

Prediksi spasio temporal rob berbasis model LISFLOOD FP di Pesisir Jakarta

Aries Kristianto^{1*} dan Usman Efendi²

¹Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, ²Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Stasiun Meteorologi Maritim Tanjung Emas Semarang

Koresponden Email: aries.kristianto@stmkg.ac.id

Direvisi: 2021-06-14 Diterima: 2021-09-02
©2021 Fakultas Geografi UGM dan Ikatan Geograf Indonesia (IGI)

Abstrak Jakarta khususnya daerah pesisir sangat rentan dengan adanya permasalahan lingkungan berupa rob. Pemetaan daerah yang berpotensi terdampak rob sangat diperlukan guna menyusun upaya mitigasi. Pada penelitian ini dilakukan prediksi tinggi muka laut dengan model Delft3D dan digunakan untuk memprediksi daerah tergenang rob menggunakan model LISFLOOD FP pada tanggal 18 – 20 November 2019 di pesisir Jakarta. Hasil penelitian menunjukkan bahwa prediksi tinggi muka laut memiliki akurasi yang baik, dengan koefisien korelasi pada tingkat kuat sebesar 0,93 dan nilai RMSE sebesar 0,13 meter. Sementara itu, prediksi rob model LISFLOOD FP menunjukkan luas maksimum yang terjadi 2 hingga 3 jam setelah fase puncak tinggi muka laut dan menggenangi 8 kecamatan di Jakarta Utara dan Jakarta Barat.

Kata kunci: prediksi rob, tinggi muka laut, Delft3D, LISFLOOD FP

Abstract Jakarta region especially the coastal areas are very vulnerable to environmental problems such as coastal inundation. Mapping of areas potentially affected by coastal inundation is needed to arrange mitigation efforts. In this study, sea level prediction was estimated using the Delft3D model and used to predict coastal inundation areas using the LISFLOOD FP model on 18-20 November 2019 on the coast of Jakarta. The results showed that the sea-level prediction model has good accuracy, with a correlation coefficient at a strong level of 0.92 and an RMSE error value of 0.13 meters. Meanwhile, coastal inundation prediction from the LISFLOOD FP model inundated 8 sub-districts in North Jakarta and West Jakarta and showed the maximum area in 2 to 3 hours after the peak phase of sea level.

Keywords: coastal inundation prediction, sea level, Delft3D, LISFLOOD FP

PENDAHULUAN

Jakarta merupakan kota yang menjadi pusat administrasi pemerintahan dan perekonomian di Indonesia. Keberadaan fasilitas dan pembangunan pada berbagai sektor perekonomian menjadi daya tarik tersendiri bagi masyarakat di berbagai daerah untuk tinggal di kota ini. Adanya fasilitas pelabuhan di wilayah pesisir Jakarta berperan penting dalam menghubungkan interaksi sosial-ekonomi antar pulau/negara serta merangsang pertumbuhan industri, perdagangan, dan pariwisata (Ducruet dan Horst, 2009; Oblak *et al.*, 2013).

Wilayah pesisir umumnya terkait dengan kerentanan bencana yang tinggi. Salah satu bencana alam yang rutin menimpa pesisir Jakarta adalah rob (Putra & Marfai, 2012; Ramadhan *et al.*, 2015). Rob merupakan banjir yang terjadi di wilayah pesisir akibat kenaikan Tinggi Muka Laut (TML). Kenaikan TML tersebut disebabkan akibat fenomena pasang surut dan *storm surge* yang diikuti gelombang tinggi sehingga menyebabkan dataran rendah di sekitar pantai tergenang air laut (Wolf, 2008).

Keberadaan fenomena pemanasan global dan perubahan iklim turut berkontribusi pada meningkatnya frekuensi dan intensitas rob (Marfai *et al.*, 2013). Rob juga diperparah dengan adanya penurunan muka tanah (*land subsidence*) yang membuat ketinggian daratan semakin rendah. Ketika pasang surut mencapai level tertinggi (*spring tide*) dan disertai badai maka akan menimbulkan rob (Putra & Marfai, 2012; Jamalludin *et al.*, 2016).

Rob menyebabkan berbagai dampak negatif terhadap permukiman di kawasan pesisir. Wilayah yang terdampak rob akan mengalami perubahan fisik yang memberikan tekanan terhadap masyarakat, bangunan, dan infrastruktur permukiman penduduk. Selain itu juga menyebabkan kerusakan sarana dan prasarana lingkungan seperti air bersih, drainase, dan sanitasi serta penurunan kualitas lingkungan yang terlihat dari menurunnya kualitas kesehatan masyarakat (Putra & Marfai, 2012).

Pemetaan wilayah yang berpotensi terdampak rob sangat diperlukan sebagai bahan pertimbangan dalam melakukan

upaya mitigasi. Untuk mengetahui wilayah yang berpotensi terdampak rob perlu memperhitungkan berbagai faktor yang dapat disederhanakan dengan bantuan model. Salah satu model yang dapat digunakan untuk menyimulasikan proses terjadinya rob adalah LISFLOOD FP.

LISFLOOD FP merupakan model genangan banjir berbasis raster yang terdiri dari sejumlah skema numerik untuk menyimulasikan banjir menggunakan *Shallow Water Equation* (Bates *et al.*, 2013). Simulasi terjadinya banjir dilakukan melalui proses pengisian volume berdasarkan prinsip hidraulika dan konservasi massa (Bates *et al.*, 2005). Model ini juga memiliki kelebihan berupa beban komputasi yang ringan sehingga mampu dijalankan pada komputer desktop (Aronica *et al.*, 2002; Fatapour *et al.*, 2020).

Model LISFLOOD FP telah banyak digunakan dalam penelitian terkait rob. Bates *et al.* (2005) melakukan asesmen risiko rob pada empat lokasi di Inggris yang menunjukkan bahwa model LISFLOOD FP mampu merepresentasikan luasan banjir maksimum sesuai dengan hasil observasi. Neal *et al.* (2011) melakukan evaluasi model LISFLOOD FP terbaru pada kasus banjir musim panas tahun 2007 di Tewkesbury, UK. Model LISFLOOD FP generasi terbaru mampu memodelkan kejadian banjir dengan lebih akurat serta waktu komputasi 67 kali lebih cepat dibandingkan versi model sebelumnya. Sementara itu, Irawan *et al.* (2021) melakukan proyeksi rob pada tahun 2050 di kota Semarang dengan memperhitungkan TML ekstrem serta penurunan tanah yang dikombinasikan dengan kenaikan TML. Hasil penelitian menunjukkan bahwa skenario rob dengan mengkombinasikan interpolasi penurunan tanah di tiap grid sel memberikan peningkatan luas proyeksi banjir tertinggi dibanding skenario lain.

Berbeda dengan penelitian sebelumnya, pada penelitian ini akan difokuskan untuk memprediksi daerah tergenang rob secara *real time* menggunakan model LISFLOOD FP berdasarkan prediksi TML. Keluaran model LISFLOOD FP berupa sebaran spasial daerah tergenang banjir pada skala temporal per jam sehingga dapat digunakan untuk memonitor potensi rob harian. Hasil penelitian ini diharapkan bisa menjadi bahan pertimbangan dalam menyusun kebijakan guna mengurangi dampak yang ditimbulkan oleh rob.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di wilayah pesisir Jakarta pada tanggal 18 – 20 November 2019 bersamaan dengan terjadinya rob di wilayah Jakarta. Data yang digunakan pada penelitian ini meliputi data *Global Forecast System* (GFS) dengan data inisial pukul 12.00 WIB tanggal 17 November 2019 hingga *forecast* 84 jam ke depan resolusi spasial 0,25° x 0,25° yang diperoleh dari *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP), data TML di Stasiun Pasang Surut Kolinamil dan Sunda Kelapa Jakarta, data batimetri resolusi 180 m yang diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG), dan data peta Digital Elevation Model (DEM) resolusi 8 m yang diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG). Selain model LISFLOOD FP, perangkat lunak pemodelan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi model *Weather Research and Forecasting* (WRF) serta model Delft3D.

Pada penelitian ini prediksi rob dilakukan dengan metode pemodelan numerik. Model numerik memuat sejumlah besar persamaan matematis pengatur suatu sistem yang digunakan untuk memperkirakan solusi dari suatu masalah fisis dengan

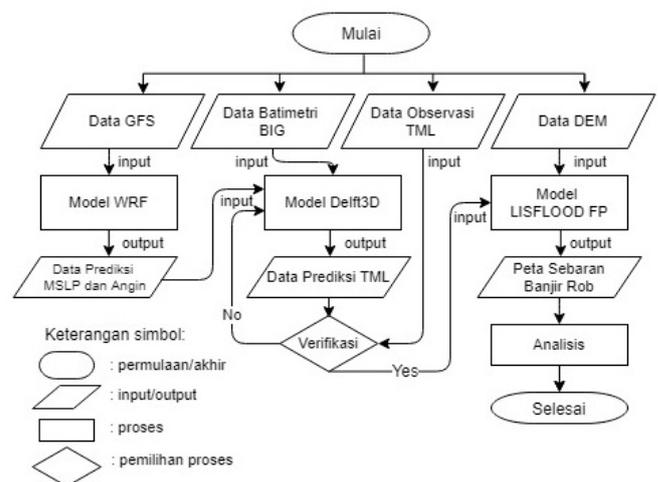
bantuan komputer (Zafarparandeh & Lazoglu, 2012). Model numerik dijalankan dalam tiga tahap yakni model WRF untuk prediksi kondisi atmosfer, model Delft3D untuk prediksi kondisi TML, serta model LISFLOOD FP untuk prediksi penjarangan rob. Secara umum rangkaian penelitian ini direpresentasikan pada Gambar 1.

Kondisi atmosfer khususnya tekanan udara serta arah dan kecepatan angin permukaan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kondisi TML (Calafat *et al.*, 2013; Fadlan *et al.*, 2017), sehingga prediksi kondisi atmosfer perlu diperhitungkan dalam menyusun prediksi rob. Prediksi kondisi atmosfer dilakukan menggunakan model WRF yang merupakan model numerik atmosfer yang didesain untuk penelitian dan prediksi cuaca secara operasional. Model tersebut secara umum digunakan untuk prediksi cuaca numerik secara *real time*, penelitian dan pengembangan asimilasi data, penelitian parameterisasi fisis, simulasi iklim regional, kopel atmosfer – laut, pemodelan kualitas udara, serta simulasi atmosfer ideal (Skamarock *et al.*, 2008).

Pada penelitian ini, model WRF digunakan untuk melakukan simulasi kondisi atmosfer dengan masukan data GFS sehingga dihasilkan keluaran data prediksi cuaca numerik dengan resolusi spasial 1 km. Keluaran model WRF untuk parameter *Mean Sea Level Pressure* (MSLP) serta angin ketinggian 10 meter digunakan sebagai data masukan model Delft3D untuk memprediksi TML.

Prediksi TML dilakukan menggunakan model hidrodinamika Delft3D. Delft3D merupakan model dengan pendekatan multi disiplin serta komputasi 3D untuk wilayah pesisir, sungai, danau, serta muara (Deltares, 2014). Model Delft3D mampu menyimulasikan proses hidrodinamika di suatu perairan dengan memperhitungkan berbagai faktor seperti pengaruh gaya pasang surut, kondisi atmosfer, serta karakteristik lokal perairan seperti kondisi batimetri dan bentuk garis pantai. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa model tersebut memprediksi kondisi hidrodinamika dengan baik (Horstman *et al.*, 2013; De Vries *et al.*, 2015; Symonds *et al.*, 2016).

Model Delft3D pada penelitian ini dijalankan menggunakan data batimetri dengan resolusi 180 meter sebagai domain. Adapun masukan data meteorologi berupa angin pada ketinggian 10 meter dan MSLP didapatkan dari hasil model WRF. Keluaran model Delft3D untuk data prediksi TML diekstrak dalam bentuk data titik *time series* dengan titik di sepanjang garis pantai pesisir Jakarta sebagai



Gambar 1. Diagram alir penelitian

data input model LISFLOOD FP. Data batimetri yang digunakan dalam model Delft3D ditunjukkan pada Gambar 2.

Data TML prediksi model Delft3D selanjutnya diverifikasi terhadap data TML observasi di stasiun pasang surut Kolinamil dan Sunda Kelapa. Data TML pada kedua titik dikoreksi terhadap datum *Mean Sea Level* (MSL) agar sesuai dengan TML model Delft3D. Verifikasi data dilakukan menggunakan metode statistik, yang meliputi analisis korelasi serta *Root Mean Square Error* (RMSE). Analisis korelasi digunakan untuk mengetahui seberapa kuat hubungan antara data prediksi dengan data observasi. Koefisien korelasi memiliki nilai yang berkisar antara 1 hingga -1, dimana nilai positif menunjukkan hubungan searah, sedangkan nilai negatif menunjukkan hubungan berbalik arah (Bluman, 2009). Koefisien korelasi dapat dituliskan dalam Persamaan (1) berikut:

$$r_{xy} = \frac{\sum XY - \frac{1}{n} \sum X \sum Y}{\sqrt{[\sum X^2 - \frac{1}{n} (\sum X)^2][\sum Y^2 - \frac{1}{n} (\sum Y)^2]}} \quad (\text{Bluman, 2009}) \quad (1)$$

Dengan r_{xy} adalah, koefisien korelasi, n adalah banyaknya data, x adalah data prediksi model, dan Y adalah data observasi.

RMSE berguna untuk mengetahui besarnya nilai penyimpangan dari data prediksi terhadap data observasi. Nilai RMSE yang semakin kecil menunjukkan nilai prediksi yang semakin mendekati nilai observasi (Wilks, 2006). RMSE dapat dituliskan dalam Persamaan (2) berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{n=1}^N (y_n - o_n)^2} \quad (\text{Wilks, 2006}) \quad (2)$$

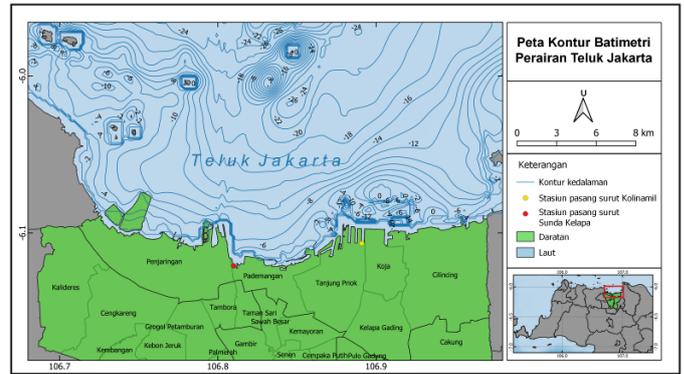
Dimana N = banyaknya data, Y_n adalah data prediksi model, dan O_n adalah data observasi.

Setelah mendapatkan data TML, langkah selanjutnya adalah menyimulasikan penalaran air akibat kenaikan TML di dataran rendah sekitar pantai. Tugas ini akan diselesaikan menggunakan model LISFLOOD FP. LISFLOOD FP menggunakan data raster DEM dan laju aliran air untuk menyimulasikan dinamika banjir. Model tersebut menggunakan prinsip kontinuitas hidraulika dan konservasi massa untuk memperhitungkan kedalaman air pada setiap sel grid data DEM. Aliran air pada dataran banjir diperhitungkan pada setiap sel raster DEM di setiap *time step* berdasarkan perbedaan ketinggian muka air di tiap sel menggunakan persamaan momentum dengan memperhitungkan koefisien kekasaran Manning (Bates et al., 2005). Visualisasi data DEM yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.

Pada model LISFLOOD FP, perubahan kedalaman air dalam satuan waktu diselesaikan menggunakan Persamaan (3) berikut:

$$h_{i,j}^{t+\Delta t} = h_{i,j}^t + \Delta t \frac{Q_{xi,j-1}^t - Q_{xi,j}^t + Q_{yi,j-1}^t - Q_{yi,j}^t}{\Delta x^2} \quad (\text{Neal et al., 2011}) \quad (3)$$

Dimana h adalah kedalaman air, i, j adalah indeks sel data DEM, t adalah waktu, Δx adalah ukuran sel, Δt adalah time step, dan Q^t adalah aliran antar sel, yang dituliskan dalam Persamaan (4) berikut:



Gambar 2. Batimetri wilayah penelitian



Gambar 3. Peta DEM wilayah penelitian.

$$Q^t = \frac{q^t - gh_{flow}^t \Delta t \frac{\Delta(h^t + z)}{\Delta x}}{(1 + gh_{flow}^t \Delta t n^2 |q^{t-\Delta t}| / (h_{flow}^t)^{10/3}) \Delta x} \quad (\text{Neal et al., 2011}) \quad (4)$$

Dimana h_{flow} adalah kedalaman antar sel tempat air mengalir, z adalah elevasi sel raster data DEM, n adalah koefisien kekasaran Manning, g adalah percepatan gravitasi, dan q adalah flux antar sel dari time step sebelumnya, yang nilainya sama dengan Q pada *time step* sebelumnya dibagi dengan ukuran sel.

Model LISFLOOD FP menggunakan data DEM resolusi 8 meter sebagai domain model dengan data TML keluaran model Delft3D sebagai kondisi batas model. Data *time series* TML dengan resolusi temporal per jam akan diproses melalui model LISFLOOD FP sehingga didapatkan prediksi *real time* sebaran rob dengan resolusi temporal per jam. Keluaran model LISFLOOD FP berupa data sebaran spasial dan *time series* yang dapat digunakan untuk memonitoring wilayah yang berpotensi tergenang rob.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Performa Prediksi TML Model Delft3D

Kenaikan TML merupakan faktor utama yang menyebabkan terjadinya rob, sehingga akurasi dari prediksi rob yang dihasilkan sangat bergantung pada kualitas prediksi TML yang dijadikan data masukan (Dawson et al., 2009; Gallien et al., 2014). Gambar 4 menunjukkan perbandingan data TML prediksi model Delft3D dengan data observasi untuk titik pengamatan Stasiun Pasang Surut Kolinamil dan Sunda Kelapa di Jakarta. Pasang surut di Jakarta memiliki pola harian tunggal, dimana dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan air satu kali surut (Ramadhan et al., 2015).

Berdasarkan Gambar tersebut terlihat bahwa air pasang terjadi sekitar pukul 15.00 – 17.00 WIB dan air surut terjadi sekitar pukul 23.00 – 02.00 WIB. TML hasil observasi mencapai nilai tertinggi sebesar 0,61 meter untuk Stasiun Kolinamil dan 0,55 meter untuk Stasiun Sunda Kelapa yang terjadi pada tanggal 18 November 2019 pukul 16.00 WIB. Nilai terendah TML observasi sebesar -0,46 meter untuk Stasiun Kolinamil dan -0,44 meter untuk Stasiun Sunda Kelapa pada tanggal 19 November 2019 pukul 01.00 WIB. Sementara itu, prediksi TML keluaran model Delft3D mencapai nilai maksimum sebesar 0,39 meter untuk titik Stasiun Kolinamil dan 0,39 meter untuk Stasiun Sunda Kelapa yang terjadi pada tanggal 18 November 2019 pukul 14.00 dan 12.00 WIB. Nilai prediksi TML minimum sebesar -0,27 meter untuk Stasiun Kolinamil dan Stasiun Sunda Kelapa yang terjadi pada tanggal 19 November 2019 pukul 00.00 WIB.

Secara umum terlihat bahwa fluktuasi data prediksi TML model Delft3D mampu mengikuti pola data observasi. Tabel 1 menunjukkan nilai koefisien korelasi dan RMSE antara data TML prediksi dengan observasi di stasiun pasang surut Sunda Kelapa dan Kolinamil. Nilai rata-rata koefisien korelasi antara data prediksi dan observasi TML untuk kedua stasiun pasang surut memberikan nilai 0,93 yang menunjukkan adanya hubungan pada tingkat kuat (Mundir, 2013). Sementara itu, rata-rata RMSE untuk kedua stasiun pasang surut berada pada nilai 0,13 meter. Hasil tersebut menunjukkan bahwa prediksi TML model Delft3D memiliki performa yang baik, namun perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengurangi tingkat *error* yang ditimbulkan. Beberapa cara yang dapat dilakukan untuk memperbaiki keakuratan dan meminimalisasi *error* keluaran data yang dihasilkan diantaranya dengan memperbaiki data batimetri

dengan data survey, memperbaharui kondisi garis pantai, melakukan pengaturan pada koefisien gesek, serta memperhalus resolusi grid pada daerah yang dekat dengan pesisir (Fadlillah et al., 2020).

Prediksi Rob Model LISFLOOD FP

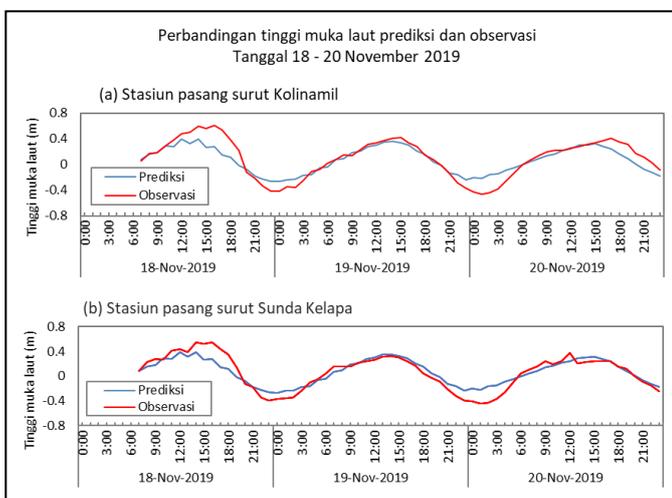
Wilayah Jakarta secara umum tersusun atas endapan aluvial. Proses diagenesis dan eksploitasi airtanah yang berlebihan pada jenis tanah tersebut berdampak pada penurunan muka tanah. Kondisi ini diperparah dengan adanya kenaikan TML sehingga menyebabkan wilayah Jakarta rawan rob (Ramadhan et al., 2015). Salah satu kejadian rob di Jakarta terjadi pada tanggal 18 November 2019. Tinggi muka laut dilaporkan mengalami peningkatan hingga mencapai 2,26 meter (0,64 di atas MSL) sejak pukul 16.00 WIB dan berstatus siaga 2. Kondisi tersebut menyebabkan sejumlah wilayah terendam rob (Firdaus, 2019).

Luas keseluruhan wilayah yang tergenang rob di pesisir Jakarta terlihat pada Gambar 5. Pada tanggal 18 November 2019 pukul 07.00 – 16.00 WIB terpantau adanya peningkatan luas rob secara signifikan. Tingginya peningkatan daerah tergenang rob dikarenakan kondisi awal sel data DEM domain dalam keadaan kering dan segera terisi air saat kondisi TML terus meningkat. Luas daerah rob berfluktuasi dengan pola mengikuti data TML. Luas maksimum daerah banjir pada tanggal 18, 19, dan 20 November 2019 masing-masing mencapai 279,34 ha, 316,00 ha, dan 335,30 ha yang terjadi pada pukul 17.00 WIB, 17.00 WIB, dan 16.00 WIB.

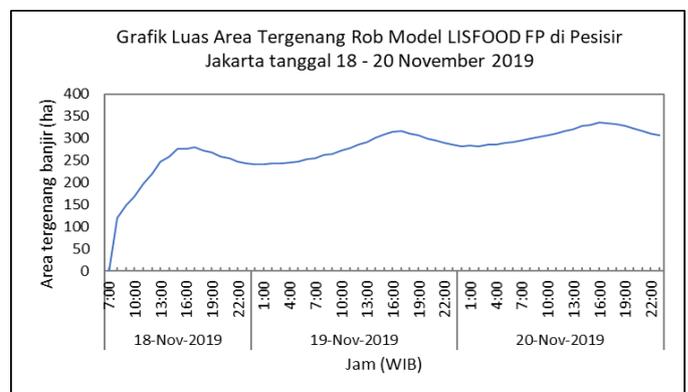
Prediksi rob LISFLOOD FP dilakukan menggunakan data masukan prediksi TML model Delft3D. Perbandingan antara grafik prediksi TML dan grafik prediksi luasan rob memper-

Tabel 1. Nilai koefisien korelasi dan RMSE antara data TML model Delft3D dan data observasi

| Stasiun Pasang surut | Korelasi | RMSE (meter) |
|----------------------|----------|--------------|
| Sunda Kelapa | 0,93 | 0,12 |
| Kolinamil | 0,92 | 0,13 |
| Rata-rata | 0,93 | 0,13 |



Gambar 4. Grafik perbandingan TML prediksi model Delft3D dengan data observasi di titik pengamatan: (a) Stasiun Pasang Surut Kolinamil dan (b) Stasiun Pasang Surut Sunda Kelapa, tanggal 18 – 20 November 2019.



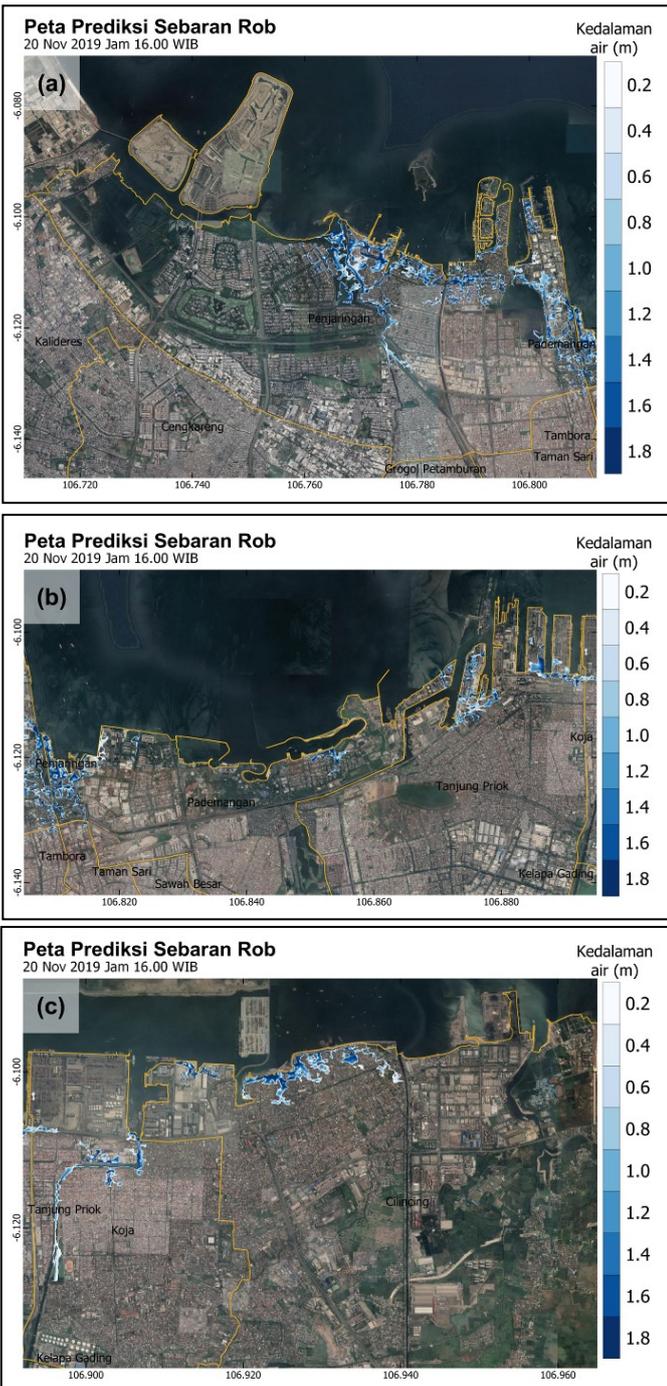
Gambar 5. Grafik Luas Area Tergenang Rob di Pesisir Jakarta tanggal 18 – 20 November 2021.

Tabel 2. Luas area maksimum (ha) prediksi rob per hari berdasarkan kecamatan di Pesisir Jakarta

| Kecamatan | 18-Nov-2019 | 19-Nov-2019 | 20-Nov-2019 |
|---------------|-------------|-------------|-------------|
| Cilincing | 29,96 | 33,28 | 35,36 |
| Koja | 16,73 | 20,57 | 23,72 |
| Pademangan | 36,35 | 40,10 | 40,70 |
| Penjaringan | 159,70 | 183,65 | 196,47 |
| Taman Sari | 0,51 | 0,52 | 0,53 |
| Tambora | 0,80 | 1,11 | 1,37 |
| Tanjung Priok | 34,93 | 36,37 | 36,74 |

lihatkan bahwa luas maksimum daerah yang tergenang banjir terjadi sekitar 2 hingga 3 jam setelah fase puncak TML. Pada saat TML mencapai nilai maksimum luas rob tidak langsung mencapai nilai maksimum melainkan ada jeda 2 hingga 3 jam. Hal ini dikarenakan model LISFLOOD FP mempertimbangkan faktor koefisien gesek dataran banjir. Semakin tinggi nilai koefisien gesek maka laju aliran air semakin lambat, sehingga mempengaruhi waktu terjadinya banjir di suatu wilayah (Seenath, 2015).

Luas wilayah yang tergenang banjir berdasarkan prediksi model LISFLOOD FP secara detail dapat dilihat pada Tabel 2 yang menunjukkan luas maksimum area tergenang banjir (ha) dalam satu hari di setiap kecamatan. Rob terpantau memiliki luas maksimum pada tanggal 20 November 2019.



Gambar 6. Prediksi sebaran rob tanggal 20 November 2019 pukul 16.00 WIB untuk wilayah pesisir Jakarta bagian (a) barat, (b) tengah, dan (c) timur.

Terdapat 8 kecamatan yang terdampak rob, terdiri dari Kecamatan Cilincing, Koja, Pademangan, Penjaringan, Taman Sari, Tambora, dan Tanjung Priok. Daerah dengan luas wilayah banjir tertinggi pada tanggal 20 November 2019 terdapat di Kecamatan Penjaringan sebesar 159,70 ha, sedangkan daerah dengan luas wilayah banjir terendah terdapat di Kecamatan Taman Sari sebesar 0,53 ha.

Sebaran spasial prediksi rob di Pesisir Jakarta dapat dilihat pada Gambar 6. Prediksi spasial rob tersebut ditampilkan untuk tanggal 20 November 2019 pukul 16.00 WIB pada saat luasan banjir mencapai nilai maksimum. Tampilan peta dibagi menjadi tiga bagian untuk memudahkan dalam proses identifikasi, yakni Gambar 6a untuk wilayah bagian barat, Gambar 6b untuk bagian tengah, serta Gambar 6c untuk bagian timur. Di pesisir bagian barat, terlihat genangan banjir terkonsentrasi di Kecamatan Penjaringan dan sebagian kecil di Kecamatan Tambora dengan kedalaman genangan air mencapai 0,1 – 2 meter. Pada pesisir bagian tengah, rob terpantau menggenangi Kecamatan Pademangan, Tanjung Priok, dan Taman Sari dengan kedalaman air mencapai 0,1 – 2,08 meter. Sementara itu untuk pesisir bagian timur rob terpantau menggenangi Kecamatan Koja dan Cilincing dengan kedalaman air mencapai 0,1 – 2,04 meter.

Kedalaman air yang tertera pada peta prediksi rob diukur dari permukaan tanah model DEM. Pada beberapa wilayah terpantau adanya genangan dengan kedalaman mencapai lebih dari 1,5 meter. Jika diperhatikan, wilayah tersebut merupakan bagian dari perairan dengan ketinggian tanah yang rendah seperti tepi sungai atau danau, sehingga genangan rob yang dihasilkan cukup dalam. Hal tersebut membuat identifikasi luas daerah tergenang rob menjadi kurang tepat, karena memperhitungkan daerah genangan air permanen. Kondisi tersebut dapat diatasi dengan melakukan masking data DEM untuk wilayah genangan air permanen (Bates et al., 2005), namun prosedur tersebut memerlukan referensi peta penggunaan lahan dengan resolusi tinggi sehingga bisa menunjukkan lokasi sungai, danau, dan daerah perairan lain secara akurat.

Batas kedalaman minimal yang dihitung dalam rob ini adalah 0,1 meter, sehingga wilayah tergenang banjir di lapangan bisa lebih luas daripada hasil prediksi apabila memperhitungkan banjir dengan kedalaman kurang dari 0,1 meter. Selain itu, akurasi model LISFLOOD FP dalam memprediksi rob sangat bergantung pada kualitas data DEM yang digunakan, sehingga diperlukan adanya data DEM dengan resolusi dan akurasi yang lebih tinggi untuk memperbaiki akurasi prediksi rob yang dihasilkan.

Model rob umumnya disusun berdasarkan metode Sistem Informasi Geografis (SIG). Metode SIG akan menganggap wilayah dengan ketinggian di bawah tinggi muka laut akan tergenang banjir, sehingga prediksi wilayah yang tergenang rob umumnya lebih luas dibandingkan kondisi sebenarnya. Sementara itu, model LISFLOOD yang digunakan pada penelitian ini mensimulasikan aliran air berdasarkan prinsip hidraulika, sehingga mempertimbangkan berbagai hal seperti konektivitas hidraulika dan pengaruh gaya gesek pada permukaan tanah. Hal ini membuat prediksi rob keluaran model LISFLOOD FP secara umum mendekati kondisi di lapangan (Bates et al., 2005; Nugroho, 2013; Seenath et al., 2016; Nafisah et al., 2017).

KESIMPULAN

Prediksi rob berbasis model LISFLOOD FP di pesisir Jakarta dilakukan dengan menggunakan data TML model Delft3D sebagai data masukan. Berdasarkan pembahasan sebelumnya dapat diketahui bahwa model Delft3D mampu memprediksi TML dengan akurasi yang baik dengan koefisien korelasi pada tingkat kuat sebesar 0,92 serta nilai error RMSE sebesar 0,13 meter. Prediksi luas daerah tergenang rob model LISFLOOD FP mencapai nilai maksimum sekitar 2 hingga 3 jam setelah fase puncak TML. Wilayah yang tergenang rob menurut model LISFLOOD meliputi 8 kecamatan di wilayah Jakarta Utara dan Jakarta Barat, yang meliputi Kecamatan Cilincing, Koja, Pademangan, Penjaringan, Taman Sari, Tambora, dan Tanjung Priok. Akurasi prediksi banjir model LISFLOOD FP sangat bergantung pada kualitas data DEM yang digunakan, sehingga saran untuk penelitian selanjutnya adalah perlunya penggunaan data DEM dengan resolusi dan akurasi yang lebih tinggi sehingga hasil prediksi rob yang dihasilkan semakin baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Pusat Meteorologi Maritim BMKG atas perizinan penggunaan lisensi perangkat lunak Delft3D, kepada BIG atas penggunaan data DEM dan TML observasi, serta Prof. Paul Bates dari University of Bristol atas diskusi pakar terkait penggunaan model LISFLOOD FP. Penelitian ini didanai secara mandiri STMKG tanpa sumber pendanaan eksternal.

KONTRIBUSI PENULIS

Penulis Pertama mendesain metode penelitian, analisis dan interpretasi data, membuat naskah publikasi dan review naskah publikasi; Penulis Kedua membuat pengolahan data, dan coding program serta membantu naskah publikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Aronica, G., Bates, P. D., & Horritt, M. S. (2002). Assessing the uncertainty in distributed model predictions using observed binary pattern information within GLUE. *Hydrological processes*, 16(10), 2001-2016.
- Bates, P. D., Dawson, R. J., Hall, J. W., Horritt, M. S., Nicholls, R. J., Wicks, J., & Hassan, M. A. M. (2005). Simplified two-dimensional numerical modelling of coastal flooding and example applications. *Coastal Engineering*, 52(9), 793-810.
- Bates, P., Trigg, M., Neal, J., & Dabrowa, A. (2013). *LISFLOOD-FP. User manual*. School of Geographical Sciences, University of Bristol. Bristol, UK.
- Bluman, A. G. (2009). *Elementary statistics: A step by step approach*. New York, NY: McGraw-Hill Higher Education.
- Calafat, F. M., Chambers, D. P., & Tsimplis, M. N. (2013). Interannual to decadal sea level variability in the coastal zones of the Norwegian and Siberian Seas: The role of atmospheric forcing. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 118(3), 1287-1301.
- Dawson, R. J., Dickson, M. E., Nicholls, R. J., Hall, J. W., Walkden, M. J., Stansby, P. K., ... & Watkinson, A. R. (2009). Integrated analysis of risks of coastal flooding and cliff erosion under scenarios of long term change. *Climatic Change*, 95(1), 249-288.
- Deltares. (2014). *Delft3D-Flow User Manual*. Delft. Deltares.
- De Vries, S., Radermacher, M., De Schipper, M. A., & Stive, M. J. F. (2015). *Tidal dynamics in the Sand Motor lagoon*. Paper dipresentasikan pada the 36th IAHR World Congress, The Hague, the Netherlands, 28 June-3 July 2015. IAHR.
- Ducruet, C. & Van der Horst, M. (2009). Transport integration at European ports: measuring the role and position of intermediaries. *EJTIR*, 9 (2), 121-142.
- Fadlan, A., Sugianto, D. N., Kunarso, K., & Zainuri, M. (2017).

- Pengaruh Fenomena Monsun, El Niño Southern Oscillation (Enso) dan Indian Ocean Dipole (IOD) terhadap Anomali Tinggi Muka Laut di Utara dan Selatan Pulau Jawa*. Paper dipresentasikan pada Seminar Nasional Hasil-Hasil Penelitian Perikanan dan Kelautan ke-VI. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan UNDIP, pp. 205-217
- Fadlillah, L. N., Widyastuti, M., & Marfai, M. A. (2020). Comparison of tidal model using mike21 and delft3d-flow in part of Java Sea, Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 451, No. 1, p. 012067). IOP Publishing.
- Fatapour, E., Afroos, A., Nejad, B. A., Saremi, A., & Khosrowjerdi, A. (2020). Evaluation of the Two-Dimensional Hydraulic Model LISFLOOD-FP in Floodplain Predictions of Various Return Periods. *Archives of Pharmacy Practice*, 1, 84.
- Firdaus, A. (2019). Sejumlah kebakaran dan banjir rob landa sebagian Jakarta. *Antaranews.com*, hal. 1. Diakses tanggal 10 Juni 2021 dari <https://www.antaranews.com/berita/1169759/sejumlah-kebakaran-dan-banjir-rob-landa-sebagian-jakarta>
- Gallien, T. W., Sanders, B. F., & Flick, R. E. (2014). Urban coastal flood prediction: Integrating wave overtopping, flood defenses and drainage. *Coastal Engineering*, 91, 18-28.
- Horstman, E., Dohmen-Janssen, M., & Hulscher, S. J. M. H. (2013). Modeling tidal dynamics in a mangrove creek catchment in Delft3D. In *Coastal dynamics* (Vol. 2013, pp. 833-844).
- Jamalludin, J., Fatoni, K. I., & Alam, T. M. (2016). Identifikasi Banjir Rob Periode 2013-2015 di Kawasan Pantai Utara Jakarta. *Jurnal Chart Datum*, 2(2), 105-116.
- Marfai, M.A., Mardiatno, D., Cahyadi, A., Nucifera, F. dan Prihatno, H. (2013). Pemodelan Spasial Bahaya Banjir Rob Berdasarkan Skenario Perubahan Iklim dan Dampaknya di Pesisir Pekalongan. *Jurnal Bumi Lestari*, Vol. 13(2), 244-256.
- Mundir. (2013). *Statistika Pendidikan*. Jember: Pustaka Pelajar.
- Nafisah, D., Setiyono, H., & Hariyadi, H. (2017). Pemetaan Sebaran Genangan Rob di Pesisir Bonang, Kabupaten Demak. *Journal of Oceanography*, 6(3), 494-499.
- Neal, J., Schumann, G., Fewtrell, T., Budimir, M., Bates, P., & Mason, D. (2011). Evaluating a new LISFLOOD-FP formulation with data from the summer 2007 floods in Tewkesbury, UK. *Journal of Flood Risk Management*, 4(2), 88-95.
- Nugroho, S. H. (2013). Prediksi luas genangan pasang surut (rob) berdasarkan analisis data spasial di Kota Semarang, Indonesia. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, 4(1), 71-87.
- Oblak, R., Bisticic, A. & Jugovic, A. (2013). Publicprivate partnership-management model of Croatian seaports. *Management*, 18 (1), 79-102.
- Putra, D. R., & Marfai, M. A. (2012). Identifikasi Dampak Banjir Genangan (Rob) Terhadap Lingkungan Permukiman Di Kecamatan Pademangan Jakarta Utara. *Jurnal Bumi Indonesia*, 1(1).
- Ramadhan, P., Widada, S., & Subardjo, P. (2015). Dampak Kenaikan Muka Laut Terhadap Genangan Rob di Kecamatan Pademangan, Jakarta Utara. *Journal of Oceanography*, 4(1), 159-165.
- Seenath, A. (2015). Modeling coastal flood vulnerability: Does spatially-distributed friction improve the prediction of flood extent? *Applied Geography* 64:97-107.
- Seenath, A., Wilson, M., & Miller, K. (2016). Hydrodynamic versus GIS modelling for coastal flood vulnerability assessment: Which is better for guiding coastal management?. *Ocean & Coastal Management*, 120, 99-109.
- Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D. M., Duda, M. G., ... & Powers, J. G. (2008). A description of the advanced research WRF version 3, NCAR Technical Note. *National Center for Atmospheric Research: Boulder, CO, USA*.
- Symonds, A. M., Vijverberg, T., Post, S., Van Der Spek, B. J., Hentrotte, J., & Sokolewicz, M. (2016). Comparison between Mike 21 FM, Delft3D and Delft3D FM flow models of western port bay, Australia. *COASTAL ENGINEERING*, 2.
- Wilks, D. S. (2011). *Statistical methods in the atmospheric sciences* (Vol. 100). Academic press.
- Wolf, J. (2008). Coupled wave and surge modelling and implications for coastal flooding. *Advances in Geosciences*, 17, 19-22.
- Zafarparandeh, I., & Lazoglu, I. (2012). Application of the finite element method in spinal implant design and manufacture. *The design and manufacture of medical devices*, 153-183.