagai pertimbangan pembuatan peringatan dini dalam satu aplikasi web.
- Sistem dapat melakukan input wilayah yang sedang terjadi cuaca ekstrem dan potensi perluasan dalam lingkup batas administrasi kecamatan secara interaktif.

Kebutuhan pada sisi alur pengembangan web dapat diilustrasikan

melalui pemodelan diagram *usecase* (Fauzi, 2020). *Usecase* diagram menjelaskan aspek fungsionalitas sistem dengan mendeskripsikan interaksi antara aktor dengan sistem, dalam konteks sistem peringatan dini cuaca, terdapat tiga aktor yaitu administrator, operator, dan pengguna/user. *Usecase* diagram pada pengembangan sistem peringatan dini cuaca ekstrem terintegrasi terdapat pada **Gambar 3**.

Dari hasil analisis kebutuhan data spasial dan model *usecase* diagram dapat diketahui kebutuhan fungsional (KF) yang diperlukan oleh sistem. Kebutuhan fungsional pada pengembangan sistem peringatan dini cuaca ekstrem terintegrasi terdapat pada **Tabel 1**.



Gambar 3. Usecase diagram sistem peringatan dini cuaca ekstrem terintegrasi pada fase 2

Tabel 1. Kebutuhan Fungsional (KF) pada pengembangan sistem peringatan dini cuaca ekstrem terintegrasi

NO	Kode	Fungsional
1	KF01. <i>User Management</i>	Mengelola hak akses pengguna dalam aplikasi
2	KF02. <i>Pengelolaan Peta Dasar</i>	CRUD layer peta dasar
3	KF03. <i>Pengelolaan Data Spasial</i>	CRUD layer radar dan satelit cuaca, model deteksi awan badai, model pergerakan awan, data pengamatan permukaan, data deteksi petir
4	KF04. <i>Weateher Warning Input</i>	Pembuatan produk peringatan dini
5	KF05. <i>Quality Control</i>	CRUD produk peringatan dini
6	KF06. <i>Diseminasi</i>	Pengiriman produk peringatan dini
Total		64.068,69

Sumber: Hasil Penelitian, 2022

Fase 3 : Desain Database Geospasial Dan Navigasi Web

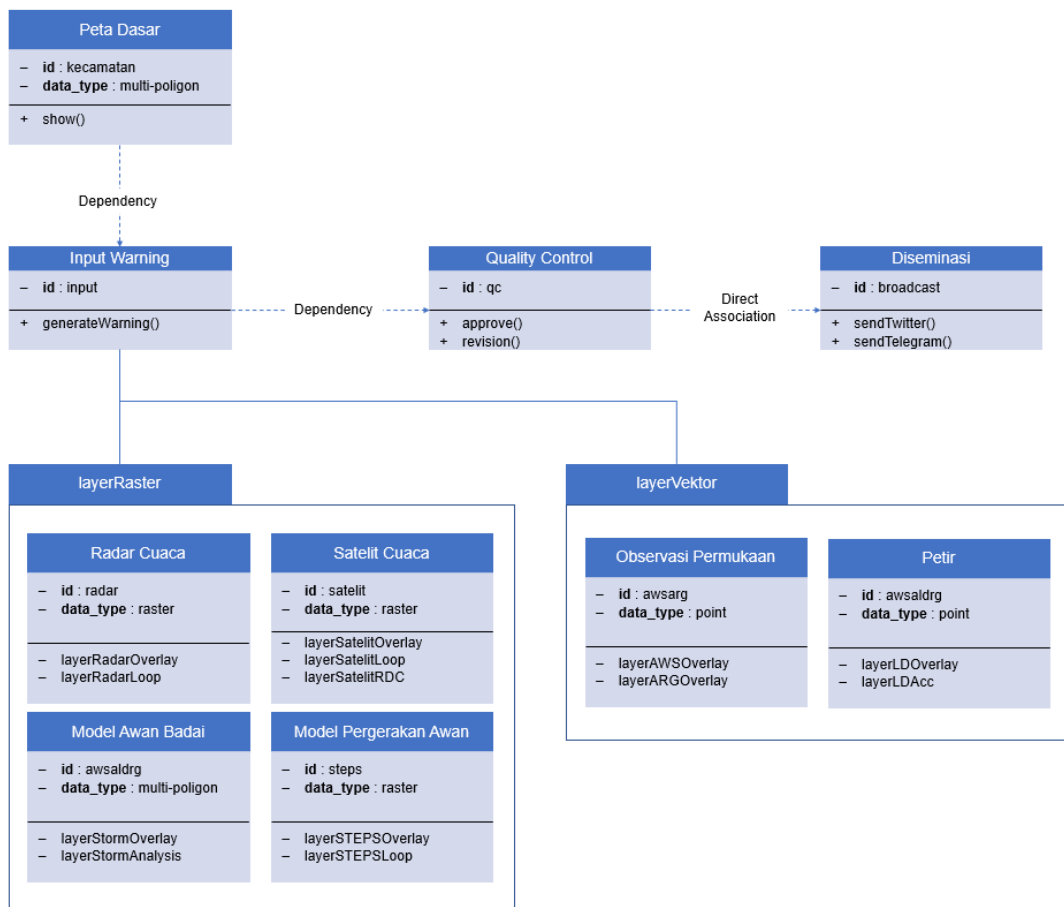
Database data geospasial dan non-spasial dikelola menggunakan mongo DB. Desain database geospasial diilustrasikan menggunakan *class diagram*, sehingga dapat diketahui atribut data spasial. *Class diagram* pada fase 3 ini terdapat pada

Gambar 4. Navigasi web GIS dibagi menjadi menjadi 5 menu, menu *Data Loader*, *SWIRLS Forecast*, *Storm Analysis*, *Input Warning*, dan *Surface Obsercation*. Menu *Data Loader* berisi panel pemilihan lokasi radar cuaca, keterangan waktu data, legenda citra, dan

pilihan mode citra (*Latest, Last One Hour, Last Three Our, Last One Day*).

Menu SWILRS Forecast berisi panel pemilihan algoritma model prediksi pergerakan awan, keterangan waktu model, dan panel lopping model. Menu Storm Analysis berisi panel pemilihan awan badai/storm yang terdeteksi, beserta time series profil awan badai. Menu navigasi berisi panel teks peringatan dini,

panel pengaturan waktu pembuatan, waktu berlaku, waktu berakhir, status, dan kategori peringatan dini, serta nama analais/operator. Menu *Surface Observation* berisi panel pemilihan *Atutomatic Weather Station (AWS) / Automatic Rain Gauge (ARG)*, serta grafik time series dari AWS/ARG yang dipilih dan data terakhir AWS/ARG pada lokasi propinsi yang dipilih.



Gambar 4. Class diagram sistem peringatan dini cuaca ekstrem terintegrasi pada fase 3

Fase 4 : Akuisisi Data Geospasial Dan Konstruksi Web

Akuisisi data radar cuaca dilakukan melalui sinkronisasi hasil pemrosesan SIDARMA, dimana data raster tersedia dalam format geotif dan geosjon (Ali dkk., 2021). Data satelit cuaca diperoleh dari hasil pemrosesan satelit cuaca HIMAWARI 8 oleh Sub Bidang Pengelolaan Citra Satelit Cuaca BMKG.

Akuisisi data petir dilakukan melalui pengunduhan data sensor deteksi petir yang terpasang di Jakarta oleh Sub Bidang Layanan Informasi Seismologi Teknik BMKG. Data pengamatan permukaan diakuisisi melalui sinkronisasi database AWS-Center yang dikelola oleh Bidang Manajemen Database BMKG.

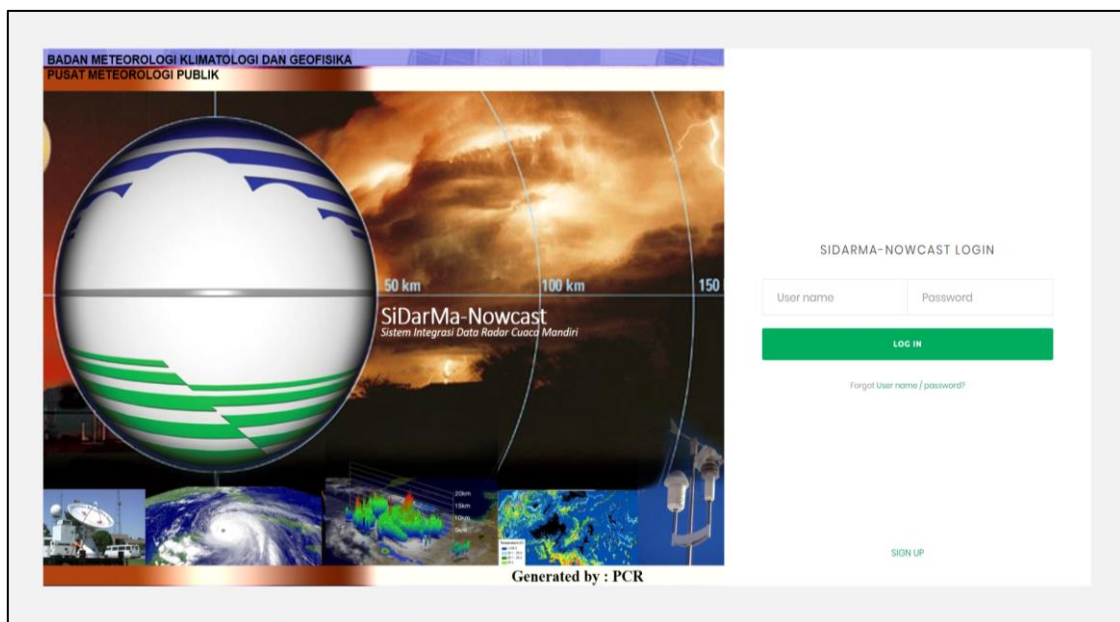
Model deteksi awan badai dilakukan menggunakan aplikasi

Thunderstorm Identification, Tracking, Analysis, and Nowcasting (TITAN) yang memproduksi data vektor awan badai beserta prediksinya hingga 1 jam kedepan dalam format *geojson* (Dixon dan Wiener, 1993). Model prediksi pergerakan awan dilakukan menggunakan algoritma *Shorterm Ensemble Prediction System (STEPS)* melalui *library pysteps* (Pulkkinen et. al., 2019) dan *swirlspy* (Woo & Wong, 2017) yang diakuisisi melalui server pemrosesan SIDARMA. Peta dasar batas administrasi kecamatan diperoleh dari Direktorat Jendral Dinas Kependudukan dan Pencatatan Sipil

(Ditjen Dukcapil). Konstruksi web GIS dilakukan melalui pembuatan kode program menggunakan bahasa pemrograman php, JavaScript dan python.

Integrasi dan Manajemen

Hasil integrasi lini pengembangan GIS dan lini pengembangan web pada penelitian ini dinamakan dengan framework/kerangka *SPACE (Spatial Based Extreme Weather Warning System)* dimana di dalamnya terdapat sitem SIDARMA-NOWCAST. Halaman muka SIDARMA-NOWCAST merupakan halaman login operator (**Gambar 5**).



Gambar 5. Halaman login SIDARMA-NOWCAST

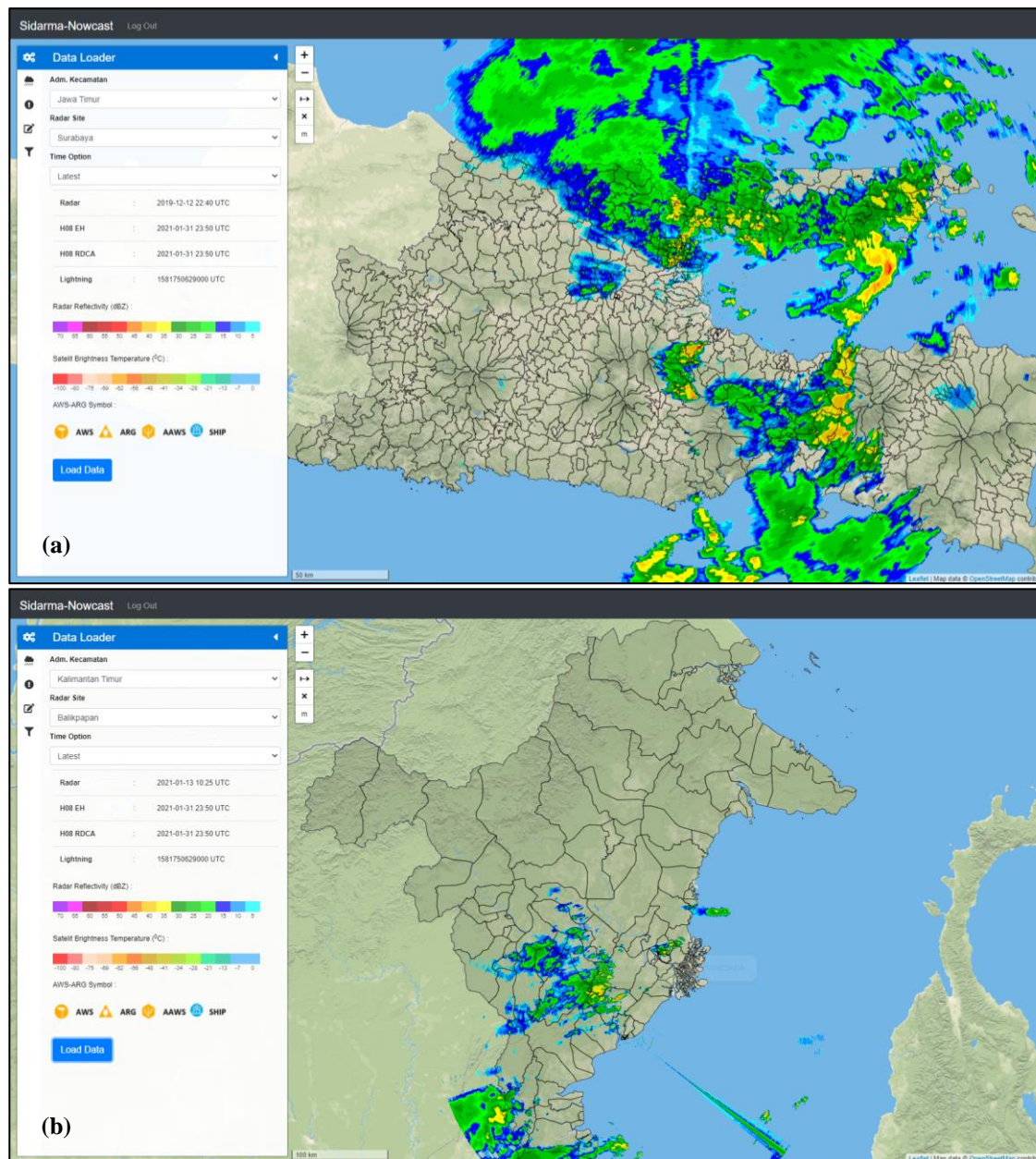
Pada saat operator berhasil melakukan login, maka halaman yang akan muncul adalah peta dasar batas administrasi kecamatan beserta data radar cuaca dengan menu navigasi yang aktif adalah *Data Loader* (**Gambar 6**). Pengaturan visualisasi layer terdapat pada bagian kanan web SIDARMA-NOWCAST. Konten dari menu navigasi web SIDARMA-NOWCAST terdapat pada **Gambar 7**.

Data-data geospasial (radar dan satelit cuaca, poligon model deteksi awan

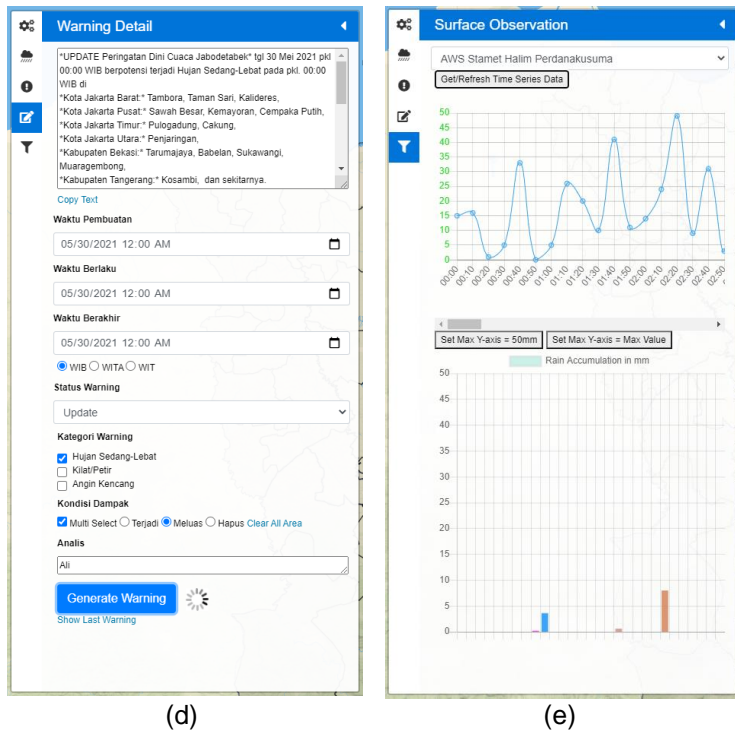
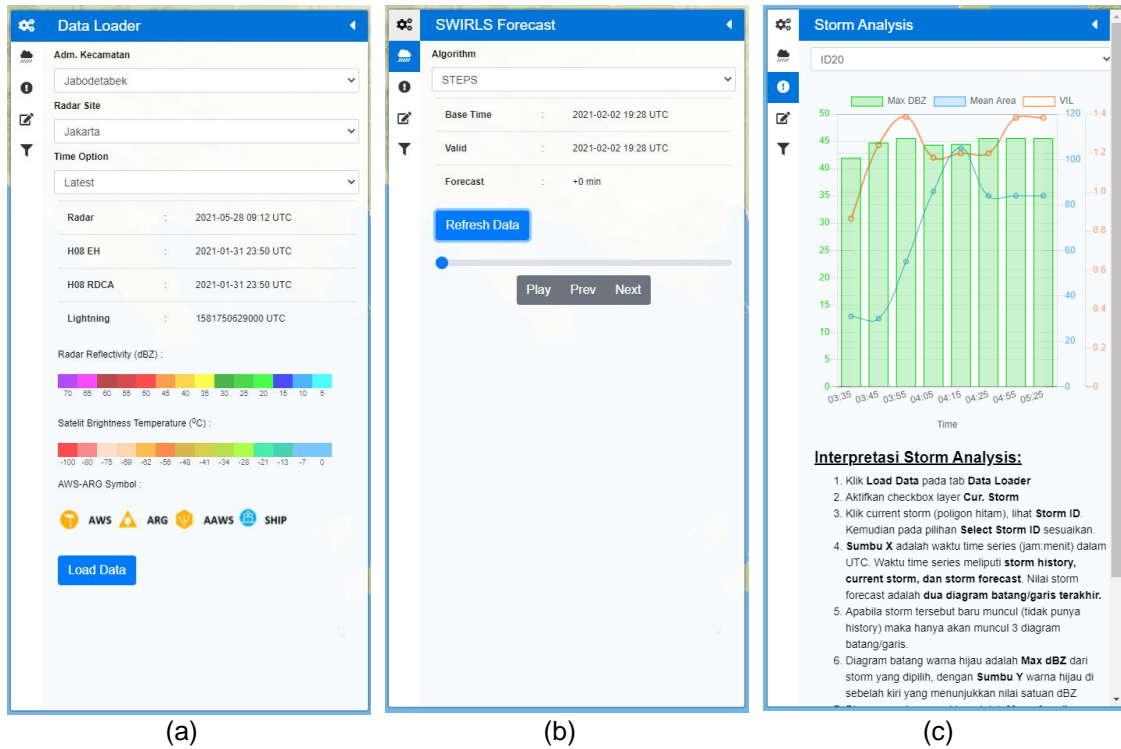
badai, data pengamatan permukaan) dilakukan *overlay* dengan peta dasar batas administrasi agar operator dapat mengetahui wilayah yang sedang terjadi cuaca ekstrem lebih detail dan presisi. Model prakiraan pergerakan awan juga memudahkan operator dalam menentukan daerah perluasan sehingga produk peringatan dini menjadi lebih akurat. Data geospasial yang ditampilkan dalam web GIS SIDARMA-NOWCAST terdapat pada **Gambar 8**.

Hasil input peringatan dini pada web SIDARMA-NOWCAST diintegrasikan dengan proses *quality control* oleh supervisor yang terdaftar melalui aplikasi Telegram. Supervisor akan memeriksa area dan format peringatan dini.

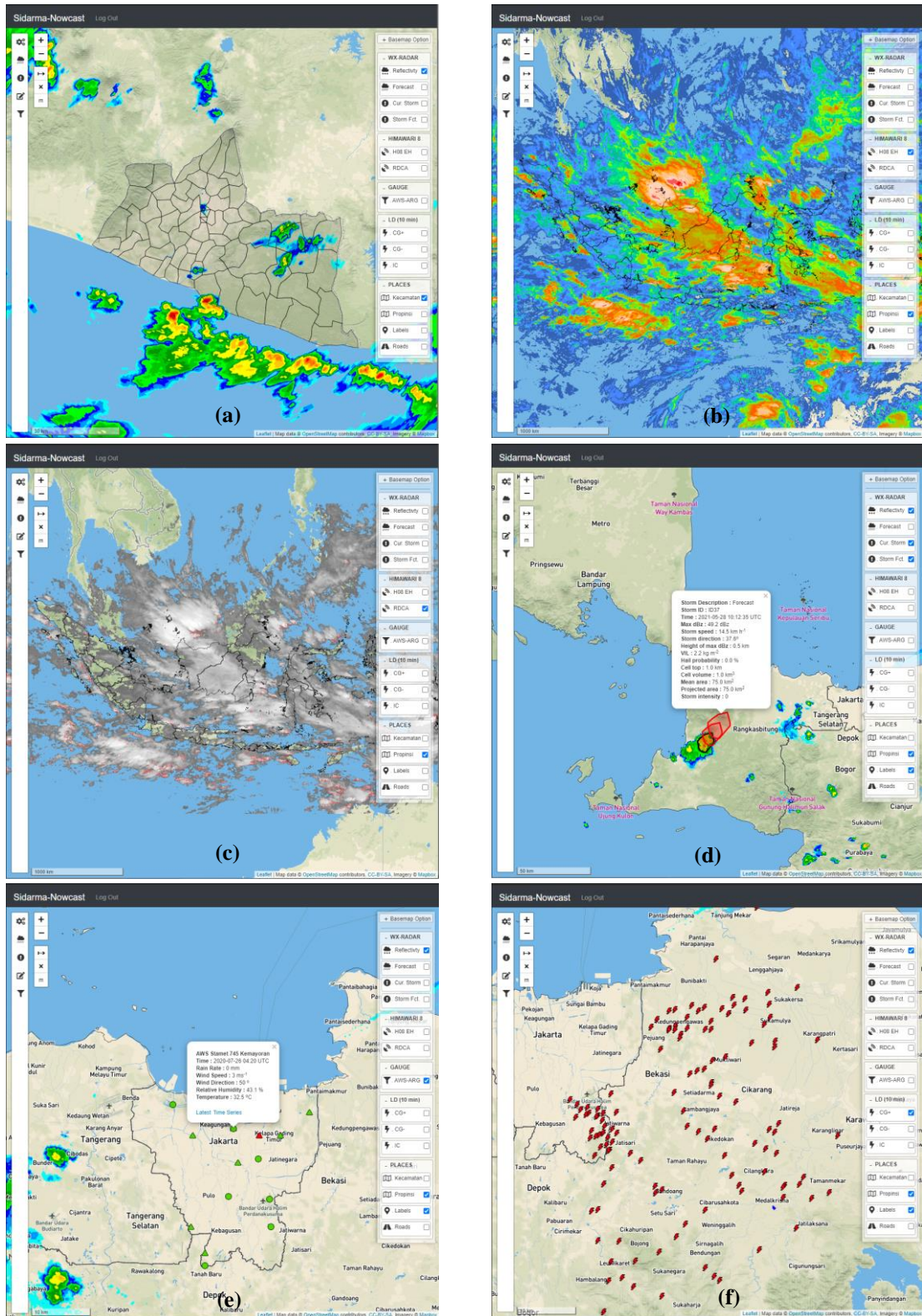
Jika peringatan dini disetujui oleh supervisor, maka akan dilanjutkan pada proses diseminasi, namun pada saat terdapat kesalahan, maka supervisor akan memberikan koreksi kepada operator. Hasil produk peringatan dini cuaca ekstrem terdapat pada **Gambar 9**.



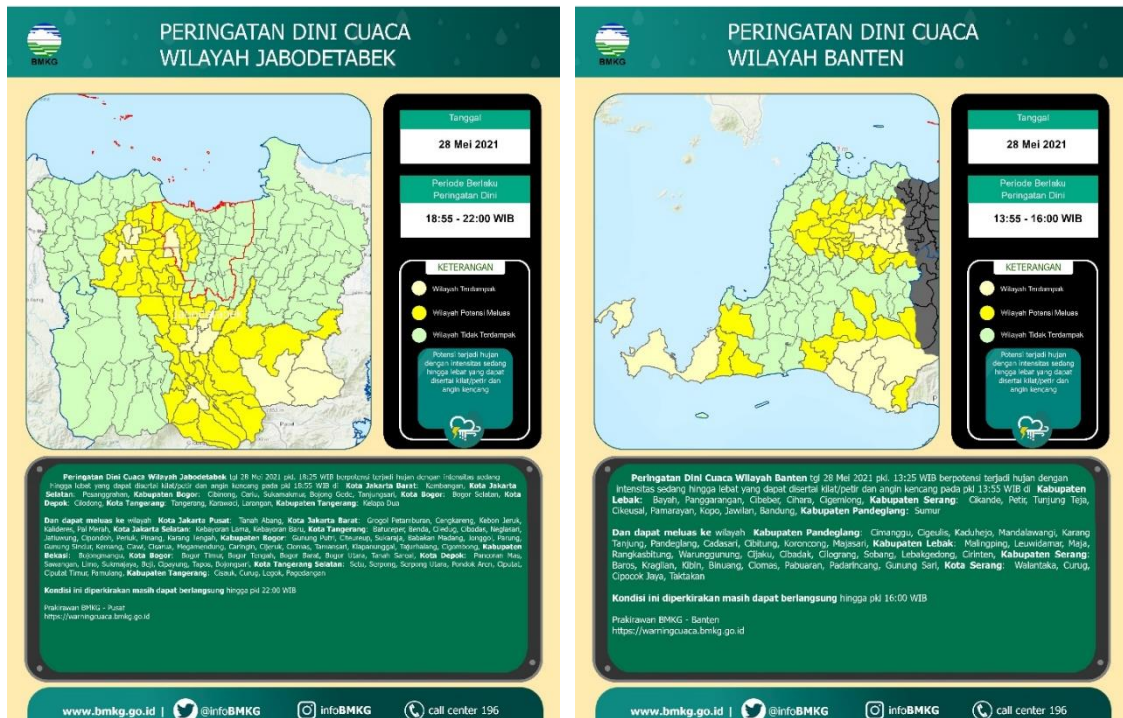
Gambar 6. Halaman muka saat operator berhasil mealkukan login. (a) Provinsi Jawa Timur. (b) Provinsi Kalimantan Timur



Gambar 7. Menu navigasi SIDARMA-NOWCAST. (a) *Data Loader*. (b). *SWIRLS Forecast*. (c) *Storm Analysis*. (d) *Warning Detail*. (e) *Surface Observation*



Gambar 8. Data geospasial SIDARMA-NOWCAST. (a) Radar Cuaca. (b). Satelit Cuaca HIMAWARI 8 EH. (c) Satelit Cuaca HIMAWARI 8 RDCA. (e) Model deteksi awan badai. (e) Pengamatan AWS-ARG. (f) Deteksi petir.



Gambar 9. Produk peringatan dini cuaca ekstrem (a) Wilayah Jabodetabek. (b) Wilayah Banten.

Beberapa proses manajemen yang sudah dilakukan antara lain *system testing* dan *user acceptance testing*, dimana hingga tahun 2020 terdapat 6 unit kerja BMKG yang sudah menggunakannya, yaitu unit kerja yang menjadi koordinator di Provinsi Banten, DKI Jakarta, Jawa Barat, Jawa Tengah, DI Yogyakarta, dan Jawa Timur. *Training* penggunaan sistem dilakukan secara daring, dan pelaksanaan pemeliharaan sistem sudah dilakukan dua kali dan proses *updating fitur* sudah dilakukan sekali hingga tahun 2020. Terdapat satu proses yang belum dilaksanakan yaitu langkah optimasi performa web GIS. Kendala yang paling sering dihadapi oleh operator saat membuat peringatan dini menggunakan SIDARMA-NOWCAST adalah perbedaan kualitas internet sehingga terdapat *delay* saat menampilkan data geospasial.

KESIMPULAN.

Sistem peringatan dini cuaca ekstrem terintegrasi menjadi standar

elemen utama dalam upaya pengurangan resiko bencana. Hingga saat ini, aplikasi yang paling tepat digunakan dalam pembangunan sistem peringatan dini adalah web GIS. Metodologi YDWM diimplementasikan dalam lima tahapan, fase-1 perencanaan dan perumusan masalah, fase-2 analisis kebutuhan fungsional dan non-fungsional, fase-3 desain database geospasial dan navigasi web, fase-4 data akuisisi data geospasial konstruksi web, tahap terakhir berupa integrasi dan manajemen. Hasil implementasi metodologi YDWM pada penelitian ini dinamakan dengan framework/kerangka SPACE (*Spatial Based Extreme Weather Warning System*) dimana di dalamnya terdapat sistem SIDARMA-NOWCAST.

Hasil pengembangan menunjukkan adanya pemangkasan waktu produksi peringatan dini yang signifikan. Langkah optimasi web GIS perlu dilakukan untuk meningkatkan performa web GIS pada saat koneksi internet tidak stabil, beberapa

metode yang dapat dilakukan adalah metode *tiling* dan penggunaan *image map service*. Pengembangan sistem ini diharapkan mampu meningkatkan efisiensi langkah pengurangan resiko bencana.

DAFTAR PUSTAKA

- Alesheikh, A. A., Helali, H., & Behroz, H. A. (2002). Web GIS: *technologies and its applications*. In *Symposium on geospatial theory, processing and applications* (Vol. 15). Ottawa, ON, Canada: ISPRS.
- Ali, A., Adrianto, R. and Saepudin, M. (2019). *Preliminary Study Of Horizontal And Vertical Wind Profile Of Quasi-Linear Convective Utilizing Weather Radar Over Western Java Region*, Indonesia. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES)*, 15(2), pp.177-186.
- Ali, A., Deranadyan, G. and Umam, I.H. (2020). *An Enhancement To The Quantitative Precipitation Estimation Using Radar-Gauge MERGING*. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES)*, 17(1), pp.65-74.
- Ali, A., Deranadyan, G., & Sa'adah, U. (2021). *Kajian Awal Pemanfaatan Data Pengindraan Jauh Dalam Implementasi Peringatan Dini Cuaca Eskترم Berbasis Dampak*. *Prosiding WIN-ID 2021 Vol.1* pp.27-36.
- Ali, A., Supriatna, S., & Sa'adah, U. (2021). *Radar-Based Stochastic Precipitation Nowcasting Using The Short-Term Ensemble Prediction System (Steps)(Case Study: Pangkalan Bun Weather Radar)*. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES)*, 18(1), pp.91-102.
- Ali, A., Umam, I. H., Leijnse, H., & Sa'adah, U. (2022). *Preliminary Study Of A Radio Frequency Interference Filter For Non-Polarimetric C-Band Weather Radar In Indonesia (Case Study: Tangerang Weather Radar)*. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES)*, 18(2), 189-202.
- Ananda, F., Kuria, D. N., & Ngigi, M. M. (2016). *Towards a new methodology for web GIS development*.
- Avison, D. and Fitzgerald, G., (2003). *Information systems development: methodologies, techniques and tools*. McGraw-Hill.
- Cavaco, R., Sequeira, R., Araújo, M. and Calejo, M. (2010). *Rapid GIS Development: a model-based approach focused on interoperability*. In 13th AGILE International Conference on Geographic Information Science (pp. 1-5).
- Dewi, E.K. (2015). *Optimalisasi Web GIS dengan Metode Tiling*. SM102.. Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Komunikasi Terapan (SEMANTIK).
- Dixon, M. and Wiener, G. (1993). *TITAN: Thunderstorm identification, tracking, analysis, and nowcasting—A radar-based methodology*. *Journal of atmospheric and oceanic technology*, 10(6), pp.785-797.
- Escalona, M.J., Torres-Zenteno, A., Gutierrez, J., Martins, E., Torres, R.D.S. and Baranauskas, M.C.C. (2008). *A Development Process for Web Geographic Information System*. ICEIS 2008, pp.112-117.
- Fauzi, C. (2020). *Pengembangan Sistem Informasi Geografis Menggunakan YWDM Dalam Perencanaan Tata Ruang*. *J-SAKTI (Jurnal Sains Komputer dan Informatika)*, 4(2), pp.598-607.
- Hariyanto, T. and Anindito, R. (2019). *Optimalisasi Penyediaan Data Spasial Resolusi Tinggi Dengan*

- Pembangunan Image Map Service (Studi Kasus: Pertambangan Daerah Sumatera)*. Geoid, 14(2), pp.61-68.
- Hemachandra, K., Haigh, R. and Amaratunga, D. (2020), September. Enablers for Effective Multi-hazard Early Warning System: A Literature. In ICSECM 2019: Proceedings of the 10th International Conference on Structural Engineering and Construction Management (Vol. 94, p. 399). Springer Nature.
- Husni, A. (2011). *Rekayasa Dan Optimasi Sistem Informasi Geografis Berbasis Web Untuk Industri Dan Perdagangan Batik Di Kota Pekalongan* (Doctoral dissertation, Universitas Gadjah Mada).
- Kurniawan, T.A. (2018). *Pemodelan Use Case (UML): Evaluasi Terhadap beberapa Kesalahan dalam Praktik*. J. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput, 5(1), p.77.
- Li, S., Dragicevic, S. and Veenendaal, B. eds. (2011). *Advances in web-based GIS, mapping services and applications-WebGIS performance issues and solutions*. pp. 121-138. CRC Press.
- Maskrey, A. (2016). *Monitoring progress in disaster risk reduction in the Sendai framework for Action 2015–2030 and the 2030 sustainable development agenda*.
- Matsueda, M. and Nakazawa, T. (2015). *Early warning products for severe weather events derived from operational medium-range ensemble forecasts*. Meteorological applications, 22(2), pp.213-222.
- Pulkkinen, S., Nerini, D., Pérez Hortal, A.A., Velasco-Forero, C., Seed, A., Germann, U. and Foresti, L. (2019). *Pysteps: an open-source Python library for probabilistic precipitation nowcasting (v1. 0)*. Geoscientific Model Development, 12(10), pp.4185-4219.
- Woo, W.C. and Wong, W.K. (2017). Operational application of optical flow techniques to radar-based rainfall nowcasting. Atmosphere, 8(3), p.48.