

SIMULASI ROB DI SEMARANG MENGGUNAKAN MODEL HIDRODINAMIKA 2D

SIMULATION OF SEMARANG COASTAL INUNDATION USING 2D-HYDRODYNAMICS MODEL

**Muhammad Najib Habibie^{1*}, Agus Hartoko², Nining Sari Ningsih³, Muhammad Helmi², Siswanto¹,
Roni Kurniawan¹, Andri Ramdhani¹, Rahayu Sapta S.Sudewi¹**

¹Pusat Penelitian dan Pengembangan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

²Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Diponegoro

³Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan – KK. Oseanografi Institut Teknologi Bandung

*Email: najib.habibie@bmk.go.id

Naskah masuk: 10 Oktober 2012; Perbaikan terakhir: 16 Desember 2012 ; Naskah diterima: 21 Desember 2012

ABSTRAK

Semarang merupakan salah satu kawasan yang sering mengalami genangan air pasang (rob) yang dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu: faktor meteorologi, laju penurunan tanah dan faktor astronomi (pasang surut). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kehandalan model dan peran faktor meteorologi pada simulasi genangan rob di wilayah Semarang. Metode yang digunakan adalah analisa kenaikan tinggi muka laut beserta penurunan muka tanah, simulasi model dengan Hidrodinamika 2D serta verifikasi menggunakan data citra satelit IKONOS untuk mengetahui wilayah genangan. Dari simulasi model hidrodinamika 2D pada tanggal 13 Juni 2009 - bertepatan dengan siklon tropis Linfa di Laut Cina Selatan - yang memperhitungkan komponen pasang surut, tekanan dan angin diperoleh hasil yang menunjukkan wilayah Semarang Barat mengalami pengurangan batas pantai sejauh 221 m dan wilayah Pelabuhan sebesar 270 m dibanding jika komponen pasang surut saja yang diperhitungkan. Selain itu tinggi muka laut juga meningkat sebesar 10 cm ketika memasukkan komponen kecepatan angin dan tekanan udara permukaan. Hasil luaran model ketika dibandingkan dengan citra satelit IKONOS menunjukkan kemiripan yang berarti model telah merepresentasikan kondisi sebenarnya.

Kata kunci: banjir rob, Semarang, hidrodinamika 2D, citra satelit IKONOS

ABSTRACT

Semarang is one of the area that experienced by inundation controlled by meteorological factor, subsidence and astronomical tide. The purpose of this research is to investigate the model performance and the role of meteorological factor on inundation area by using the 2D Hydrodynamic model. The simulation outputs are verified by IKONOS satellite data. By using the air pressure and wind data as the atmospheric forcings on June 9, 2009 coincides with tropical cyclone Linfa on South China Sea, the output of the model shows that the inundation is expanded up to 221 m in the West Semarang and 270 in the Semarang Harbor, compare to the output just using the tidal data only. Modeled-results also show that the sea level increase 10 cm. The output of 2D Hydrodynamic model have same pattern with IKONOS satellite image when both of them compared, so the model simulation represented actual condition on inundation field.

Keywords: tidal flood, Semarang, 2D hydrodynamical model, IKONOS data

1. Pendahuluan

Banjir rob merupakan permasalahan yang pelik di pantai utara Jawa (Pantura) yang umumnya berupa dataran rendah. Salah satu kawasan yang mengalami rob adalah Semarang, dengan mengakibatkan kerusakan infrastruktur dan sosial ekonomi.

Suryanti dan Marfai[1] mendefinisikan rob sebagai banjir akibat proses pasang surut air laut yang menggenangi lahan/kawasan pesisir yang lebih rendah dari permukaan air laut rata-rata (*mean sea level*). NOAA[2] mengartikan rob secara lebih umum, yaitu banjir di daerah pesisir oleh karena air laut. Penyebab utama terjadinya banjir rob adalah *storm surge*, tsunami, *inland flooding*, dan *shallow coastal flooding*.

Storm surge merupakan kenaikan air laut yang diakibatkan oleh badai. Jika *storm surge* bertepatan dengan pasang naik, akibatnya bisa memperparah rob[3].

Tsunami merupakan rangkaian gelombang laut yang ditimbulkan oleh pergerakan di dasar laut, longsor, atau aktivitas vulkanis yang terjadi secara tiba-tiba[4]. Gelombang ini tidak tampak di laut, tapi setelah mendekati pesisir, gelombang melambat, dan kemudian mengalami refraksi oleh fitur-fitur di bawah permukaan laut, gelombang bisa mencapai ketinggian setidaknya 10 m di atas permukaan laut. Contoh ekstrem peristiwa tsunami adalah tsunami di Aceh tahun 2004 yang menyebabkan rusaknya ratusan desa dan memakan korban tak kurang dari 200.000 jiwa[5].

Inland flood bisa terjadi bila hujan dengan intensitas sedang turun berhari-hari, hujan dengan intensitas tinggi turun dalam jangka waktu pendek, atau ketika bendungan atau tanggul tidak mampu lagi menahan air sehingga air sungai meluap[2]. *Shallow coastal flooding* bisa terjadi misalnya bila ada badai dan mendorong air hingga ke daratan.

Dari simulasi IPCC[6], pada abad 21 kenaikan paras laut global lebih besar dibandingkan dengan periode 1961-2003. Pada tahun 2090 paras laut akan lebih tinggi sebesar 22-44 cm dibanding pada tahun 1990 dan naik sebesar 4 mm/tahun, dan faktor yang di proyeksikan berpengaruh pada kenaikan muka laut adalah ekspansi termal yang mencapai setengah dari kenaikan muka laut tetapi mencairnya es akan menyebabkan kenaikan paras laut secara cepat pada abad kedepan.

Perubahan paras laut dapat terjadi akibat adanya perubahan volume air, faktor yang umum menyebabkannya adalah pemuaian akibat pemanasan terutama laut lapisan atas dan peningkatan massa air akibat mencairnya es. Faktor lain yang berpengaruh beragam dan mencakup perpindahan massa air dari laut yang kemudian disimpan ke tempat lain secara alami. Tempat penyimpanannya meliputi danau, reservoir, air tanah, dan permafrost. Perubahan dari tata guna lahan, akan menyebabkan berubahnya sistem penyimpanan ini yang akan berpengaruh terhadap paras laut. Sebagai contoh penggunaan air tanah untuk irigasi dapat meningkatkan paras laut antara 0-0,5 mm/th. Sedangkan permafrost dan sedimentasi dapat juga meningkatkan paras laut walaupun kecil[7].

Keempat penyebab di atas hanya mengakibatkan rob yang bersifat insidental karena adanya faktor pemicu tertentu yang berjangka pendek. Dalam jangka panjang rob bisa disebabkan oleh faktor yang berjangka panjang, seperti kenaikan muka air laut dan penurunan muka tanah (*land subsidence*). Kenaikan muka air laut adalah penambahan ketinggian rata-rata (*mean level*) lautan[3]. Kenaikan muka air laut global disebabkan oleh perubahan volume lautan global akibat dari ekspansi karena suhu laut meningkat dan mencairnya glasier dan *ice sheet*.

Pemantauan bahaya rob selama ini dilakukan dengan simulasi dalam jangka waktu yang lama misalnya tahunan, melalui pendekatan analisa perubahan muka tanah. Hal ini tentunya tidak bisa mencakup kejadian-kejadian sesaat (seperti akibat adanya badai). Dengan demikian diperlukan pendekatan yang lebih komprehensif dalam pemantauan rob ini.

Pada penelitian ini daerah yang dikaji adalah daerah Semarang. Daerah tersebut dipilih karena akhir-akhir ini mengalami peningkatan frekuensi dan sebaran spasial genangan rob.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui wilayah genangan rob dengan simulasi model hidrodinamika di wilayah Semarang, melakukan validasi model dengan kejadian sesungguhnya berdasarkan data lapangan untuk mengetahui tingkat akurasi dan kehandalan model, serta mengidentifikasi daerah-daerah yang rawan rob di pantai utara Jawa.

Kenaikan paras laut ini akan berpengaruh terhadap kehidupan masyarakat pesisir, dan secara perlahan akan menyebabkan hilangnya wilayah terutama pulau-pulau kecil yang mempunyai elevasi rendah terhadap air laut. Pengaruh yang diakibatkan oleh kenaikan paras laut bersifat permanen, tetapi karena proses kenaikan paras laut ini berjalan lambat, adaptasi dan pencegahan bisa dilakukan jauh hari sebelumnya. Akibat yang diakibatkan oleh kenaikan muka laut diantaranya adalah (1) erosi pantai, (2) genangan dan perubahan lahan dataran, (3) peningkatan banjir pantai akibat badai, (4) dan peningkatan salinitas di daerah estuary dan akuifer (Barth dan Titus 1984 dalam Marfai & King, 2007[8]). Daerah dataran rendah seperti pantai, delta, estuary, laguna merupakan daerah yang paling terpengaruh akibat kenaikan paras laut. Yang perlu mendapat perhatian adalah perubahan paras laut ekstrim. Paras laut ekstrim (*extreme sea level*) terjadi akibat adanya badai, dari berbagai penelitian menunjukkan bahwa paras laut ekstrim pada akhir-akhir ini semakin meningkat. Pada beberapa kasus perubahan paras ekstrim, ditemukan bersamaan dengan perubahan paras lautnya. Seperti variabilitas tahunan, paras ekstrim berkorelasi dengan paras laut (*mean sea level*) regional, yang mengindikasikan pola iklim regional[6].

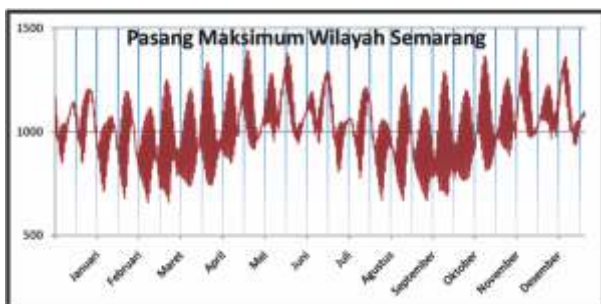
Pasang maksimum di suatu wilayah akan berkaitan erat dengan kejadian rob di suatu wilayah, pada saat terjadi pasang maksimum *sea level* otomatis juga akan naik. Karakteristik pasang surut di sajikan pada Gambar 1. sedangkan pasang maksimum di Semarang dapat dilihat pada Gambar 2.



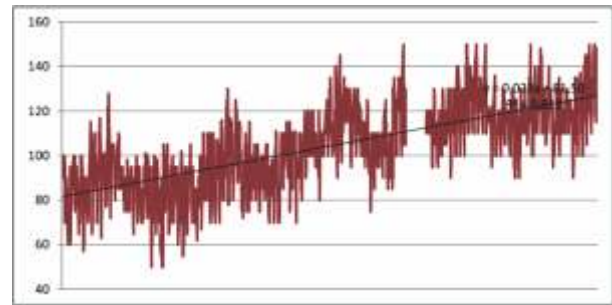
Gambar 1. Pola pasang surut harian daerah Semarang

Pola pasang harian di Semarang tahun 2006-2009 berdasarkan data pengukuran Stasiun Maritim Tanjung Mas BMKG pada Gambar 1. menunjukkan bahwa pada bulan transisi April-Mei-Juni merupakan rata-rata pasang tertinggi dengan nilai 106-127 cm, begitu juga pada transisi ke-dua bulan Oktober-November terjadi pasang tinggi dibanding bulan sebelum dan sesudahnya tetapi nilainya lebih rendah dibandingkan pada masa transisi sebelumnya.

Pola pasang surut maksimum di Semarang menunjukkan pola yang seragam setiap tahun. Pasang-pasang maksimum terjadi dua kali setiap tahun secara periodik. Umumnya terjadi pada masa peralihan menuju musim kemarau dan hujan seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Pasang-pasang tertinggi umumnya terjadi pada bulan April-Mei-Juni dan Oktober-November-Desember hal ini sesuai dengan pola pasang surut hariannya. Pada bulan April-Mei-Juni pasang umumnya terjadi pada siang sampai sore hari, sedangkan pada bulan Oktober-November pasang maksimum terjadi antara tengah malam sampai pagi hari. Salah satu akibat dari kejadian rob ini adalah terganggunya aktifitas kerja di daerah terdampak, khususnya yang terjadi pada siang hari. Pasang maksimum di wilayah Semarang ini berkisar antara 60 – 140 cm.



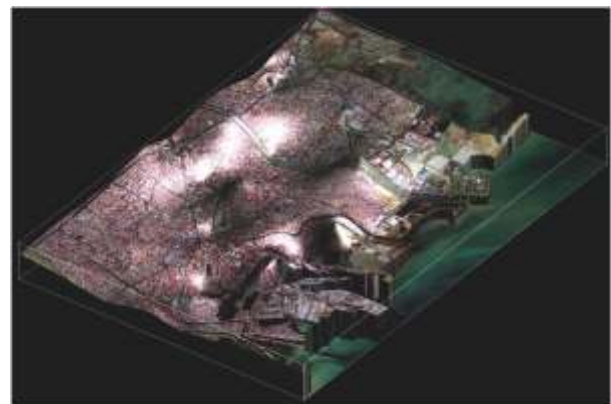
Gambar 2. Pola pasang maksimum daerah Semarang



Gambar3. Pola kenaikan pasang maksimum tahun 2006-2009

Pola perubahan pasang maksimum di Semarang mengalami tren kenaikan yang cukup besar, dari regresi linear didapatkan persamaan $y = 0,029x + 80,95$ dengan nilai $R^2 = 0,478$. Hal ini menunjukkan bahwa bila dihitung secara linear terdapat kenaikan sebesar 42,369 cm selama empat tahun (2006-2009). Tetapi hasil ini belum memperhitungkan penurunan tanah di lokasi pemasangan palem pengukur pasang surut. Dengan koreksi laju penurunan tanah dilokasi pemasangan palem akan didapatkan nilai kenaikan muka laut (berdasar pasang maksimum) yang lebih realistis sehingga akan didapatkan nilai perubahan muka laut yang sebenarnya.

Selain faktor pasang surut yang selalu terjadi sepanjang hari, *land subsidence* merupakan faktor yang berpengaruh terhadap kejadian rob. Disamping faktor topografi yang memegang peranan penting dalam kejadian rob, *land subsidence* bersifat memperparah terjadinya rob. Tetapi jika ini faktor ini bersifat massif maka akan bisa berubah menjadi faktor utama terjadinya rob. *Land subsidence* ini utamanya terjadi karena pengambilan air tanah secara berlebihan, pemampatan tanah (*compacting*) serta pelapukan tanah yang masih berusia muda secara geologi. Laju penurunan tanah sangat bervariasi mulai 0-13,5 cm per tahun. Tingkat laju penurunan yang tinggi ini tentunya akan semakin menambah luas wilayah genangan yang diakibatkan oleh rob air laut. Data-data tersebut setelah dipetakan akan terlihat seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Peta penurunan tanah Kota Semarang

Data Dinas Tata Kota (DTK) Semarang menunjukkan tingkat laju penurunan tanah tertinggi terjadi di sepanjang pantai Semarang Utara berada di sekitar wilayah Pelabuhan Tanjung Mas dengan penurunan lebih dari 10 cm/tahun, di sebagian lain wilayah Semarang Utara (bagian selatan) penurunan tanah berkisar antara 6 – 10 cm/tahun, sedangkan di wilayah Semarang tengah dan Semarang Timur laju penurunan tanah berkisar antara 2 – 4 cm/tahun [10].

Selain pasang maksimum dan penurunan tanah, faktor dinamis kondisi meteorologi juga dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap intensitas dan luasan banjir rob. Parameter tekanan dan angin memberikan pengaruh terhadap pergerakan massa air laut sehingga menyebabkan kenaikan Tinggi Muka Laut (TML) di pantai. Walaupun hal ini sangat tergantung dengan kondisi dan karakteristik suatu kawasan. Sebagai contoh fluktuasi TML di pantai Selatan Jawa berbeda dengan Utara Jawa. Di Selatan Jawa pengaruh *storm-surge* lebih kuat di dibandingkan dengan Utara Jawa, ini berkaitan dengan posisi pantai Selatan Jawa yang berhubungan langsung dengan Samudera Hindia dimana pengaruh siklon tropis masih sangat kuat. Hal yang berbeda di Pantai Utara Jawa dimana pengaruh siklon tropis relatif lebih kecil namun tidak juga menutup kemungkinan dapat mempengaruhi fluktuasi TML.

2. Metode Penelitian

Data yang digunakan dalam menjalankan model hidrodinamika 2D, yaitu: (1) data pasang surut yang digunakan pada batas terbuka model yang diperoleh dari model pasang surut global ORI.96 [9] dengan resolusi $1/4^\circ \times 1/4^\circ$ dan berdasarkan 8 komponen pasang surut (M_2 , S_2 , N_2 , K_2 , K_1 , O_1 , P_1 , dan Q_1); (2) batimetri dan topografi; (3) data angin dan tekanan atmosfer dengan interval setiap 6 jam dan resolusi $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ yang diperoleh dari NCEP (*National Centers for Environmental Prediction*); dan (4) data lintasan (*track*) badai.

Metodologi yang digunakan untuk mensimulasi kejadian rob di perairan Semarang ini adalah pemodelan hidrodinamika yang diselesaikan secara numerik. Persamaan pembangun (pengatur) yang digunakan dalam pemodelan hidrodinamika tersebut adalah persamaan perairan dangkal dua dimensi horisontal yang terdiri dari persamaan kontinuitas dan momentum, yaitu:

- Persamaan kontinuitas

$$\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

- Persamaan momentum dalam arah x

$$\frac{\partial h\bar{u}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}^2}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}\bar{u}}{\partial y} = f\bar{v}hgh - \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial P_a}{\partial x} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{\rho_0} (\tau_{xx} - \tau_{bx}) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (hT_{xy}) \quad (2)$$

- Persamaan momentum dalam arah y

$$\frac{\partial h\bar{v}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}\bar{v}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}^2}{\partial y} = -f\bar{u}hgh - \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial P_a}{\partial y} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{\rho_0} (\tau_{yy} - \tau_{by}) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xy}) + \frac{\partial}{\partial y} (hT_{yy}) \quad (3)$$

dengan: $h\bar{u} = \int_{-d}^{\eta} u dz$ dan $h\bar{v} = \int_{-d}^{\eta} v dz$

dimana

- t : waktu (s)
- h : elevasi muka air (m)
- d : kedalaman perairan (m)
- h : kedalaman total, yaitu $\eta + d$ (m)
- x, y : koordinat kartesian arah timur-barat dan utara-selatan (m)
- $\bar{u}, \bar{v}$: komponen kecepatan yang dirata-ratakan terhadap kedalaman pada arah x, y (ms^{-2})
- g : gravitasi (ms^{-2})
- f : parameter coriolis
- ρ : densitas (kg m^{-3})
- ρ_a : densitas referensi (kgm^{-3})
- P_a : tekanan atmosfer (Pa)
- T_{xx}, T_{xy}, T_{yy} : viskositas eddy horisontal ($\text{m}^2 \text{s}^{-2}$)

Perumusan viskositas eddy horisontal ditunjukkan:

$$T_{xx} = 2A \frac{\partial \bar{u}}{\partial x}, \quad T_{xy} = A \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right), \quad T_{yy} = 2A \frac{\partial \bar{v}}{\partial y}, \text{ dan}$$

$$A = c_s^2 l \sqrt{2S_{ij}S_{ij}} \text{ dimana } A \text{ adalah koefisien viskositas}$$

eddy, c_s adalah konstanta Smagorinsky, l adalah karakteristik panjang, dan S_{ij} adalah laju deformasi.

τ_{sx} dan τ_{sy} : Stress angin (Nm^{-2})

Stress angin diberikan dengan formulasi empirik berikut:

$$\bar{\tau}_s = \rho_a c_d |\bar{u}_w| \bar{u}_w, \quad \bar{\tau}_s = (\tau_{sx}, \tau_{sy}), \text{ dimana } \rho_a \text{ adalah}$$

densitas udara, c_d adalah koefisien drag angin, dan

$\bar{u}_w = (u_w, v_w)$ adalah kecepatan angin di permukaan laut.
 τ_{bx} dan τ_{by} : Gesekan dasar (Nm^{-2})

Gesekan dasar didefinisikan:

$$\bar{\tau}_b = c_f \bar{u}_b |\bar{u}_b|, \quad \bar{\tau}_b = (\tau_{bx}, \tau_{by})$$

dimana $\bar{u}_b = (u_{bx}, v_{by})$ adalah kecepatan arus yang dirata-ratakan terhadap kedalaman dan c_f adalah koefisien drag yang didefinisikan:

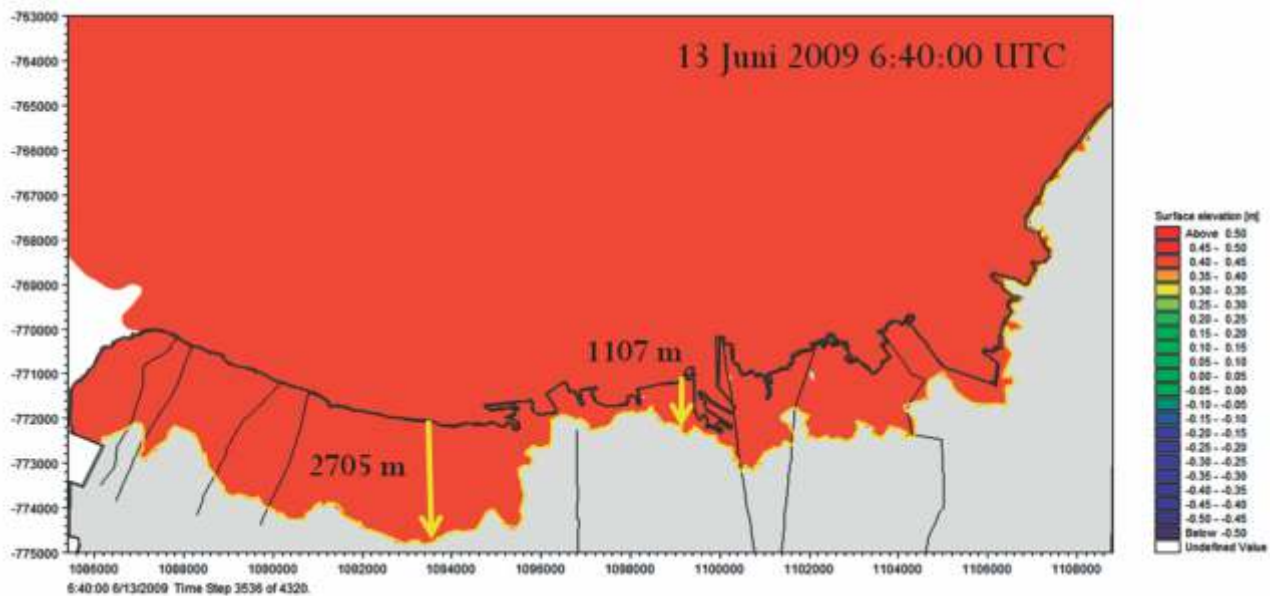
$$c_f = \frac{g}{(Mh^{1/6})^2}, \text{ dan } M \text{ merupakan bilangan Manning.}$$

3. Hasil dan Pembahasan

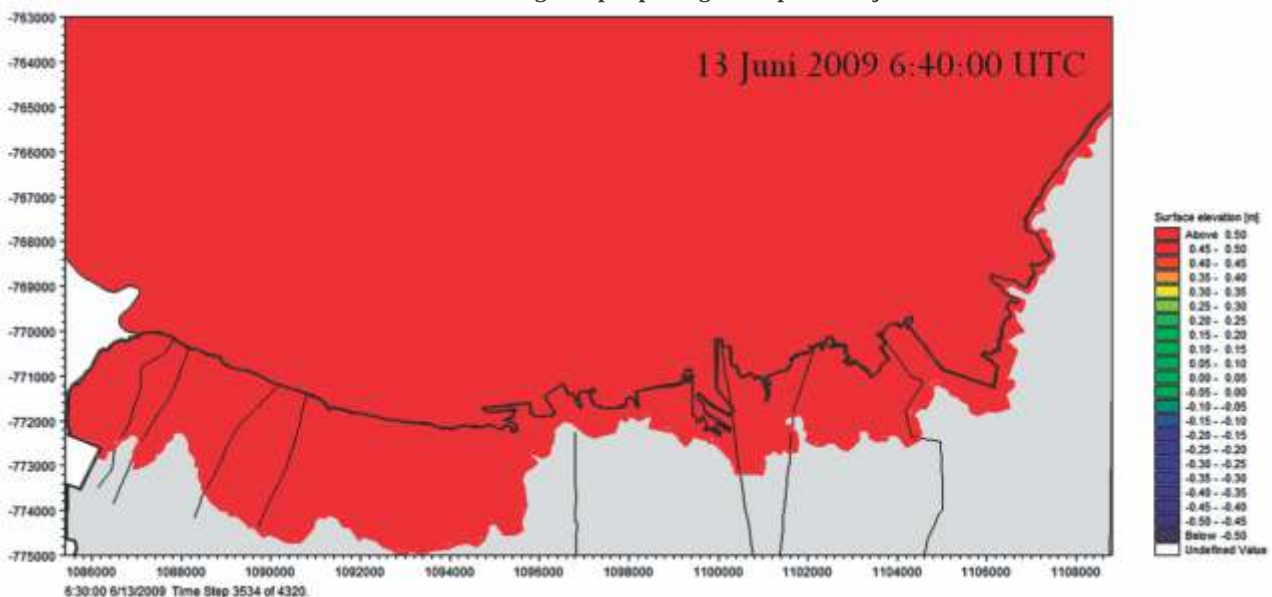
Pengaruh siklon tropis di Pantura sebelumnya sudah pernah di kaji oleh Ningsih[11] yang menyimpulkan bahwa siklon tropis Hagibis di Laut Cina Selatan dan Mitag di perairan Filipina pada periode 19–27 November 2007 menyebabkan kenaikan TML rata-rata < 20 cm yang menyebabkan beberapa kawasan di Pantura tergenang rob seperti Jakarta, Semarang dan Surabaya. Ini terjadi karena pada saat bersamaan juga terjadi pasang maksimum yang melanda sebagian besar daerah pesisir Pantura. Fenomena seperti ini biasa disebut *strom-tide* yaitu adanya akumulasi TML akibat pasang maksimum dan pengaruh aktivitas badai[12]. Walaupun dari hasil kajian ini terlihat bahwa pengaruh siklon tropis terhadap kenaikan TML tidak terlalu besar (< 20 cm) namun tetap saja hal ini harus kita cermati sebagai faktor yang dapat meningkatkan intensitas dan luasan banjir rob, ini diakibatkan kondisi morfologi Pantura yang relatif landai dan mempunyai elevasi rendah, menyebabkan kawasan ini rentan terhadap kenaikan TML.

Analisis menggunakan simulasi model hidrodinamika 2D berdasarkan setup model dan parametrisasi pada Ningsih[13]. Model dijalankan dengan batasan domain 99°–140° BT dan 17° LS–30° LU. Batas domain ini digunakan untuk dapat menangkap parameter tekanan dan angin permukaan yang diduga memberikan pengaruh terhadap kondisi meteorologi di kawasan Pantura khususnya daerah Semarang. Karena pada kajian ini akan lebih fokus ke daerah Semarang maka domain diatas dijadikan sebagai batasan luar model untuk menjalankan simulasi model di daerah Semarang. Pada penelitian ini, disimulasikan kejadian rob pada tanggal 13 Juni 2009 bertepatan dengan kejadian Siklon Tropis Linfa di Laut Cina Selatan.

Model di jalankan dengan menggunakan dua skema yaitu skema pertama hanya menyertakan pasang surut (*tide*) sebagai masukan model dan skema kedua dengan memasukan parameter meteorologi tekanan dan angin permukaan. Hasil model menunjukkan perbedaan nilai baik intensitas maupun luasan rob yang terjadi, ini dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6.



Gambar 5. Hasil luaran model dengan input pasang surut pada banjir rob 13 Juni 2009



Gambar 6. Hasil luaran model dengan masukan pasang surut dan faktor meteorologi pada banjir rob 13 Juni 2009

Dari Gambar 5. dapat dilihat bahwa simulasi dengan masukan pasang surut menghasilkan luaran genangan rob terjauh sebesar 2705 m dari bibir pantai untuk daerah Semarang Barat, sedangkan untuk daerah sekitar pelabuhan genangannya sejauh 1107 m. Hal ini menunjukkan bahwa topografi antara kedua daerah tersebut berbeda dan lebih landai untuk daerah Semarang Barat, sehingga tingkat kerentanan atas bahaya rob ini lebih tinggi untuk daerah Semarang Barat. Gambar 6.

merupakan hasil luaran simulasi model dengan menyertakan masukan pasang surut dan faktor meteorologi berupa angin dan tekanan permukaan. Genangan rob terjauh sebesar 2926 m dari bibir pantai untuk daerah Semarang Barat dan 1377 m untuk daerah pelabuhan. Dari data tersebut dapat dihitung bahwa faktor meteorologi menambah genangan terjauh sebesar 221 m untuk daerah Semarang Barat dan 270 m untuk daerah Pelabuhan Tanjung Mas.



Gambar 7. Perbandingan hasil luaran model dengan Citra Satelit IKONOS pada banjir rob Semarang 13 Juni 2009

Perbedaan yang hanya sekitar 7 % ini menunjukkan bahwa khusus di wilayah Semarang aspek pasang surut (*tide*) lebih dominan dibandingkan dengan aspek meteorologi. Masukan parameter angin dan tekanan tidak memberikan kenaikan TML yang cukup signifikan, tetapi dengan kita memasukkan parameter meteorologi membuat hasil luaran model menjadi lebih baik.

Kajian ini merupakan awal dan perlu di kembangkan lebih jauh lagi dengan melakukan simulasi pada musim Barat dan Musim Timur maupun pada masa peralihan, sehingga kita dapat merumuskan bagaimana pola dan karakteristik yang lebih detail. Walaupun demikian, dengan adanya hasil simulasi model ini dapat kita jadikan sebagai pondasi awal untuk dapat membangun sistem prediksi banjir rob ke depan sehingga dapat memberikan manfaat dalam antisipasi dan penanggulangannya.

Hasil perhitungan rob oleh model hidrodinamika 2D menunjukkan bahwa dengan input data pasang surut, berbeda dibandingkan saat dikombinasikan dengan data meteorologi yang berupa data angin dan tekanan permukaan. Kombinasi antara pasang surut dan data meteorologi menghasilkan luaran yang lebih luas. Pada simulasi menggunakan input pasang surut, *water level* yang dihasilkan hanya berasal dari energi yang dibangkitkan faktor astronomis yaitu gaya tarik bulan dan matahari terhadap bumi. Ketika faktor meteorologi disertakan sebagai input model, *water level* yang terjadi merupakan kombinasi antara pasang surut dengan angin serta tekanan permukaan, oleh karena itu *water level* yang dihasilkan pun lebih tinggi. *Water level* yang lebih tinggi akan menyebabkan *run up* yang lebih jauh sehingga daerah genangan yang diakibatkannya akan semakin luas dan semakin jauh ke arah daratan. Hal ini terlihat dari hasil simulasi ketika menyertakan input data meteorologi

menyebabkan peningkatan *water level* $\pm$ 10-20 cm serta perluasan daerah genangan sekitar 200 m ke arah darat. Masukan faktor meteorologi ini akan berpengaruh lebih signifikan ketika terjadi kondisi ekstrim seperti adanya siklon tropis yang besar dengan masa hidup yang lama. Pada kondisi seperti ini genangan rob tentunya akan semakin meluas.

Siklon tropis yang kemungkinan besar mempengaruhi rob di Semarang yaitu yang terjadi di sebelah utara ekuator terutama di Laut Cina Selatan, karena Semarang berada di Pantura. Energi yang disebabkan oleh adanya siklon tropis akan merambat melalui Selat Karimata diteruskan ke Laut Jawa dan akhirnya memasuki perairan Semarang. Rambatan energi ini akan menyebabkan *run up* ke daratan dan ketika berkombinasi dengan pasang maksimum maka wilayah genangannya akan semakin meluas. Dari ketiga faktor tersebut yang berupa pasang surut, perubahan pasang maksimum, laju penurunan tanah dan faktor meteorologi jika berkombinasi maka akan menyebabkan genangan yang luas dan sulit diatasi. Untuk itu perlu adanya penanganan dan antisipasi dari adanya bahaya kejadian rob ini, sedangkan model hidrodinamika 2D, secara umum sudah bisa menggambarkan kondisi rob yang diakibatkan oleh faktor meteorologi dan astronomi di Semarang.

4. Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa model hidrodinamika 2D dapat mensimulasikan rob yang terjadi di Semarang dan mendekati kondisi sebenarnya seperti yang terdeteksi pada citra satelit IKONOS. Faktor meteorologi berperan dalam meningkatkan *tinggi muka laut* $\pm$ 10-20 cm sehingga memperluas wilayah genangan sejauh 221 m ke arah darat di Semarang Barat dan 270 m di sekitar pelabuhan.

Saran

Penelitian ini masih jauh dari sempurna, masih banyak kekurangan yang harus dibenahi, selain wilayah cakupannya masih terbatas pada daerah Semarang juga sebaiknya disusun suatu sistem yang terintegrasi sehingga dapat digunakan untuk prakiraan rob secara berkala. Diharapkan penelitian ini dilanjutkan pada daerah lain sehingga informasi prediksi rob yang didapatkan semakin lengkap.

Ucapan Terimakasih

Terimakasih kami ucapkan kepada Kementerian Riset dan Teknologi yang sudah mendukung pendanaan penelitian ini melalui Program Peningkatan Kemampuan Peneliti dan Perekayasa (PKPP) tahun 2011.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Suryanti, E.D., dan M. A. Marfai. (2008). Adaptasi masyarakat kawasan pesisir Semarang terhadap bahaya banjir pasang air laut (rob). *Jurnal Kebencanaan Indonesia*, 1(5), 335-346
- [2] National Oceanic and Atmospheric Administration, National Hurricane Center. Storm Surge, (<http://www.nhc.noaa.gov/ssurge/index.shtml>), diakses Mei 2011)
- [3] NOAA Coastal Services Center. Coastal Inundation Toolkit, <http://www.csc.noaa.gov/digitalcoast/inundation/understand.html> (27 April 2011)
- [4] National Oceanic and Atmospheric Administration, Tsunami, (<http://www.tsunami.noaa.gov/>) diakses 26 Mei 2011)
- [5] Stewart, R.H. (2008). *Introduction to physical oceanography*. Texas A & M University
- [6] IPCC AR4. (2004). *Oceanic climate change and sea level*.
- [7] Pugh, D. (1983). *Changing sea level*. Cambridge University Press
- [8] Marfai, M. A. & L. King. (2007), Potential vulnerability implications of coastal inundation due to sea level rise for the coastal zone of Semarang city, Indonesia. *Environmental Geology*, 54, 1235-1245
- [9] Matsumoto, K., M. Ooe, T. Sato, & J. Segawa. (1995). Ocean tides model obtained from TOPEX/POSEIDON altimeter data. *Journal of Geophysical Research*, 100, 25319-25330
- [10] Wirasatriya, A. (2005). *Kajian Kenaikan Muka Laut Sebagai Landasan Penanggulangan Rob di Pesisir Kota Semarang*, Tesis, Program Pasca Sarjana, Universitas Diponegoro, Semarang.
- [11] Mc Innes, K.L. Walsh, K.J.E & Pittock, A.B. (2000). *Impact of Sea Level Rise and Storm Surge on Coastal Resort*. CSIRO Atmospheric Research
- [12] Ningsih (2010). Simulation of susceptible areas to the impact of stormtide flooding along northern coasts of Java. *Proceedings of the Int. Conf. on Industrial and Appl. Math.*, Indonesia