

INFORMASI PERAMALAN BANJIR MENGGUNAKAN DATA HUJAN DARI SATELIT

(FLOOD FORECASTING INFORMATION USING RAIN DATA FROM SATELLITES)

Pian Sopian Amsori ¹⁾ Tasya Asyantina ²⁾ Radhika ³⁾

^{1,2,3)} Balai Hidrologi dan Tata Air, Pusat Litbang Sumber Daya Air, Jl. Ir. H Juanda No. 193 Bandung, Jawa Barat, Indonesia 40135

e-mail: amsori@gmail.com, tasyaasyantina@yahoo.co.id, radhika@yahoo.com

ABSTRAK

Bencana banjir merupakan salah satu bencana alam yang selalu terjadi di berbagai wilayah di Indonesia. Salah satu penyebabnya adalah curah hujan yang tinggi yang kerap terjadi di seluruh wilayah di Indonesia. Guna meminimalkan kerugian akibat bencana tersebut, maka perlu di buat sistem informasi peramalan banjir yang disebar luaskan kepada para pemangku kepentingan terkait di setiap wilayah pengelolaan sumber daya air yang dibatasi oleh wilayah sungai. Makalah ini menyajikan sistem informasi peringatan dini banjir yang menginformasikan potensi banjir sampai dua hari ke depan, dengan menggunakan input berupa data statis (peta kerentanan sosial-ekonomi, peta rawan banjir dan peta kemiringan lahan) dan data dinamis (hujan TRMM dan data forecasting). Metode yang digunakan adalah dengan cara menumpangtindihkan data statik dan dinamik pada perangkat lunak FEWS (Flood Early Warning System) dan dengan batasan tertentu dalam penentuan potensi banjir menghasilkan output berupa peta informasi potensi banjir pada setiap wilayah di Indonesia untuk kondisi hari ini sampai dua hari ke depan. Tujuan yang ingin dicapai dari dibangunnya sistem informasi peringatan dini banjir ini adalah untuk menyajikan informasi peringatan dini banjir di Wilayah Indonesia dan hasilnya diharapkan dapat dipakai oleh para pemangku kepentingan dalam menghadapi ancaman terkait banjir di daerahnya.

Kata kunci: Banjir, hujan, satelit, system informasi

ABSTRACT

Flood disaster is one of the natural disasters that always occur in various regions in Indonesia. One of the causes is the high rainfall that often occurs in all regions in Indonesia. In order to minimize the losses caused by the disaster, it is necessary to make information system of flood forecasting that is disseminated to relevant stakeholders in every area of water resources management which is limited by river area. This paper presents a flood early warning information system that informs the potential for floods for up to two days ahead, using inputs in the form of static data (socio-economic vulnerability map, flood hazard map and land slope map) and dynamic data (TRMM rainfall and forecasting data). The method used is to overlay static and dynamic data on FEWS (Flood Early Warning System) software and with certain limitations in determining the potential of flood generating output in the form of map of potential flood information in every region in Indonesia for today condition up to two days ahead. The objective of a flood early warning information system is to present flood early warning information in Indonesian Territory and the result is expected to be used by the stakeholders in facing the flood-related threat in their area.

Keywords: Flood, rainfall, satellite, information system

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang tidak terlepas dengan yang namanya bencana alam. Bencana alam yang terjadi di Indonesia ada yang disebabkan oleh alam dan ada pula yang disebabkan oleh manusia. Apapun bentuknya, bencana alam pasti akan merugikan kita. Masalah ini sudah menjadi topik yang sering diperbincangkan di era modern seperti ini. Walaupun manusia bisa memprediksi kapan terjadinya sebagian dari bencana alam, tapi manusia tidak akan pernah bisa menghentikan bencana alam tersebut. Walaupun bisa memperkecil korban jiwa, kerugian yang dirasakan cukuplah besar (Ginting and Van Loeneon, 2014).

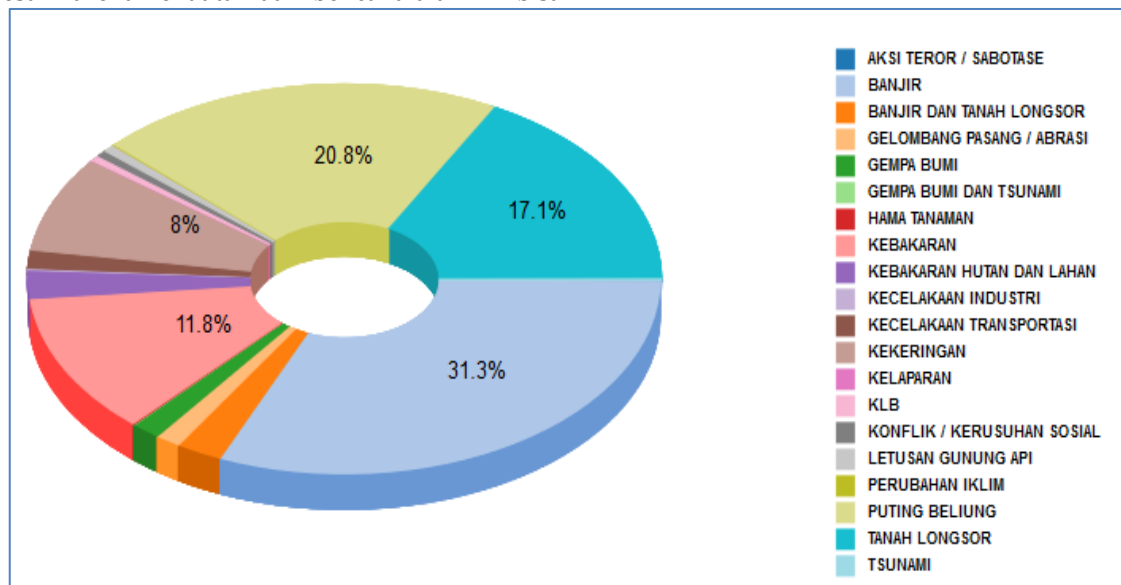
Ada 3 (tiga) jenis bencana alam yang harus kita ketahui, yaitu bencana alam: meteorologi, geologi dan ekstra-terrestrial. Bencana alam meteorologi merupakan bencana alam yang berhubungan dengan iklim atau cuaca. Bencana alam ini pada umumnya tidak terjadi pada suatu tempat yang khusus. Bencana alam meteorologi paling banyak terjadi di seluruh dunia seperti banjir, tanah longsor, dan kekeringan. Kekhawatiran terbesar pada masa modern sekarang ini adalah terjadinya pemanasan global yang dapat mencairkan es di daerah kutub. Hal ini dapat menyebabkan tenggelamnya beberapa daratan atau bahkan pulau-pulau kecil. Bencana Alam Geologi merupakan bencana alam yang terjadi di permukaan bumi. Misalnya gempa bumi, gunung meletus, tanah longsor, dan tsunami. Bencana alam ini memiliki dampak yang begitu besar karena kekuatan dari bencana alam ini bisa

menyapu bersih suatu kota. Bencana alam ekstra-terrestrial merupakan bencana alam yang terjadi di luar angkasa. Bencana ini biasanya diakibatkan oleh datangnya berbagai benda langit seperti asteroid atau bahkan gangguan dari badai matahari (Sumber: <http://sahabatnesia.com>).

Diantara kondisi alam yang mendukung terjadinya bencana yang disebabkan olehnya adalah curah hujan yang tinggi, posisi Indonesia yang terletak pada jalur subduksi lempeng tektonik, terdapatnya banyak gunungapi aktif, pola struktur geologi aktif, serta kemungkinan interaksi akibat bencana alam dan ulah manusia, seperti: adanya degradasi lingkungan, pemanfaatan dan pengolahan sumberdaya alam yang tidak tersistematik dan terencana dan sebagainya.

BNPB dalam situs resminya merilis berbagai macam kejadian bencana di Indonesia yang sering terjadi dari tahun 1900 s/d 2016 dan memprosentasekannya seperti pada Gambar 1 (BNPB, 2017).

Berdasarkan Gambar 1 dapat dilihat bahwa bencana banjir merupakan kejadian bencana yang paling besar (31,3 %) dibandingkan dengan kejadian-kejadian lainnya dan ini menandakan bahwa bencana banjir seolah tak pernah lepas di Indonesia setiap kali musim hujan. Banjir di Jakarta, Semarang dan Bojonegoro sudah terkenal selama ini jadi masalah tahunan saat musim hujan datang. Media mengulas bencana banjir seperti sudah biasa terjadi, padahal bagi warga yang terkena imbas banjir, mereka mengalami musibah yang sangat merugikan.



Sumber: BNPB

Gambar 1 Kejadian Bencana di Indonesia dari Tahun 1900 s/d 2016

Kondisi yang dihadapi saat ini terkait bencana banjir yang menjadi permasalahan adalah belum tersedianya informasi yang lengkap tentang bencana banjir dan tanah longsor sebagai akibat dari kurangnya peran institusi ke-PUPR-an dalam menyikapi bencana banjir lebih dini. Hal-hal tersebut disebabkan karena adanya keterbatasan dasar pemahaman akan pengetahuan banjir sehingga diagnosis sebab akibat menggunakan rumusan umum yang bersifat tunggal. Padahal kenyataannya bisa bersifat multi sebab. Kekakuan atau kurang lenturnya penjabaran tupoksi institusi dalam menyikapi masalah. Selain itu disebabkan pula oleh lemahnya koordinasi sistem wilayah kerja dengan wilayah permasalahan yang bersifat Daerah Aliran Sungai (DAS) sehingga melemahkan koordinasi antar institusi dalam memformulasikan masalah dalam suatu wilayah kerja. Oleh karena itu, maka perlu dibuat suatu sistem sederhana yang dapat menginformasikan rawan banjir yang dilakukan pada setiap pengelola sumber daya air.

Satgas (satuan tugas) banjir merupakan suatu sistem informasi yang dapat menyajikan informasi daerah yang berpotensi banjir. Satgas banjir ini mengambil istilah dari satuan tugas yang dikelola oleh Balai Litbang Hidrologi dan Tata Air, Puslitbang Sumber Daya Air yang bertanggung jawab terhadap pemberian informasi daerah yang berpotensi banjir. Satgas banjir ini memiliki komponen-komponen: *input*, proses dan *output*. Komponen *input* berupa data statis (peta kerentanan sosial ekonomi, peta rawan banjir dan peta kemiringan lahan) dan data dinamis (hujan TRMM dan data *forecasting*). Komponen proses berupa perangkat lunak FEWS (*Flood Early Warning System*) yang akan melakukan proses tumpang tindih atau *overlay* terhadap data-data *input*. Komponen *output*, berupa peta potensi banjir (peringatan dini banjir) di seluruh wilayah Indonesia. Metodologi dari satgas banjir yaitu melakukan proses *overlay* terhadap data-data *input*, sistem melakukan penyaringan atau batasan penentuan potensi banjir dan *output* berupa peringatan dini banjir atau potensi banjir pada suatu daerah pada *level* kabupaten. Tujuan yang ingin dicapai dari dibangunnya sistem informasi satgas banjir yaitu untuk menyajikan peringatan dini banjir dan menginformasikannya kepada *stakeholder* daerah rawan banjir dan masyarakat.

TINJAUAN PUSTAKA

Konsep Sistem Peringatan Dini Banjir

Peramalan banjir merupakan bagian penting dari manajemen banjir, karena tidak ada ukuran pencegahan ataupun pertahanan yang lebih efektif. Peramalan juga akan menjadi bagian dari perencanaan dan pengembangan pengelolaan strategi banjir (WMO, 2011).

Meminimalkan kerugian yang disebabkan oleh banjir merupakan tujuan dari dibangunnya sistem peringatan dini banjir. Sistem ini dikembangkan dengan menggunakan beberapa kemajuan bidang ilmu terkait sehingga memungkinkan dapat memprakirakan besarnya banjir yang mungkin terjadi beberapa hari ke depan serta daerah genangannya. Teknologi tersebut adalah *Flood Early Warning System* (FEWS) dengan memanfaatkan berbagai *input* data secara *real time* maupun data prakiraan beberapa hari ke depan (Ginting, dkk, 2014).

Untuk melakukan peringatan dini banjir (*flood early warning*) terdapat beberapa tahapan untuk dapat tercapainya hasil secara efektif. Tahapan-tahapan tersebut antara lain (Werner and Kwadijk, 2005):

Detection, tahapan ini, data tepat waktu (*real time*) di monitor dan di proses untuk mendapatkan informasi tentang banjir yang mungkin terjadi. Informasi tersebut selanjutnya diteruskan untuk melakukan peringatan (*warning*) tanpa melalui *forecasting*. Pada tahapan ini diperlukan juga filter terhadap data yang ada karena data yang diperoleh dari lapangan belum tentu memiliki kualitas yang baik.

Forecasting, tahapan ini dilakukan prakiraan terhadap curah hujan, tinggi muka air atau debit aliran banjir serta waktu datangnya banjir tersebut. Dengan diketahuinya kejadian banjir tersebut maka dapat diteruskan untuk melakukan peringatan (*warning*).

Warning dan dissemination, tahapan ini merupakan faktor kunci sukses dalam sistem peringatan dini banjir (*flood early warning*). Tahapan ini menggunakan informasi yang diperoleh dari tahapan *detection* ataupun *forecasting*. Pihak yang bertanggung jawab menyebarluaskan informasi tersebut untuk dapat meminimalisasi resiko yang ditimbulkannya.

Response, tanggap terhadap isu peringatan banjir, dan hal ini merupakan yang sangat penting untuk tercapainya tujuan pelaksanaan peringatan dini banjir. Jika tujuan dari peringatan dini banjir adalah untuk mengurangi kerugian materil maupun non materil, maka diperlukan personil yang tanggap secara cepat dan tepat dalam melakukan evakuasi apabila banjir benar-benar terjadi. Tahapan-tahapan tersebut dapat diilustrasikan melalui diagram seperti dapat dilihat pada Gambar 2.

Pada tahapan *detection* perlu mempertimbangkan berbagai kemungkinan data yang dapat digunakan untuk melakukan prakiraan banjir (Ginting, 2013). Untuk sistem satgas banjir, berbagai data bisa digunakan seperti: The European Centre for Medium-Range Weather

Forecasts (ECMWF) merupakan prakiraan hujan selama 10 hari ke depan, Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) merupakan data satellite monitoring real time, data statis (peta kerentanan sosial ekonomi, rawan banjir dan kemiringan lahan). Penggunaan dari berbagai data tersebut diperuntukkan bagi sistem peringatan dini banjir (satgas banjir) untuk menghasilkan prediksi banjir hari ini sampai dua hari ke depan.

Konsep Dasar DELFT-FEWS

Sejak diperkenalkan pada tahun 2002/2003, platform DELFT-FEWS ini melakukan proses *forecasting* di lebih dari 40 pusat operasional. Dalam hal ini telah digunakan untuk menghubungkan data dan model secara *real time*, menghasilkan prakiraan setiap hari. Dalam beberapa kasus, ini membentuk blok bangunan dari sistem peramalan nasional di seluruh negara dengan menggunakan teknologi *client-server* terdistribusi. Dalam kasus lain, hal itu diterapkan pada skala yang jauh lebih kecil di sebuah komputer sederhana, yang menyediakan perkiraan untuk satu cekungan. Fleksibilitas perangkat lunak dalam integrasi model dan data terbuka juga sangat menarik bagi komunitas riset terkait DELFT-FEWS ini (Werner et al, 2012).

Sistem peramalan banjir DELFT-FEWS menyediakan *framework* arsitektur terbuka, yang memungkinkan user dapat memodifikasi sistem tersebut. Melalui struktur modularnya, dan dukungan terbuka, antarmuka yang *user friendly*, sistem dapat dengan mudah diperluas dan diubah untuk bisa menyertakan berbagai macam format dan model data (Werner and Van Dijk, 2005).

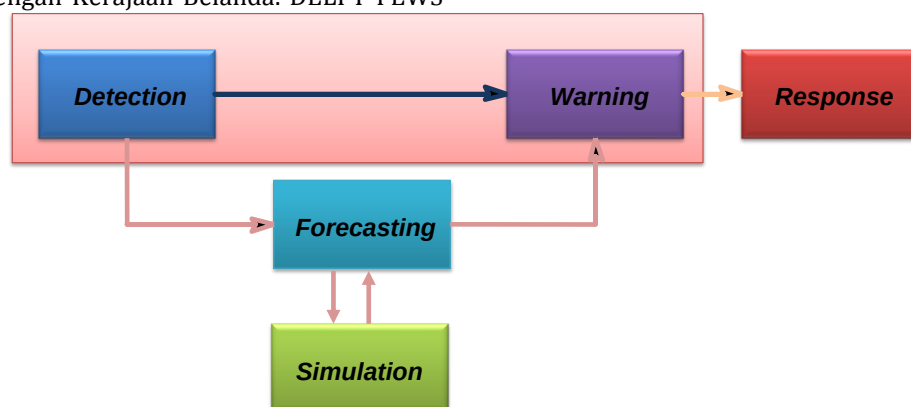
DELFT-FEWS merupakan sebuah perangkat lunak yang dikembangkan oleh Deltares bekerjasama dengan Puslitbang Sumber Daya Air melalui wadah kegiatan JCP (*joint cooperation programme*) antara Pemerintahan Republik Indonesia dengan Kerajaan Belanda. DELFT-FEWS

awalnya dikembangkan dalam menanggapi perkembangan peramalan dan peringatan dini banjir, menyediakan koleksi cangkup modul generik dirancang untuk membangun sistem disesuaikan dengan kebutuhan spesifik dari setiap instansi. Selama lebih dari 10 tahun pembangunannya yang sistemnya bersifat fleksibel yang menyertakan aplikasi untuk sumber daya air, peramalan kekeringan, peramalan kualitas air dan pengendalian secara tepat waktu (*real time*) (Deltares, 2009).

Filosofi dari DELFT-FEWS adalah untuk menyediakan sistem kerangka terbuka untuk mengelola proses peramalan. DELFT-FEWS menggabungkan berbagai data umum yang diperlukan untuk peramalan banjir, sambil memberikan *interface* terbuka untuk setiap model eksternal yang akan diintegrasikan dengannya. Sifat modular dan sangat mudah dikonfigurasi dari DELFT-FEWS memungkinkan untuk digunakan secara efektif, baik dalam sistem yang sederhana dan dalam sistem yang sangat kompleks dengan memanfaatkan berbagai pemodelan hidrologi dan hidraulik. DELFT-FEWS dapat digunakan dalam lingkungan yang berdiri sendiri, yang digerakkan secara manual, atau dalam lingkungan yang terdistribusi sepenuhnya secara otomatis berupa *client-server* (Ginting and Putuhena, 2014).

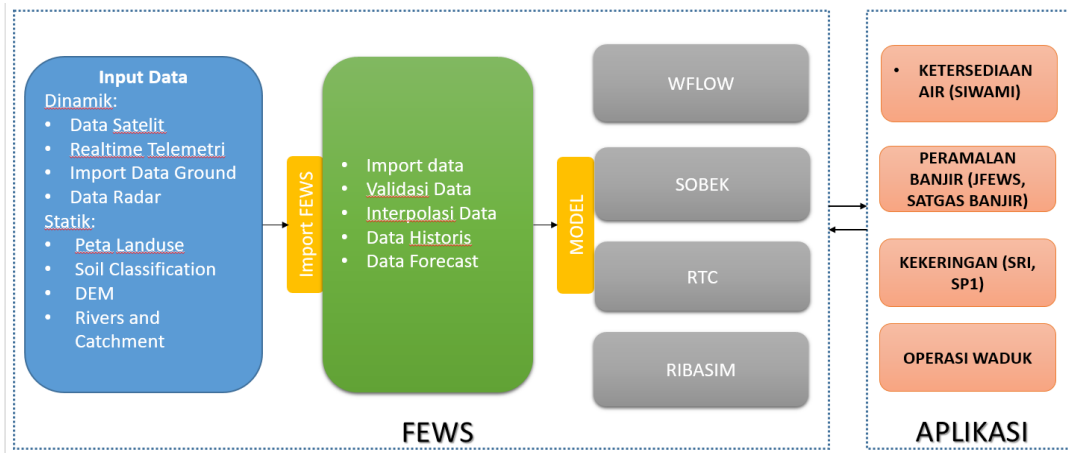
Konsep dari DELFT-FEWS diilustrasikan pada Gambar 3. Pada gambar tersebut menunjukkan alur pikir dari sistem DELFT-FEWS yang terdiri dua proses yaitu proses FEWS dan aplikasi. Pada proses FEWS terjadi proses *input* data (data dinamis ataupun data statis), proses pengolahan data (import, validasi, interpolasi, pengolahan data historis dan data *forecast*) serta tambahan model pendukung (WFLOW, Sobek, RTC, Ribasim, dll).

Pada proses aplikasi, merupakan tahapan pengaplikasian model FEWS sesuai dengan peruntukannya (aplikasi ketersediaan air, peramalan banjir, kekeringan dan operasi waduk).



Sumber: Ginting, 2014

Gambar 2 Konsep Flood Early Warning System (FEWS)



Sumber: Puslitbang SDA, 2017

Gambar 3 Konsep dari Perangkat Lunak DELFT-FEWS

J-FEWS (Jakarta Flood Early Warning System)

Jakarta Flood Early Warning System (J-FEWS) merupakan suatu sistem peramalan dini banjir di Jakarta. Sistem peringatan dini banjir yang terdapat di Jakarta saat ini khususnya untuk DAS Ciliwung dan sungai-sungai yang melintasi Jakarta telah terbentuk. Sistem ini saat ini dikelola oleh BBWS (Balai Besar Wilayah Sungai) Ciliwung-Cisadane dan Dinas PU DKI Jakarta. Konsep sistem peringatan dini banjir yang ada saat ini hanya mengandalkan muka air Katulampa dan beberapa muka air yang ada di hilirnya. Dengan diketahuinya muka air tersebut, maka dalam beberapa jam kemudian akan dapat memperkirakan kejadian banjir di Jakarta (Ginting, 2014).

Pengembangan J-FEWS untuk prakiraan banjir dan peringatan dini di Jakarta, menggunakan berbagai sumber data sebagai input untuk proses perhitungan hidrodinamik sungai (Ginting, 2014).

Data yang digunakan sebagai input untuk J-FEWS adalah sebagai berikut:

a) Data Real Time

Data tepat waktu adalah data yang termonitoring pada saat ini, digunakan untuk memodelkan suatu kondisi dan hasilnya pada saat yang sama, dibandingkan dengan kondisi di lapangan pada beberapa titik yang dijadikan acuan.

Data *real time* yang digunakan dalam J-FEWS bersumber dari: *satellite*, radar, dan *ground stations*. Data yang diperoleh dari satelit yaitu *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), Radar dari BPPT, dan *ground stations* diperoleh dari berbagai instansi seperti *Automatic Weather Station* (AWS) dari BMKG, Pos Hujan dan Pos Duga Air yang dilengkapi dengan sistem pengiriman data tepat waktu (telemetry) dari Kementerian PU dan Dinas PUDKI.

b) Data Forecasting

Data *Forecasting* (prakiraan) adalah data hidro-klimatologi yang diperoleh dari prakiraan global dengan menggunakan *Numerical Weather Prediction* untuk memodelkan gambaran kondisi iklim pada masa mendatang. Adapun data prakiraan yang digunakan dalam J-FEWS adalah prakiraan data hujan yang dikembangkan oleh Australia yaitu *Access-A* (Australia) dengan ukuran grid sekitar 12 km, *Access-T* (*Tropical*) dengan ukuran grid 37,5 km, ECWMF oleh Eropa dengan ukuran grid sekitar 13 km, dan aplikasi C-CAM yang dikembangkan oleh BMKG dengan ukuran grid 3 km dan hanya terbatas pada wilayah Jakarta dan sekitarnya. Sementara untuk data prakiraan tinggi muka air laut menggunakan hasil *Astronomical Tide Model* dan *South China Sea Model*.

Untuk dapat melakukan prakiraan banjir, maka terlebih dahulu dibangun model hidrologi dan hidraulik di sungai yang masuk ke Jakarta. Model yang digunakan dan *output* yang dihasilkan diharapkan dapat melakukan prakiraan banjir. Dalam membangun model tersebut, berbagai infrastruktur ke-air-an yang terdapat di sungai diikutsertakan dalam model sehingga diharapkan dapat lebih menyerupai kondisi sebenarnya. Model hidrologi berperan dalam melakukan simulasi hujan menjadi limpasan, dan limpasan tersebut akan dirambatkan secara hidraulik untuk mengetahui muka air yang terjadi di sungai dan genangannya (Putuhena dan Ginting, 2013).

JFEWS mengintegrasikan berbagai model yang sudah dikonfigurasi dalam Toolbox Delft-FEWS. Model-model tersebut adalah: *South China Sea Model* yang meramalkan arah dan besarnya arus yang terjadi dengan menggunakan Delft3D, yang pada akhirnya mempengaruhi pasang surut air laut di Teluk Jakarta.

Astronomical Tide, Model pasang surut untuk meramalkan tinggi muka air laut di Teluk Jakarta.

Hydraulic and Hydrologic Model (SOBEK) yang digunakan untuk merubah data hujan (*real time* dan *forecast*) yang jatuh di seluruh DAS Jakarta (13 sungai) menjadi aliran sungai dan genangan (Putuhena dan Ginting, 2013).

Numerical Weather Prediction (NWP) adalah model untuk prakiraan hujan yang dikembangkan oleh Badan Meteorologi seperti Australia, Eropa dan Indonesia.

J-FEWS yang telah dibangun melakukan akuisisi data secara online dari berbagai sumber, dan secara otomatis menjalankan program hidrologi dan hidraulik secara berkala untuk melihat prakiraan banjir. *Output* dari J-FEWS ini berupa prakiraan hujan, prakiraan muka air dan debit sungai, prakiraan muka air laut, *monitoring* radar, *monitoring* hujan di *ground stations* dan prakiraan genangan banjir (Ginting, 2014).

METODOLOGI

Metode Penentuan Potensi Banjir

Metodologi yang digunakan dalam penentuan potensi banjir pada suatu wilayah, dilakukan dalam wadah Sistem Informasi Satgas Banjir dengan komponen-komponen sebagai berikut:

- 1 *Input*, berupa data statis (peta kerentanan sosial-ekonomi, peta rawan banjir dan peta kemiringan lahan) dan dinamis (hujan TRMM dan data *forecasting*).
- 2 Proses, yaitu perangkat lunak FEWS melakukan *overlay* terhadap data-data masukan (*input*) dan dengan menerapkan pembobotan dalam menentukan daerah potensi banjir sesuai dengan batasan tertentu. Pembobotan yang dilakukan yaitu: a) kategori aman, bila nilainya: 11,12, 13; b) kategori

rawan, bila nilainya: 21, 22, 23; dan c) kategori sangat rawan, bila nilainya: 31, 32,33.

- 3 *Output*, berupa peta potensi banjir (peringatan dini banjir) di seluruh wilayah Indonesia. Diinformasikan ke *stakeholder* terkait.

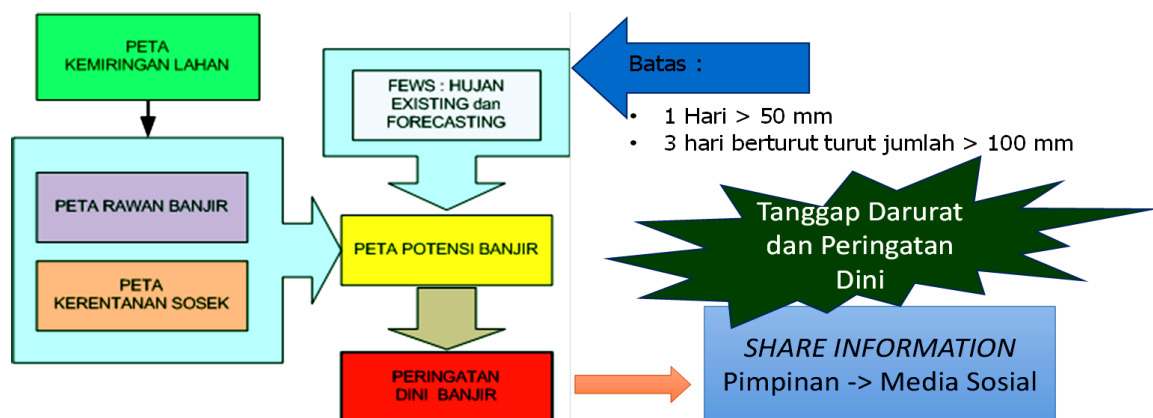
Metodologi sistem informasi satgas banjir tersebut disajikan pada Gambar 4. Data statis (peta kerentanan sosial ekonomi, peta rawan banjir dan peta kemiringan lahan) merupakan data yang tidak *real time* (tetap), sedangkan data dinamis (hujan TRMM dan data *forecasting*) merupakan data *real time* yang berubah tiap waktu. Yang menjadi batasan (*threshold*) dalam penentuan suatu daerah itu berpotensi banjir atau tidak adalah apabila besaran curah hujan 1 hari > 50 mm atau hujan 3 hari berturut-turut > 100 mm.

Namun perlu menjadi catatan adalah bahwa kondisi satu wilayah dengan wilayah lain akan berbeda meskipun apabila curah hujannya besar. Hal ini karena tergantung dari parameter-parameter lainnya yaitu peta kerentanan sosial ekonomi, kemiringan lahan dan peta rawan banjir.

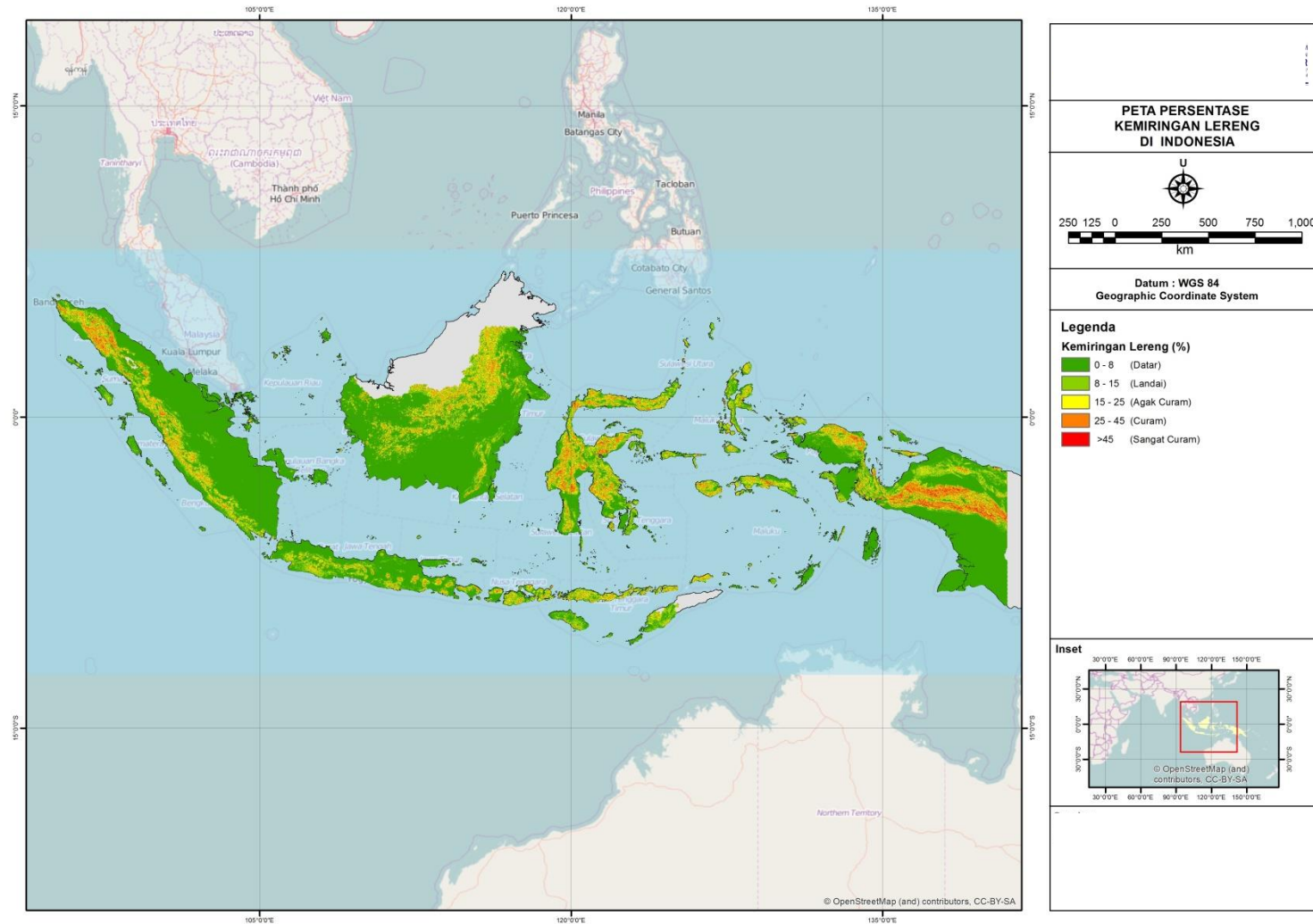
Peta Kemiringan Lahan

Peta kemiringan lahan merupakan salah satu data statis yang digunakan pada sistem informasi satgas banjir. Data ini diperoleh dari Badan Informasi Geospasial dan disajikan pada Gambar 5.

Peta ini berisikan informasi terkait sebaran kemiringan lahan dengan klasifikasi: datar, landai, agak curam, curam dan sangat curam. Pada Gambar 5 terlihat bahwa prosentase sebaran kemiringan lahan yang berwarna kuning sampai merah menandakan sebaran daerah yang memiliki kemiringan yang cukup besar dan ini dapat menjadi salah satu potensi terjadinya bahaya banjir maupun longsoran.



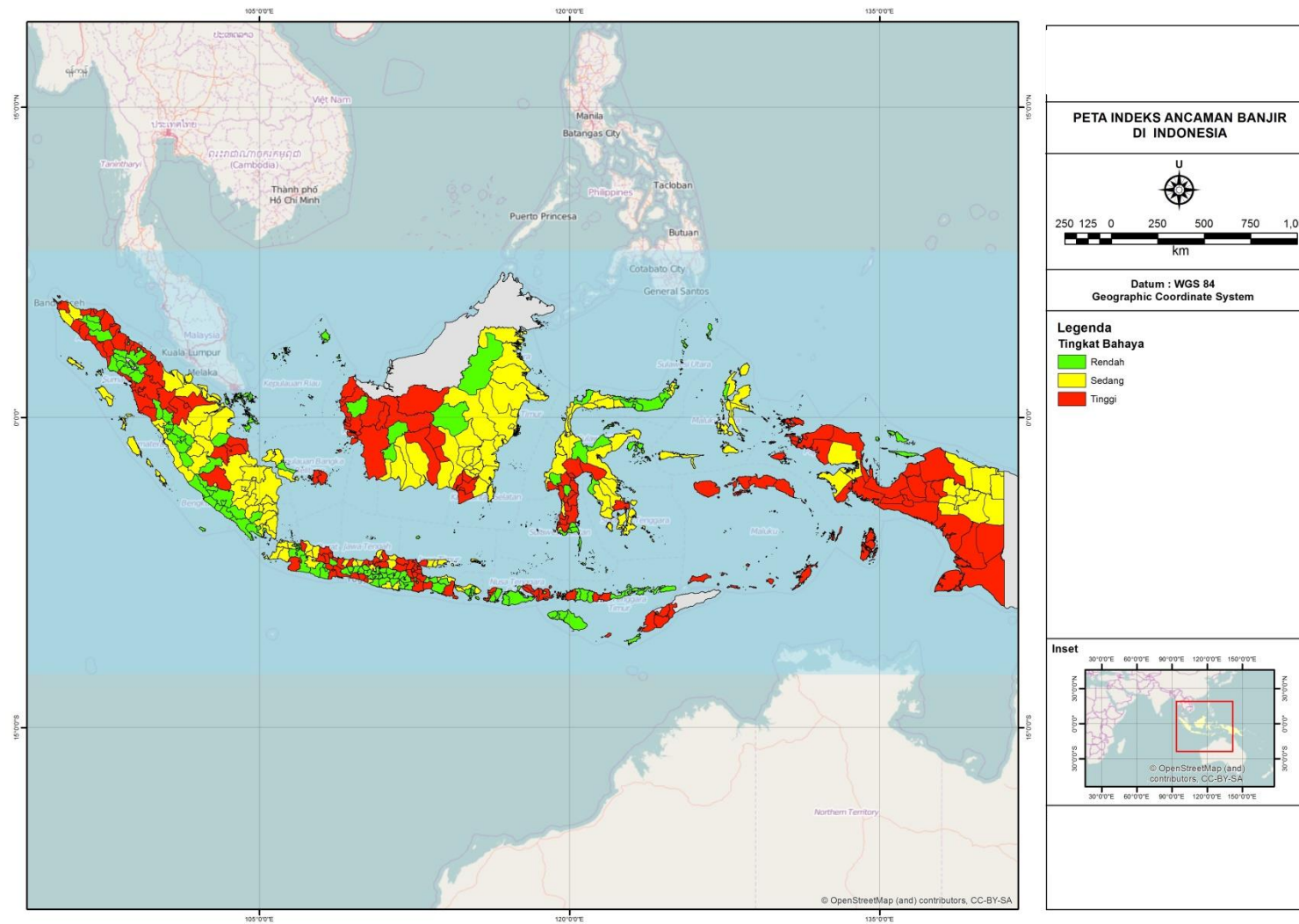
Gambar 4 Metodologi Sistem Informasi Satgas banjir



Sumber:

1. SRTM 90 m USGS
2. Peta WS GIS Kepres No. 12 tahun 2012

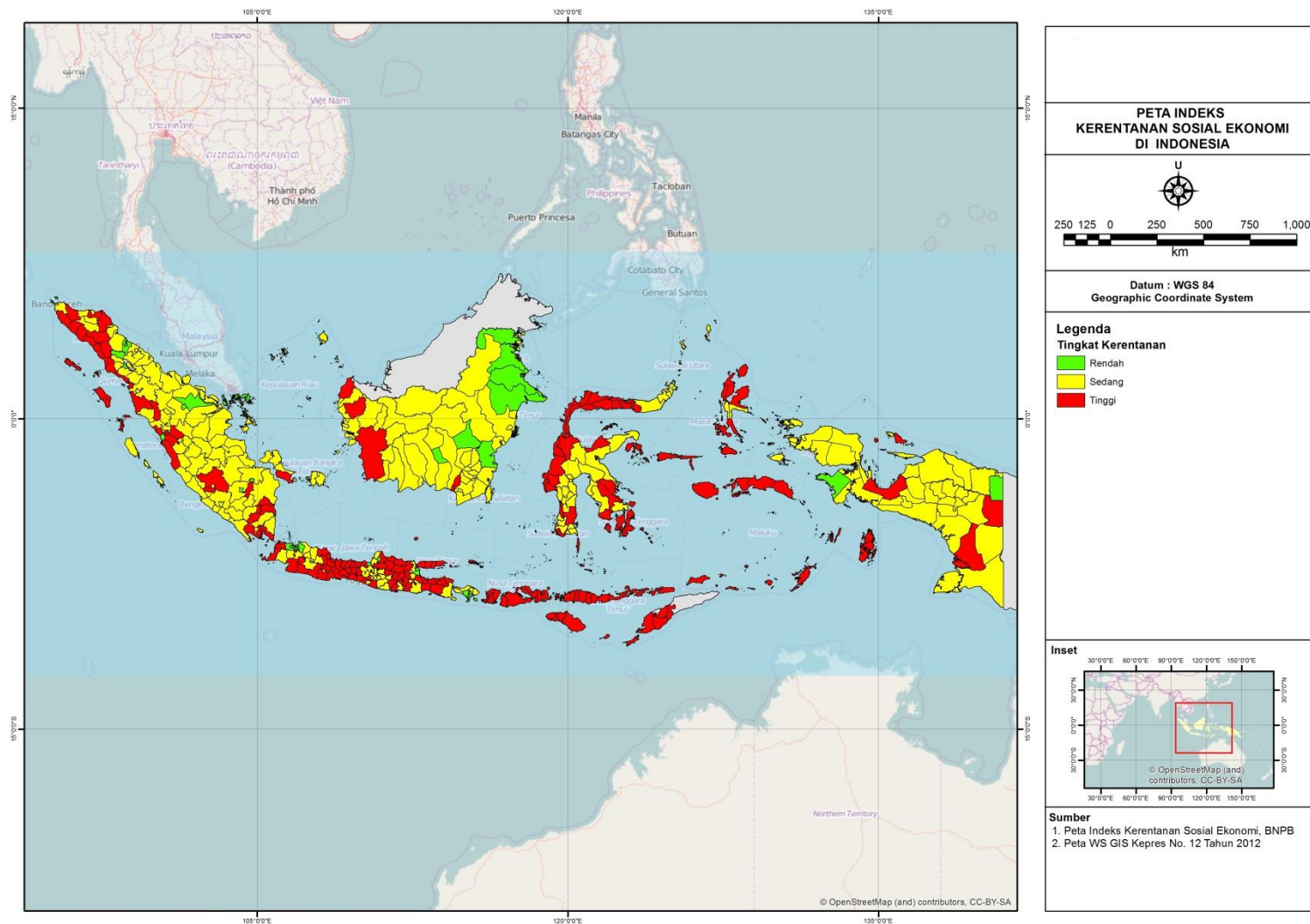
Gambar 5 Peta Kemiringan Lahan di Indonesia



Sumber:

1. Peta Indeks Ancaman Banjir di Indonesia, BNPB
2. Peta WS GIS Kepres No. 12 tahun 2012

Gambar 6 Peta Rawan Banjir di Indonesia



Sumber:

1. Peta Indeks Kesehatan Sosial Ekonomi, BNPB
2. Peta WS GIS Kepres No. 12 tahun 2012

Gambar 7 Peta Kerawanan Sosial-Ekonomi di Indonesia

Peta Rawan Banjir

Peta kerawanan banjir merupakan salah satu data statis yang digunakan pada sistem informasi satgas banjir dan diperoleh dari BNPB. Peta tersebut disajikan pada Gambar 6. Peta tersebut berisi informasi sebaran tingkat kerawanan terhadap bahaya banjir dan diklasifikasikan ke dalam 3 (tiga) kelompok, yaitu tingkat kerawanan rendah, sedang dan tinggi. Pada Gambar 6 terlihat bahwa sebaran kerawanan tinggi adalah daerah yang berwarna merah, warna kuning menandakan tingkat kerawanan sedang dan warna hijau dengan tingkat kerawanan rendah.

Peta Kerentanan Sosial-Ekonomi

Peta kerentanan sosial-ekonomi digunakan sebagai *input* dari sistem informasi satgas banjir dan diperoleh dari BNPB. Peta ini merupakan salah satu data statis yang digunakan pada sistem informasi satgas banjir. Peta ini disajikan pada Gambar 7. Pada peta tersebut diklasifikasikan tiga jenis tingkat kerawanan sosial-ekonomi yaitu rendah, sedang dan tinggi. Tingkat kerawanan rendah berwarna hijau, sedang berwarna kuning dan warna merah menunjukkan tingkat kerawanan sosial-ekonomi tinggi.

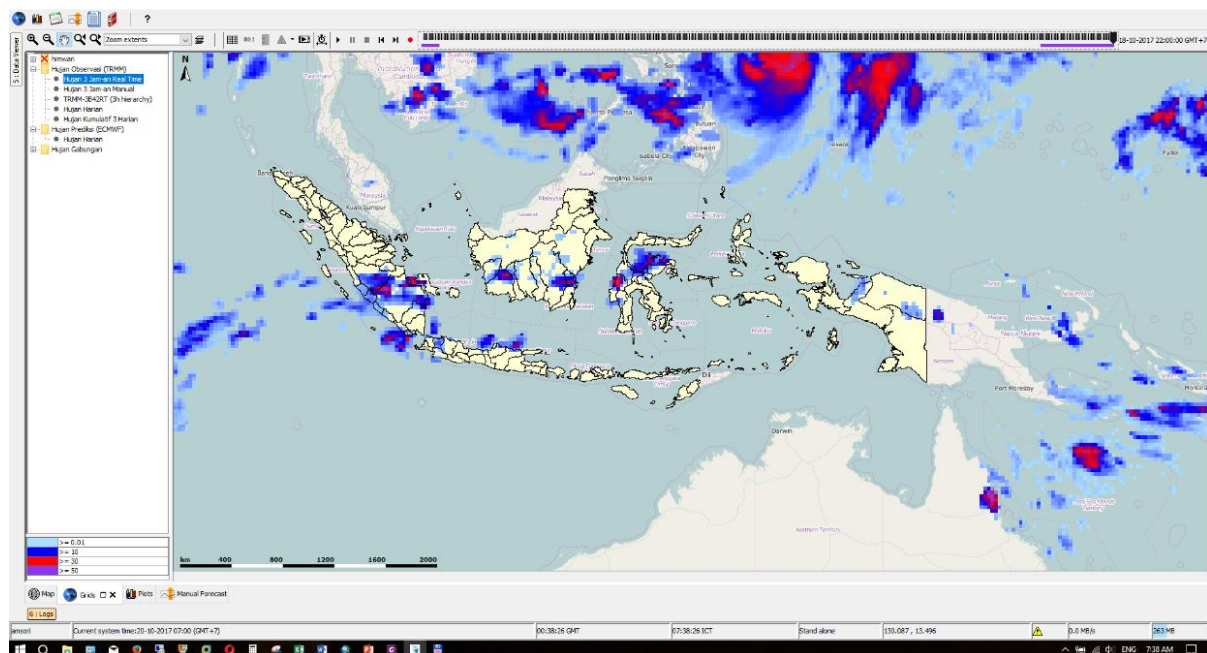
Prakiraan Hujan (*Forecasting*)

Data prakiraan hujan merupakan salah satu *input* yang sangat diperlukan dalam melakukan

peramalan dini banjir dan merupakan jenis data dinamis yang *diupdate* setiap periode tertentu (setiap 3 hari sekali). Data ini diperoleh dari BMKG dan berupa data *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) yang berisikan informasi prakiraan hujan sampai 32 hari ke depan. di seluruh wilayah Indonesia. Namun, tentu saja semakin jauh rentang harinya maka akan semakin kecil probabilitas prakiraan hujan yang terjadinya. Dalam sistem informasi satgas banjir ini, data prakiraan hujan *diupdate* seminggu dua kali untuk mendapatkan prakiraan-prakiraan hujan yang terkini. Pada Gambar 8 diperlihatkan contoh data curah hujan prediksi ECMWF untuk tanggal 20 Oktober 2017 dan prediksi 10 hari ke depan (hingga tanggal 30 Oktober 2017).

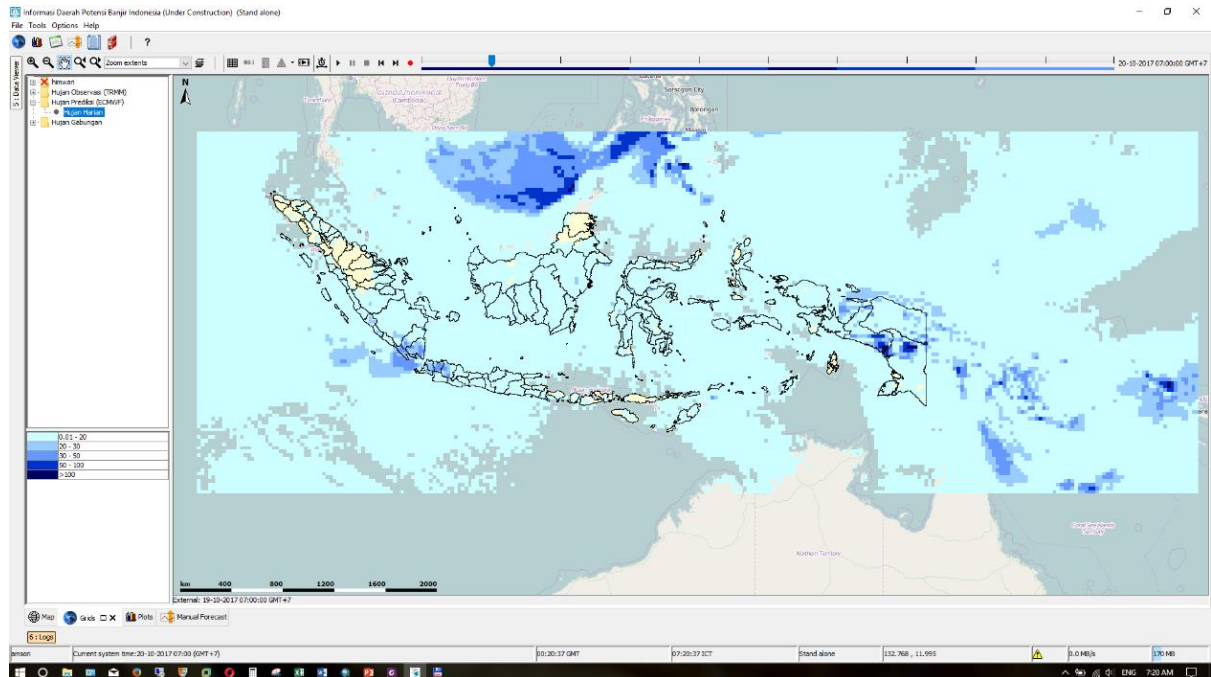
Curah Hujan Satelit *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM)

Pada sistem informasi satgas banjir, *input* dinamis lainnya yaitu data *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) dari satelit (Gambar 9) dengan ukuran grid 28 x 28 km atau 0,25 derajat x 0,25 derajat. Satelit TRMM mampu mengukur intensitas curah hujan mulai dari skala tiga jam-an, harian sampai bulanan (Syaifullah, 2011). Untuk keperluan sistem informasi satgas banjir, data yang digunakan adalah data 3 jam -an.



Sumber: BMKG

Gambar 8 Data Prakiraan Hujan (ECMWF) dari BMKG



Sumber: Data Curah Hujan Satelit TRMM

Gambar 9 Data TRMM dari Satelit Tamggal 19 Oktober 2017

Data satelit digunakan karena sangat sulit untuk mendapatkan data *ground station* di seluruh wilayah Indonesia. Data satelit TRMM ini sangat mudah didapatkan, hanya saja resolusinya masih kasar. Namun demikian, koreksi data satelit TRMM agar sesuai dengan data *ground-station* di Indonesia telah dibahas oleh Vernimmen et al (2012) dan menunjukkan adanya korelasi yang cukup akurat dengan data *ground station*. Validasi data TRMM terhadap data curah hujan di DAS Citarum, DAS Brantas dan DAS Larona telah dibahas oleh Syaifullah (2014) dengan hasil bahwa data bulanan berkorelasi erat dan memiliki pola yang sama dengan data pengamatan konvensional. Data curah hujan satelit ini pada prosesnya digabungkan dengan data prakiraan hujan ECMWF untuk menghasilkan data hujan gabungan harian (Gambar 10) maupun data 3 (tiga) harian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

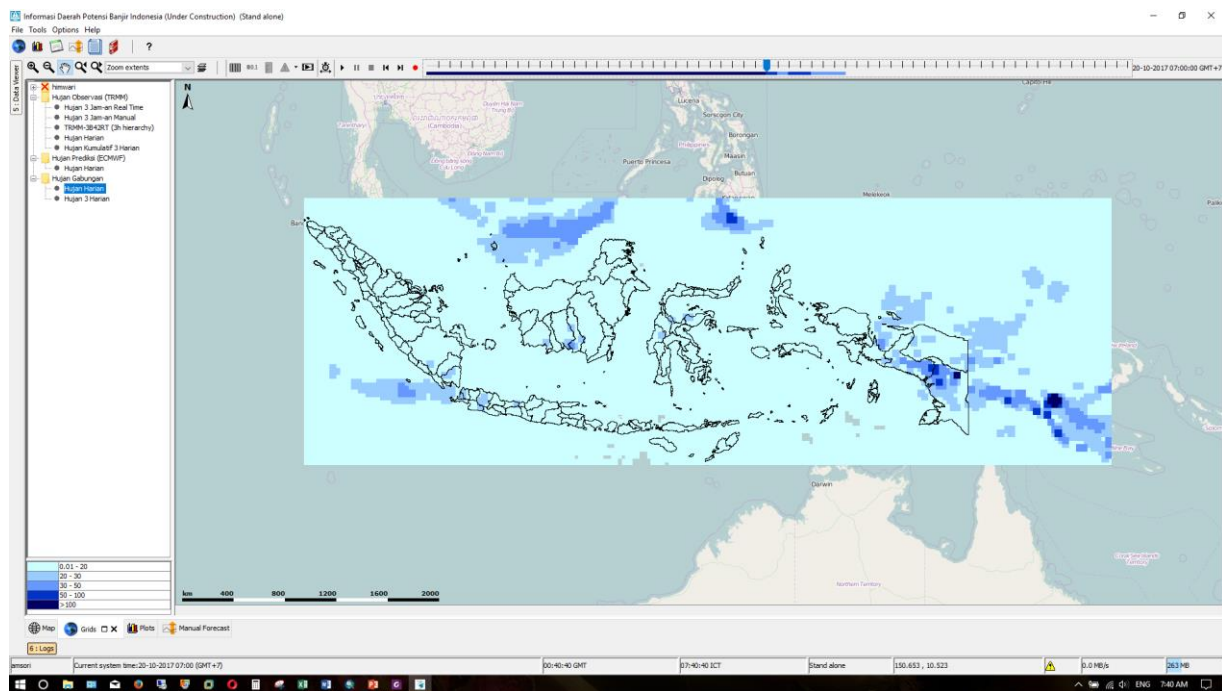
Sistem informasi satgas banjir melakukan serangkaian proses-proses dengan cara membuat *overlay* peta rawan banjir dan peta kerentanan sosial ekonomi dan membaginya ke dalam 3 kelas, yaitu normal, rawan dan sangat rawan. Setelah itu hujan TRMM dengan format data raster diubah menjadi *polygon* yaitu dengan cara dibuat per wilayah sungai dan per kabupaten berdasarkan pemangku kepentingannya. Pada perangkat lunak

DELFT-FEWS berdasarkan data-data masukan (dinamis dan statis) sehingga menghasilkan keluaran berupa peta prediksi banjir hari ini sampai dua hari ke depan (besok dan lusa). Keluaran yang dihasilkan merupakan prediksi banjir dalam skala kabupaten dan ke depannya akan ditingkatkan sehingga bisa melakukan prediksi pada tingkat kecamatan atau desa. Pada Gambar 11 diperlihatkan hasil-hasil dari peramalan dini banjir. Terdapat tiga buah tanda yang menginformasikan kondisi di daerah tersebut. Tanda bulat hijau menandakan bahwa daerah tersebut masih dianggap relatif aman dari bahaya banjir. Untuk tanda segitiga kuning menandakan bahwa daerah tersebut terindikasi berpotensi rawan banjir. Potensi rawan banjir ini dikarenakan pada daerah tersebut, kondisi curah hujan hariannya > 50 mm atau kumulatif tiga hariannya > 100 mm. Tanda segitiga merah menandakan bahwa daerah tersebut terindikasi sangat rawan banjir dan perlu adanya kewaspadaan tinggi pada daerah tersebut karena dianggap bahwa curah hujan hariannya >100 mm atau kumulatif curah hujan hariannya > 200 mm. Untuk para pemangku kepentingan, peringatan dini tersebut seharusnya bisa menjadi acuan dalam mewaspadai akan datangnya bahaya banjir dan bisa menjadi kesiapsiagaan dalam menghadapi datangnya bahaya banjir.

Pada Tabel 1 dan 2 terlihat beberapa daerah yang terindikasi rawan banjir dan sangat rawan banjir. Apabila suatu daerah tidak terindikasi

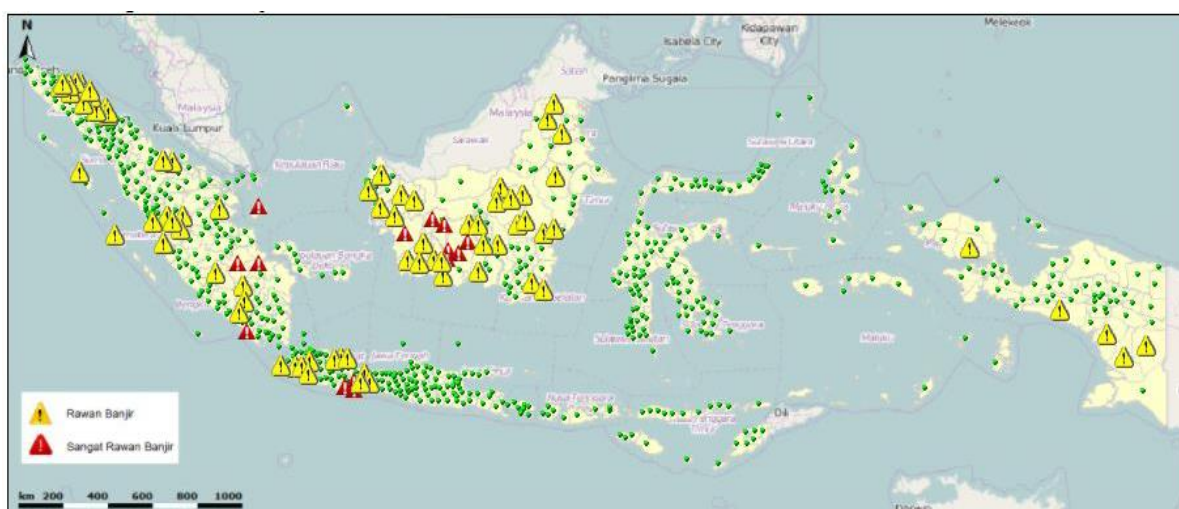
rawan banjir, maka daerah tersebut tidak akan muncul pada tabel peringatan dini banjir, begitu pula sebaliknya. Dalam penentuan status rawan banjir maupun sangat rawan banjir, batasan yang digunakan adalah apabila besarnya curah hujan sebesar >50 mm/hari atau >100 mm kumulatif tiga hari, maka terindikasi rawan banjir seperti yang telah diulas sebelumnya. Pada tabel tersebut terdapat tiga jenis warna yaitu hijau, kuning dan

merah. Untuk warna hijau menandakan bahwa daerah tersebut aman dari bahaya banjir, sedangkan warna kuning adalah kondisi rawan banjir dan warna merah menandakan bahaya banjir sangat tinggi atau sangat rawan banjir. Bagi pemangku kepentingan di daerah, kondisi sangat rawan banjir harus menjadi kewaspadaan tingkat tinggi dalam menghadapi kemungkinan terjadinya banjir di daerahnya.



Sumber: Puslitbang SDA, 2017

Gambar 10 Data Curah Hujan Gabungan TRMM dan Data Hujan Prediksi (ECMWF)



Sumber: Puslitbang SDA, 2017

Gambar 11 Peta Peringatan Dini Banjir tgl 12 Oktober 2017

Tabel 1 Peringatan Dini Banjir Tiap Kabupaten Dalam Wilayah Sungai tgl 12 Oktober 2017

No	Kewenangan Balai	Wilayah Sungai	Kabupaten	Status Hari Ini	Status Besok	Status Besok Lusa
1	BBWS Sumatera VIII	WS MUSI-SUGIHAN-BANYUASIN	KAB BANYUASIN	Sangat Rawan Banjir		
6	BBWS Sumatera VIII	WS MUSI-SUGIHAN-BANYUASIN	KAB MUARAENIM	Rawan Banjir		
8	BBWS Sumatera VIII	WS MUSI-SUGIHAN-BANYUASIN	KAB MUSIBANYUASIN	Sangat Rawan Banjir		
9	BBWS Sumatera VIII	WS MUSI-SUGIHAN-BANYUASIN	KAB MUSIRAWAS	Rawan Banjir		
12	BBWS Sumatera VIII	WS MUSI-SUGIHAN-BANYUASIN	KAB OGAN KOMERING ULU	Rawan Banjir		
13	BBWS Sumatera VIII	WS MUSI-SUGIHAN-BANYUASIN	KAB OGAN KOMERING ULU SELATAN	Rawan Banjir		
31	BBWS Citarum	WS CITARUM	INDRAMAYU	Rawan Banjir		
35	BBWS Citarum	WS CITARUM	SUBANG	Rawan Banjir		
40	BBWS Cimanuk - Cisanggarung	WS CIMANUK-CISANGGARUNG	INDRAMAYU	Rawan Banjir		
55	BBWS Pemali Juana	WS PEMALI-COMAL	BREBES	Rawan Banjir		
126	BBWS Serayu Opak	WS SERAYU-BOGOWONTO	BANYUMAS	Rawan Banjir		
157	BBWS Ciliwung - Cisadane	WS CILIWUNG-CISADANE	BOGOR	Rawan Banjir		
176	BBWS Citanduy	WS CITANDUY	CIAMIS	Sangat Rawan Banjir	Rawan Banjir	
177	BBWS Citanduy	WS CITANDUY	CILACAP	Rawan Banjir		
194	BWS Sumatera I	WS JAMBO AYE	KAB ACEH TENGAH	Rawan Banjir	Rawan Banjir	
195	BWS Sumatera I	WS JAMBO AYE	KAB ACEH TIMUR	Rawan Banjir	Rawan Banjir	
196	BWS Sumatera I	WS JAMBO AYE	KAB ACEH UTARA	Rawan Banjir		
197	BWS Sumatera I	WS JAMBO AYE	KAB BENER MERIAH	Rawan Banjir		
200	BWS Sumatera I	WS ALAS-SINGKIL	KAB ACEH TENGGARA		Rawan Banjir	
207	BWS Sumatera II	WS BELAWAN-ULAR-PADANG	KAB DELISERDANG	Rawan Banjir	Rawan Banjir	
208	BWS Sumatera II	WS BELAWAN-ULAR-PADANG	KAB LANGKAT	Rawan Banjir	Rawan Banjir	
211	BWS Sumatera II	WS BELAWAN-ULAR-PADANG	KOTA MEDAN	Rawan Banjir	Rawan Banjir	
223	BWS Sumatera III	WS ROKAN	KAB BENGKALIS	Rawan Banjir		
228	BWS Sumatera III	WS ROKAN	KAB ROKAN HILIR	Rawan Banjir		
248	BWS Sumatera III	WS INDRAGIRI	KAB INDRAGIRI HILIR	Rawan Banjir		
250	BWS Sumatera III	WS INDRAGIRI	KAB KUANTAN SINGINGI	Rawan Banjir		
252	BWS Sumatera III	WS INDRAGIRI	KAB SAWAHLUNTO / SINJUNJUNG	Rawan Banjir		
259	BWS Sumatera V	WS AKUAMAN	KOTA PADANG	Rawan Banjir		
262	BWS Sumatera VI	WS BATANGHARI	KAB DHARMASRAYA	Rawan Banjir		
268	BWS Sumatera VI	WS BATANGHARI	KAB SAWAHLUNTO / SINJUNJUNG	Rawan Banjir		
283	BWS Kalimantan II	WS MENTAYA-KATINGAN	GUNUNG MAS	Rawan Banjir		
284	BWS Kalimantan II	WS MENTAYA-KATINGAN	KATINGAN	Sangat Rawan Banjir	Rawan Banjir	Rawan Banjir
285	BWS Kalimantan II	WS MENTAYA-KATINGAN	KOTAWARINGIN TIMUR	Sangat Rawan Banjir	Rawan Banjir	
292	BWS Kalimantan II	WS BARITO-KAPUAS	BARITO UTARA	Rawan Banjir	Rawan Banjir	
298	BWS Kalimantan II	WS BARITO-KAPUAS	KAPUAS	Rawan Banjir		
302	BWS Kalimantan II	WS BARITO-KAPUAS	KUTAI BARAT	Rawan Banjir	Rawan Banjir	
303	BWS Kalimantan II	WS BARITO-KAPUAS	MURUNG GRAYA	Rawan Banjir	Rawan Banjir	
312	BWS Kalimantan III	WS SESAYAP	MALINAU	Rawan Banjir		
313	BWS Kalimantan III	WS SESAYAP	NUNUKAN	Rawan Banjir		
314	BWS Kalimantan III	WS MAHAKAM	BARITO UTARA	Rawan Banjir		
317	BWS Kalimantan III	WS MAHAKAM	KUTAI BARAT	Rawan Banjir	Rawan Banjir	

Tabel 2 Peringatan Dini Banjir Tiap Kabupaten Dalam Wilayah Sungai tgl 12 Oktober 2017

No	Kewenangan Balai	Wilayah Sungai	Kabupaten	Status Hari Ini	Status Besok	Status Besok Lusa	Hujan Harian T-1	Hujan Harian T0	Hujan Harian T+1	Hujan 3 Harian T-1
1	BBWS Sumatera VIII	WS MUSI-SUGIHAN-BANYUASIN	KAB BANYUASIN	Rawan Banjir			56.31	23.91	0.00	59.31
27	BBWS Citarum	WS CITARUM	BANDUNG		Rawan Banjir	Rawan Banjir	11.40	31.20	0.00	22.17
30	BBWS Citarum	WS CITARUM	CIANJUR		Rawan Banjir	Rawan Banjir	11.40	19.32	0.00	51.45
31	BBWS Citarum	WS CITARUM	INDRAMAYU	Rawan Banjir			3.06	53.73	0.00	15.75
33	BBWS Citarum	WS CITARUM	KOTA BANDUNG		Rawan Banjir		0.00	20.58	0.00	0.00
34	BBWS Citarum	WS CITARUM	PURWAKARTA		Rawan Banjir		7.05	22.41	0.00	51.45
35	BBWS Citarum	WS CITARUM	SUBANG		Rawan Banjir		5.79	46.92	0.00	24.45
36	BBWS Citarum	WS CITARUM	SUMEDANG		Rawan Banjir		5.79	46.92	0.00	11.25
39	BBWS Cimanuk - Cisanggarung	WS CIMANUK-CISANGGARUNG	GARUT		Sangat Rawan Banjir	Rawan Banjir	8.61	31.20	0.00	22.50
40	BBWS Cimanuk - Cisanggarung	WS CIMANUK-CISANGGARUNG	INDRAMAYU	Rawan Banjir	Rawan Banjir		13.59	53.73	0.00	29.46
42	BBWS Cimanuk - Cisanggarung	WS CIMANUK-CISANGGARUNG	MAJALENGKA	Rawan Banjir			11.16	53.73	0.00	29.46
43	BBWS Cimanuk - Cisanggarung	WS CIMANUK-CISANGGARUNG	SUMEDANG	Rawan Banjir	Rawan Banjir		7.11	53.73	0.00	22.50
44	BBWS Pemali Juana	WS JRATUNSELUNA	BLORA	Rawan Banjir			34.02	50.55	0.00	34.53
46	BBWS Pemali Juana	WS JRATUNSELUNA	DEMAK	Rawan Banjir			12.81	52.71	0.00	16.11
47	BBWS Pemali Juana	WS JRATUNSELUNA	GROBOGAN	Rawan Banjir			18.45	52.71	0.00	18.45
49	BBWS Pemali Juana	WS JRATUNSELUNA	KUDUS	Rawan Banjir			0.69	52.71	0.00	9.36
50	BBWS Pemali Juana	WS JRATUNSELUNA	PATI	Rawan Banjir			34.02	52.71	0.00	34.53
51	BBWS Pemali Juana	WS JRATUNSELUNA	REMBANG	Rawan Banjir			34.02	50.55	0.00	34.53
54	BBWS Pemali Juana	WS PEMALI-COMAL	BATANG		Rawan Banjir	Rawan Banjir	12.78	20.64	0.00	12.78
56	BBWS Pemali Juana	WS PEMALI-COMAL	PEKALONGAN		Rawan Banjir	Rawan Banjir	5.16	20.64	0.00	10.41
57	BBWS Pemali Juana	WS PEMALI-COMAL	PEMALANG		Rawan Banjir	Rawan Banjir	9.75	20.64	0.00	10.41
60	BBWS Bengawan Solo	WS BENGAWAN SOLO	BOJONEGORO	Rawan Banjir			23.79	57.72	0.00	25.95
66	BBWS Bengawan Solo	WS BENGAWAN SOLO	LAMONGAN	Rawan Banjir			2.31	57.72	0.00	2.31
75	BBWS Bengawan Solo	WS BENGAWAN SOLO	TUBAN	Rawan Banjir			8.01	57.72	0.00	8.01
95	BBWS Pompengan Jeneberang	WS POMPENGAN-LARONA	KAB LUWU	Rawan Banjir	Sangat Rawan Banjir	Rawan Banjir	66.21	11.43	0.00	68.16
96	BBWS Pompengan Jeneberang	WS POMPENGAN-LARONA	KAB LUWU TIMUR		Rawan Banjir	Rawan Banjir	49.23	24.81	0.00	49.23
97	BBWS Pompengan Jeneberang	WS POMPENGAN-LARONA	KAB LUWU UTARA	Rawan Banjir	Sangat Rawan Banjir	Rawan Banjir	66.21	24.81	0.00	68.16
98	BBWS Pompengan Jeneberang	WS POMPENGAN-LARONA	KOTA PALOPO	Rawan Banjir	Rawan Banjir	Rawan Banjir	66.21	2.64	0.00	68.16
99	BBWS Pompengan Jeneberang	WS SADDANG	KAB BARRU		Rawan Banjir		23.13	24.09	0.00	26.52
100	BBWS Pompengan Jeneberang	WS SADDANG	KAB ENREKANG		Rawan Banjir	Rawan Banjir	40.08	11.25	0.00	40.08

Dinyatakan status sangat rawan banjir apabila besaran curah hujan > 100 mm/hari ataupun > 200 mm kumulatif 3 hari. Harus diperhatikan pula, karena sistem peringatan dini banjir ini juga menggunakan data statis yaitu kerentanan sosial ekonomi dan rawan banjir. Ilustrasinya adalah apabila daerah A dan B terkena curah hujan yang sama, maka belum tentu kedua daerah tersebut memiliki status rawan banjir. Bisa saja daerah A terindikasi rawan banjir namun daerah B tidak. Hal ini karena dilihat dari peta kerentanan daerahnya. Daerah yang kerentanannya tinggi dan keadaan sosial ekonomi rendah, maka akan terkena dampak dan menjadi rawan banjir. Sebaliknya daerah B tidak terjadi karena tidak termasuk daerah rentan.

Seperti telah disebutkan sebelumnya bahwa prediksi peringatan dini banjir ini masih dalam skala kabupaten sehingga apabila pada suatu daerah atau kabupaten terindikasi rawan banjir ataupun sangat rawan banjir, bukan berarti bahwa pada seluruh kabupaten tersebut akan terjadi banjir. Namun, bisa dilihat pada kabupaten yang bersangkutan memiliki titik atau daerah yang rawan banjir, maka pada daerah tersebut yang harus diwaspadai. Sistem peringatan dini banjir ini karena masih dalam skala kabupaten, maka ke depannya akan ditingkatkan menjadi skala kecamatan ataupun desa. Selain itu data statisnya pun akan diperbaharui agar tingkat keakuratannya menjadi lebih tinggi.

Sistem informasi satgas banjir ini dijalankan secara mandiri pada komputer PC atau laptop oleh petugas piket satgas banjir yang kemudian hasilnya diinformasikan kepada *stakeholder* terkait.

Salah satu contoh dari peringatan dini banjir adalah pada peristiwa banjir bandang di Garut pada tanggal 20 September 2016. Dua hari sebelum kejadian, yaitu pada tanggal 18 dan 19 September 2016, sistem informasi satgas banjir telah menginformasikan bahwa daerah Garut sangat rawan banjir dan terbukti pada tanggal 20 September 2016 kejadian banjir bandang terjadi.

Untuk saat ini, hasil dari peringatan dini banjir tersebut sudah dapat diinformasikan secara terbatas melalui media sosial (*Whatsapp Group*) kepada instansi-instansi terkait (BNPB, BPPT, BWS/BBWS/Dinas Pekerjaan Umum) sebagai acuan bagi instansi terkait dalam menghadapi peringatan dini terkait banjir sebagai langkah awalantisipasi bencana banjir di daerahnya. Masukan-masukan sangat positif selalu datang dari *stakeholder* terkait terhadap sistem peringatan dini banjir ini. Sebagian besar mengapresiasi dan selalu memberikan informasi akurat apabila pada saat bersamaan di daerahnya sedang terjadi banjir dan menginformasikannya kepada petugas piket satgas banjir bahwa prediksi banjir tersebut benar-benar akurat. Contohnya tanggal 23 Desember 2017, Pa

Iskandar (anggota *whatsapp group* satgas banjir) memberikan laporan informasi banjir di Ujung Batu, Lubuk Bendahara, Riau. Laporan satgas banjir pada waktu dua hari sebelum kejadian memberikan peringatan bahaya banjir di daerah tersebut.

KESIMPULAN

Sistem peringatan dini banjir dalam wadah satgas banjir merupakan suatu *tool* sederhana yang dapat menginformasikan peramalan dini banjir pada suatu wilayah dalam skala kabupaten. Data-data masukan berupa data statis (peta kerentanan sosial ekonomi, peta rawan banjir dan peta kemiringan lahan) dan data dinamis (TRMM dan ECMWF) dioverlaykan dengan batasan potensi banjir sehingga menghasilkan peta potensi rawan banjir hari ini sampai dua hari ke depan.

Sistem satgas banjir ini sudah berjalan dan banyak komentar positif masuk terkait hasil dari peringatan dini banjir ini terutama kejadian banjir yang terjadi di daerah yang persis sama dengan yang diramalkan. Ke depannya diharapkan agar sistem ini dapat diperbaharui, baik berupa pembaruan terhadap data-data statis maupun data dinamis (dengan menggunakan data radar atau himawari) sehingga prediksi yang dihasilkan bisa lebih meningkat keakuratannya. Selain itu dapat pula dilakukan otomatisasi pada sistemnya lewat *server* agar proses menjalankan (*running*) tidak lagi dijalankan secara *standalone* dan manual.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pengembangan software DEWS/FEWS dilakukan atas kegiatan JCP (*joint cooperation programme*) antara Pemerintahan Republik Indonesia dengan Belanda yang diwakili oleh Puslitbang Sumber Daya Air, BMKG dan Deltares.

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Drs. Irfan Sudono, M.T, Oky Subrata, ST, MPSDA dan Dra. Heny Rengganis atas bantuan dan masukannya dalam penulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Deltares. 2009. Introduction to Delft-FEWS, WL, Delft Hydraulic.
- BNPB. 2017. <http://dibi.bnpb.go.id>. (Diakses tgl 19 Oktober 2017).
- Ginting, S. W. Putuhena. 2014. Sistem Peringatan Dini Banjir Jakarta Jakarta-Flood Early Warning System (J-Fews). Jurnal Sumber Daya Air, Vol. 10 No. 1, Mei 2014: 71-84.

- Ginting, S.H., and Wanny K. Adidarma. 2013. "Jakarta Flood Early Warning System (J-FEWS)." JAMSTEC - Japan Agency For Marine - Earth Science and Technology. Februari 28, 2013. http://www.jamstec.go.jp/rigc/tcvrp/satreps_id/slide/Radar_WS/Session2/RadarWS_130228_Wanny.pdf (diakses 19 Oktober 2017).
- Ginting, S. Van Loeneon, A. 2013. Delft-FEWS sebagai Kerangka untuk Sistem Peringatan Dini Banjir, Bahan Materi Pelatihan.
- Ginting, S. Van Loeneon, A. 2013. Delft-FEWS Si Peramal Banjir. Majalah Dinamika Riset.
- Ginting, S. 2014. Sistem Peringatan Dini Banjir Jakarta. Jurnal Sumber Daya Air, Vol. 10 No. 1, Mei 2014: 71-84.
- Sahabatnesia. <http://sahabatnesia.com/bencana-alam>. (Diakses tgl 19 Oktober 2017).
- Syaifullah, M.D. 2011. Validasi Data TRMM Terhadap Data Curah Hujan Aktual di Tiga DAS di Indonesia. Jurnal Meteorologi dan Geofisika .15: 109-118.
- Pemanfaatan Informasi Data Hujan TRMM 3B43 dalam Penentuan Panjang Periode Basah dan Kering dalam Usaha Pertanian (PDF Download Available). Available from: https://www.researchgate.net/publication/312192244_Pemanfaatan_Informasi_Data_Hujan_TRMM_3B43_dalam_Penentuan_Panjang_Periode_Basah_dan_Kering_dalam_Usha_Pertanian [accessed Oct 20 2017].
- R. R. E. Vernimmen, A. Hooijer, Mamenun, E. Aldrian, and A. I. J. M. van Dijk. 2012. Evaluation and bias correction of satellite rainfall data for drought monitoring in Indonesia. Hydrol. Earth Syst. Sci., 16, 133–146, 2012.
- Werner, M G F., Schellekens, J and Kwadijk, J C J., 2005. Flood Early Warning Systems for Hydrological (sub) Catchments, In Encyclopedia of Hydrological Sciences vol 1, Editors: Anderson, MG and McDonnell, J J, John Wiley & Sons Ltd.
- Werner, M,, Schellekens, J,, Gijsbers, P,, van Dijk, M,, van den Akker, O,, and Heynert, K,. 2012. The DELFT-FEWS flow forecasting system, Environmental Modelling & Software (2012), <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.07.010> . (accessed Oct 19, 2017).
- Werner, M and van Dijk, M,. 2005. Developing Flood Forecasting Systems: Examples from The UK, Europe and Pakistan, International conference on innovation advances and implementation of flood forecasting technology, 17 to 19 October 2005, Tromsø, Norway.
- World Meteorological Organization (WMO). 2011. Manual on Flood Forecasting and Warning, WMO No, 1072.