

Analisa Hidrolika Penggunaan Pintu Air pada Proyek Reklamasi Pantai Utara DKI Jakarta dengan Perangkat Lunak SMS 8.1

Hernawan Mahfudz

Kelompok Keahlian Teknik Sumber Daya Air, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan,
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No. 10 Bandung 40132, Email: hernawan_m@yahoo.com

Dhemi Harlan

Kelompok Keahlian Teknik Sumber Daya Air, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan,
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No. 10 Bandung 40132, Email: dhemi@si.itb.ac.id

Meutia Sistarani

Program Studi Sarjana Teknik Sumber Daya Air, Program Studi Teknik Sipil,
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No. 10 Bandung 40132,
E-mail: moe_tiach@yahoo.com

Ahmad Mukhlis Firdaus

Program Studi Magister Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan,
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No. 10 Bandung 40132,
Email: ahmadmukhlisfirdaus@yahoo.com

Abstrak

Bertambahnya penduduk di wilayah DKI Jakarta tidak sebanding dengan bertambahnya lahan potensial yang masih dapat digunakan. Salah satu cara untuk memperoleh lahan adalah dengan reklamasi pantai di wilayah utara Jakarta. Perangkat lunak Surface-Water Modeling System (SMS) dapat digunakan untuk menganalisa pengaruh hidrolik yang terjadi sebelum dan setelah adanya reklamasi. Pemodelan menggunakan SMS versi 8.1 ini akan meliputi tiga buah skenario; kondisi eksisting, kondisi reklamasi dengan pintu air terbuka, dan kondisi reklamasi dengan pintu air tertutup. Input yang digunakan pada pemodelan adalah data debit rata-rata di hulu sungai dan data pasang surut. Output pemodelan adalah berupa vektor kecepatan dan arah aliran air serta gambaran elevasi muka air. Hasil dari pemodelan ini disimpulkan bahwa pengaruh pasang surut akan semakin membesar pada bagian muara sungai ketika reklamasi terlaksana dan pintu dalam kondisi terbuka, Tanggul eksisting yang telah berada pada sungai tidak akan berfungsi apabila dilakukan penambahan pintu air, baik dalam kondisi terbuka maupun tertutup, dan dalam kondisi pintu air tertutup, elevasi muka air sungai akan meningkat di bagian hulu.

Kata-kata Kunci: *Elevasi muka air, pasang surut, banjir, pintu air.*

Abstract

The rapidly increasing amount of citizens in DKI Jakarta is unbalanced with the amount of potential usable land. The method to acquire this by doing coast reclamation especially in North Jakarta. The Surface-Water Modeling System (SMS) software can analyze the hydraulic effect that happened before and after the reclamation. Using SMS version 8.1, this paper mainly describes three scenarios influencing the reclamation site, which are the existing scenario before reclamation and the scenario after reclamation with opened and closed flood gate. The inputs needed are the average flow rate in the head of the river and the tidal movements' data. The coming outputs will be the velocity vector, water direction, and an image of the water elevation. The analysis process concludes that after the reclamation has been accomplished, the influence of the tidal movements becomes bigger at the river mouth when the flood gate is opened, and the water elevation increases at the upper stream when the flood gate was closed. It also concludes that the existing dam in the river will suffer failure if there were more flood gates whether it is opened or closed.

Keywords: *Water elevation, tidal movements, flood, water gate.*

1. Pendahuluan

Sebagai Ibukota Negara, Kota Jakarta layak menjadi lokasi pusat kegiatan di Indonesia. Bertambahnya penduduk yang terjadi di Kota ini menyebabkan berkurangnya lahan yang bisa dimanfaatkan. Keinginan untuk mengembangkan kota ke arah timur terbentur oleh lahan pertanian beririgasi teknis yang tidak boleh diubah fungsinya. Dan pengembangan ke arah selatan amat terbatas, karena kawasan ini merupakan wilayah resapan air. Oleh karena itu, pengembangan wilayah Utara Jakarta merupakan salah satu cara yang dapat dilakukan untuk menambah lahan di Kota ini.

Upaya mengembangkan wilayah Utara Jakarta ini dapat dilakukan dengan pembangunan reklamasi di pantai utara dengan memperhatikan jenis konstruksi dan metode konstruksi yang dapat meminimalisir dampak yang timbul, baik dampak lingkungan maupun dampak sosial. Selain untuk memperkecil ketertinggalan dengan wilayah-wilayah lainnya di DKI Jakarta, reklamasi juga diharapkan dapat mengatasi kelangkaan lahan di kota metropolitan ini. (Soehoed, 2004)

Tulisan ini hanya dibatasi pada analisa perilaku muka air dengan adanya debit di hulu dan pasang surut dalam kondisi reklamasi tanpa pintu dan reklamasi dengan adanya pintu dengan menggunakan model numerik *Surface-Water Modeling System* (SMS) versi 8.1.

2. Gambaran Umum Lokasi Studi

Lokasi proyek reklamasi pantai utara DKI Jakarta terletak di sepanjang pantai yang merupakan bagian rencana reklamasi kawasan Kapuk Niaga Indah Pantai Utara Provinsi DKI Jakarta. (Legono dan Rahardjo, 2007)



Gambar 1. Lokasi reklamasi

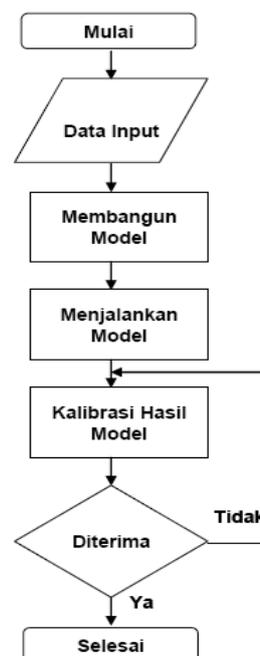
Isu utama dalam dampak lingkungan dari pembangunan reklamasi di Pantai Utara adalah meningkatnya banjir di daerah hulu dan muara sungai. Diantara solusi yang diajukan adalah penggunaan pintu air sebagai pembatas antara area reklamasi (termasuk muara sungai di dalamnya) dan laut (Tim LAPI ITB, 2004). Pintu air dimaksudkan untuk menahan pasang surut dengan menggunakan sistem otomatis (*Flap Gate*), dimana air yang tertahan dapat dimanfaatkan sebagai sumber air baku. Pengoperasian pintu dilengkapi dengan pompa untuk menjamin tinggi muka air.

Berdasarkan rencana umum pengembangan wilayah pantai utara Jakarta, perairan yang terletak pada lokasi studi merupakan salah satu dari beberapa kawasan pantai utara Jakarta yang dinilai cukup potensial untuk direklamasi. Untuk memperkecil kemungkinan timbulnya permasalahan berupa kenaikan elevasi muka air di sekitar muara sungai, dipikirkan adanya alur-alur reklamasi diantara kawasan reklamasi tersebut.

3. Pemodelan SMS 8.1

Surface-Water Modeling System (SMS) adalah perangkat lunak yang memiliki kemampuan sebagai pemroses awal dan akhir (*pre-processor* dan *post-processor*) untuk pemodelan muka air. Proses awal (*pre-process*) pemodelan adalah kegiatan melakukan diskritisasi terhadap sebuah fungsi atau persamaan, sedangkan proses akhir (*post-process*) pemodelan adalah kegiatan menyajikan data hasil pemodelan yang dilakukan.

Diagram alir proses pengolahan data dengan perangkat lunak SMS 8.1 dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 2. Flowchart pemodelan SMS

Proses penghitungan pemodelan, yaitu proses diantara *pre-process* dan *post-process*, adalah kegiatan untuk menyelesaikan persamaan matriks untuk mendapatkan solusi pada setiap node. Proses penghitungan ini dilakukan oleh model-model numerik yang merupakan modul-modul dari SMS. Model-model numerik yang di-support meliputi model dari *United States Army Corps of Engineer-Waterways Experiment Station* (USACE-WES), antara lain TABS-MD (yang didalamnya berisi GFGEN, RMA2, RMA4, SED2D), ADCIRD, CGWAVE, STWAVE, dan HIVEL2D, model dari *U.S. Federal Highway Administration* (FHWA), antara lain FESWMS dan WSPRO, dan beberapa model komersil lainnya. Dalam hal ini, modul yang akan digunakan adalah TABS-MD, yang meliputi GFGEN dan RMA2.

Tujuan dari GFGEN adalah untuk membuat file geometri dan file *mesh* elemen hingga sebagai input program sistem dan pemodelan SMS. Program ini menyajikan pemeriksaan *mesh* secara rutin dan penyusunan kembali *mesh*.

RMA2 digunakan untuk menghitung elevasi permukaan air dan kecepatan komponen aliran arah horisontal dalam dua dimensi. RMA2 menyelesaikan solusi elemen hingga bentuk Reynolds dari persamaan Navier-Stokes untuk aliran turbulen. Pengaruh kekasaran dikalkulasikan menggunakan koefisien Manning atau Chezy, dan koefisien kekentalan eddy dipergunakan untuk memperhitungkan karakteristik turbulen. Baik masalah aliran langgeng maupun tidak langgeng (dinamik) dapat diselesaikan.

Secara umum RMA2 dapat memodelkan muka air dan distribusi kecepatan pada daerah sekeliling sebuah pulau, pola aliran badan sungai, aliran di bawah jembatan, pertemuan dua sungai atau lebih, dan berbagai pemodelan umum elevasi muka air dan pola aliran pada sungai, reservoir, dan muara.

Model numerik RMA2 menyelesaikan persamaan kekekalan massa dan momentum air yang diintegrasikan terhadap kedalaman (*depth-averaged*) pada dua dimensi horisontal. Percepatan arah vertikal diabaikan sehingga vektor kecepatan memiliki besar dan arah yang sama sepanjang kolom air. Kecepatan aliran kedalaman rata-rata u yang digunakan oleh RMA2 dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$U = \frac{1}{h} \int_0^h u(z) dz \quad (1)$$

dimana,

- U : Kecepatan arus kedalaman rata-rata (dalam arah x)
- h : Kedalaman perairan elemental
- u(z) : Kecepatan aliran sebagai fungsi arah vertikal
- z : Koordinat vertikal

Bentuk persamaan pengatur RMA2 yang telah diselesaikan adalah:

Arah x:

$$h \frac{du}{dt} + hu \frac{du}{dx} + hv \frac{du}{dy} - \frac{h}{\rho} \left(E_{xx} \frac{d^2u}{dx^2} + E_{yy} \frac{d^2u}{dy^2} \right) + gH \left(\frac{da}{dx} + \frac{dh}{dx} \right) - \frac{gun^2}{(1.486h^{1/6})^2} + (u^2 + v^2)^{1/2} - \xi V_a^2 \cos \psi - 2h\omega v \sin \phi = 0 \quad (2)$$

Arah y:

$$h \frac{dv}{dt} + hu \frac{dv}{dx} + hv \frac{dv}{dy} - \frac{h}{\rho} \left(E_{yx} \frac{d^2v}{dx^2} + E_{yy} \frac{d^2v}{dy^2} \right) + gH \left(\frac{da}{dy} + \frac{dh}{dy} \right) - \frac{gvn^2}{(1.486h^{1/6})^2} + (u^2 + v^2)^{1/2} - \xi V_a^2 \cos \psi - 2h\omega v \sin \phi = 0 \quad (3)$$

dimana,

- h : Kedalaman vertikal
- u, v : Kecepatan aliran dalam arah x, y
- x, y, t : Koordinat kartesius dan waktu
- ρ : Koefisien kekentalan eddy
Indeks xx : arah normal terhadap x
Indeks yy : arah normal terhadap y
Untuk xy dan yx : arah geser
- g : Percepatan gravitasi
- a : Elevasi dasar perairan
- n : Koefisien kekasaran Manning
- 1,486 : Konversi SI ke satuan Inggris
- ξ : Koefisien geser angin empiris
- V_a : Kecepatan angin
- ψ : Arah angin
- ω : Kecepatan rotasi bumi
- Φ : Posisi lintang geografis

(U.S. Army Corps of Engineer, 1984)

Persamaan momentum air yang digunakan di sini hanya menghitung elevasi muka air akibat pasang surut. Elevasi muka air akibat pengaruh gelombang sama sekali tidak diperhitungkan.

Persamaan-persamaan di atas dapat diselesaikan dengan metode elemen hingga menggunakan metoda Galerkin (*weight residual*). Elemen yang digunakan adalah elemen satu dimensi maupun dua dimensi segi tiga (*triangles*) dan segi empat (*quadrilateral*). Fungsi bentuk (*shape function*) adalah kuadratik untuk kecepatan dan linier untuk kedalaman. Teknik integrasi menggunakan integrasi Gaussian. (Environmental Modeling Research Laboratory, 2003)

Output pertama dari hasil simulasi adalah berupa tinggi muka air dari *Mean Sea Level* (MSL) berupa grafik data pasut, yang nantinya dikalibrasi terhadap data lapangan yang diperoleh dari survei lapangan. Output kedua adalah arah dan besar arus yang membentuk pola pergerakan arus di lokasi yang dimodelkan.

4. Hipotesa

Lokasi studi yang berbatasan langsung dengan laut dipengaruhi pasang surut yang cukup besar, khususnya pada bagian hilir / muara sungai. Pertemuan antara aliran sungai dan laut dapat dilihat pada **Gambar 3** khususnya pada bagian M1.

Bila bagian hilir direklamasi, maka area pengaruh aliran akan bertambah karena jarak pertemuan antara aliran dari sungai dengan laut akan menjadi semakin jauh. Hal ini menyebabkan kemiringan elevasi muka air sungai akan melandai sehingga pengaruh pasang surut akan lebih terlihat di bagian hilir. Perbedaannya dapat dilihat pada **Gambar 4**.

Profil M1 adalah profil muka air sebelum reklamasi sedangkan M1' adalah profil muka air setelah reklamasi. Elevasi muka air pada kondisi pintu terbuka akan meningkat bila dibandingkan dengan kondisi sebelum adanya pintu dan pulau reklamasi karena terjadi penyempitan aliran air bebas akibat adanya struktur reklamasi tersebut.

Apabila pintu ditutup, akan terjadi kenaikan elevasi muka air pada bagian hulu. Elevasi muka air ini kemudian akan berfluktuasi mengikuti kontur dasar sungai yang ada.

5. Pemodelan dan Analisa Data

Ada tiga jenis skenario pemodelan yang akan dijalankan sebagai berikut:

1. Skenario I, kondisi eksisting sebelum adanya reklamasi
2. Skenario II, kondisi setelah reklamasi
3. Skenario III, kondisi setelah reklamasi dengan pintu air dalam keadaan tertutup

Pemodelan skenario I dilakukan sesuai dengan data-data yang didapatkan pada kondisi sebelum adanya pulau-pulau hasil reklamasi. Dengan menggunakan input debit pada bagian hulu tiap sungai, akan dilakukan pemodelan untuk mengetahui seberapa

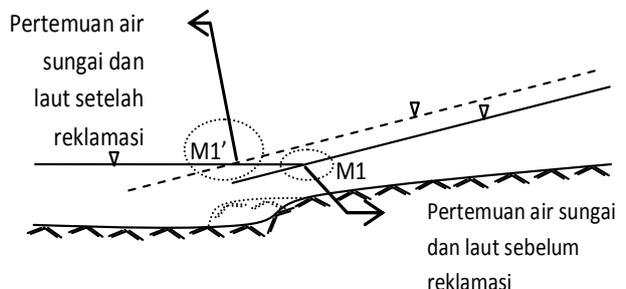
besar pengaruh pasang surut yang terjadi di sungai-sungai yang bermuara di areal reklamasi pada kondisi eksisting (sebelum adanya reklamasi). Hasil pemodelan Modul RMA2 dari perangkat lunak SMS ini adalah berupa pola kecepatan dan elevasi muka air pada daerah yang dimodelkan.

Proses simulasi RMA2 dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

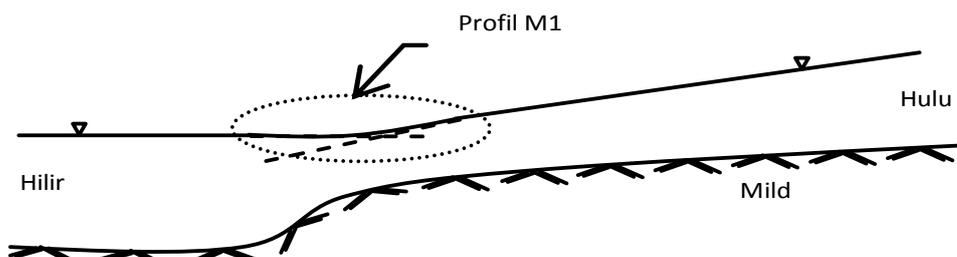
1. Mempersiapkan peta batimetri
2. Membuat *mesh* dan domain pemodelan
3. Memasukkan data batimetri
4. Menentukan kontrol model
5. Memasukkan Kondisi Batas (*Boundary Condition*)

Setelah memasukkan data kondisi batas dan tahap-tahap persiapan lainnya, program RMA2 siap dijalankan. Output elevasi muka air pada daerah pemodelan ditampilkan pada saat akan surut dalam kondisi purnama (spring) dari data pasang surut yang digunakan dalam pemodelan. Kondisi purnama yang digunakan dalam analisa ini dimaksudkan untuk melihat elevasi maksimum dari pengaruh pasang surut terhadap kenaikan muka air di sungai. Kecepatan arus rata-rata dari hasil pemodelan skenario I pada saat menuju surut di spring tide adalah 1,2 m/s.

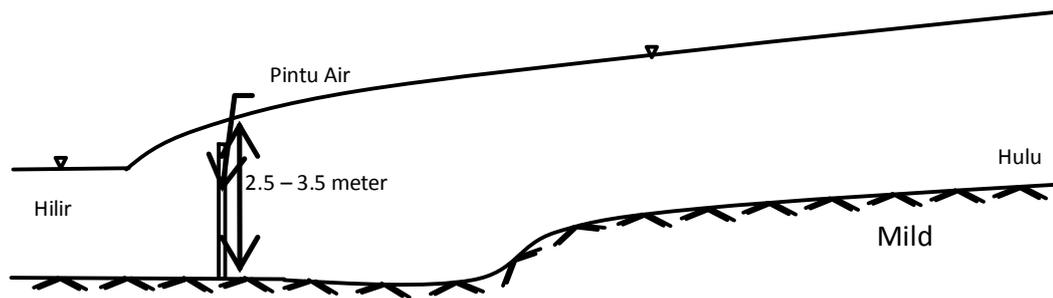
Dari hasil pemodelan diketahui bahwa pada saat neap, tinggi tunggang pasang di muara Sungai Angke kurang lebih sebesar 0,75 meter sedangkan di hulu sungai



Gambar 4. Perbedaan potongan pasang surut sebelum dan sesudah reklamasi



Gambar 3. Hipotesa potongan memanjang muka air eksisting (kondisi steady) (Ven Te Chow, 1959)



Gambar 5. Hipotesa pintu tertutup

berkurang menjadi 0,5 meter. Berdasarkan hasil tersebut diketahui bahwa pada lokasi hulu Sungai Angke, ± 5 km dari muara, masih terpengaruh pasang surut tetapi sudah mulai berkurang.

Tinggi tunggang pasang saat neap di muara Sungai Cengkareng kurang lebih sebesar 0,75 meter sedangkan di hulu sudah mendekati 0 meter. Berdasarkan hasil tersebut diketahui bahwa pada lokasi hulu Sungai Cengkareng, ± 5 km dari muara, juga sudah tidak terpengaruh pasang surut. Hal ini dapat terjadi karena Sungai Cengkareng memiliki lebar penampang dan debit yang cukup besar.

Tinggi tunggang pasang saat neap di muara dan di hulu Sungai Kamal sebesar 0,75 meter. Berdasarkan hasil tersebut diketahui bahwa pada lokasi hulu Sungai Kamal, ± 5 km dari muara, pengaruh pasang surut masih cukup besar. Hal ini dapat terjadi karena kondisi batimetri Sungai Kamal yang dangkal dan debit yang tidak terlalu besar.

Tinggi tunggang pasang saat neap di muara Sungai Dadap sebesar 0,5 meter sedangkan di hulu sebesar 0,4 meter. Berdasarkan hasil tersebut diketahui bahwa pada lokasi hulu Sungai Dadap, ± 5 km dari muara, pengaruh pasang surut masih ada namun sudah berkurang.

Perbandingan pengaruh pasang surut tiap hulu sungai dapat dilihat secara lebih jelas pada gambar berikut. Di sini dapat dilihat bahwa pengaruh pasang surut terlihat paling kecil berada pada Sungai Cengkareng bagian hulu, dan pengaruh pasang surut masih terlihat cukup besar pada bagian hulu Sungai Kamal.

Diantara keempat sungai yang berada pada lokasi studi, elevasi muka air sungai tertinggi pada saat pasang dimiliki oleh Sungai Angke. Sedangkan pada saat surut dimiliki oleh Sungai Cengkareng. Profil muka air saat pasang dan surut dari tiap sungai dapat dilihat pada **Gambar 9** dan **10**.

Skenario II menggunakan input arus rata-rata pada sungai-sungai yang termasuk dalam domain pemodelan. Input arus rata-rata ini dimaksudkan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh pasang surut yang terjadi di sungai-sungai yang bermuara di areal reklamasi pada saat setelah adanya reklamasi.

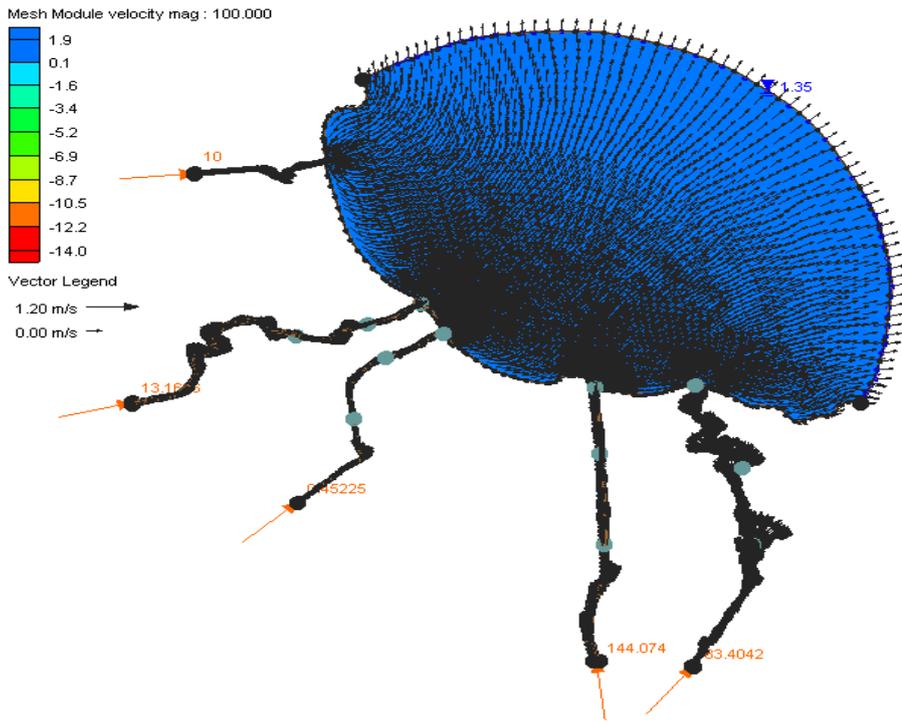
Kecepatan arus rata-rata dari hasil pemodelan pada saat menuju surut di spring tide adalah 2,57 m/s. Tinggi tunggang pasang saat neap di muara Sungai Angke sebesar 0,75 meter sedangkan di hulu sungai sudah berkurang menjadi 0,5 meter. Berdasarkan hasil tersebut diketahui bahwa pada lokasi hulu Sungai Angke, ± 5 km dari muara, terpengaruh pasang surut tetapi sudah mulai berkurang, dimana kondisi ini sama dengan kondisi skenario I.

Tinggi tunggang pasang saat neap di muara Sungai Cengkareng sebesar 0,75 meter sedangkan di hulu sungai sudah berkurang menjadi 0 meter. Berdasarkan hasil tersebut diketahui bahwa pada lokasi hulu Sungai Cengkareng, ± 5 km dari muara, sudah tidak terpengaruh pasang surut, dimana kondisi ini sama dengan kondisi skenario I.

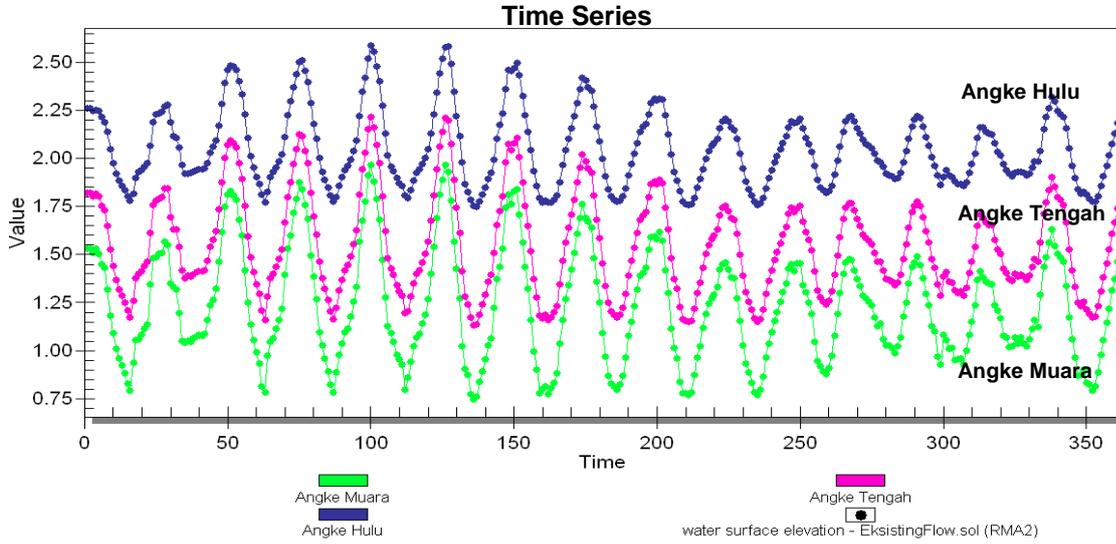
Tinggi tunggang pasang saat neap di muara Sungai Kamal sebesar 0,75 meter sedangkan di hulu sungai. Berdasarkan hasil tersebut diketahui bahwa pada lokasi hulu Sungai Kamal, ± 5 km dari muara, pengaruh pasang surut masih cukup besar, dimana kondisi ini sama dengan kondisi skenario I.

Tinggi tunggang pasang saat neap di muara Sungai Dadap sebesar 0,5 meter sedangkan di hulu sungai sudah berkurang menjadi 0,4 meter. Berdasarkan hasil tersebut diketahui bahwa pada lokasi hulu Sungai Dadap, ± 5 km dari muara, pengaruh pasang surut sudah mulai berkurang, dimana kondisi ini sama dengan kondisi skenario I.

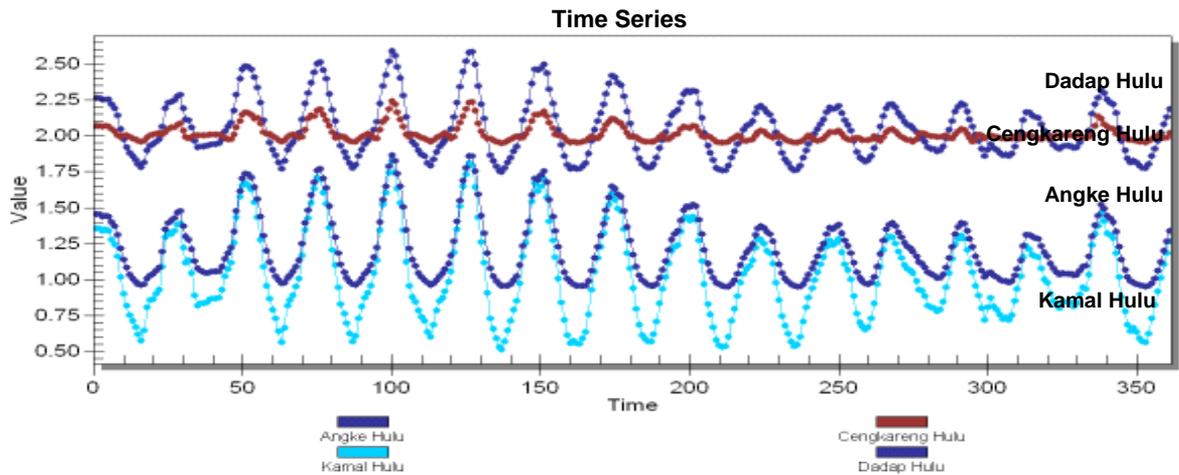
Perbandingan pengaruh pasang surut tiap hulu sungai dapat dilihat pada gambar berikut. Seperti halnya pada skenario pertama, di skenario kedua ini juga dapat dilihat bahwa pengaruh pasang surut terlihat paling kecil berada pada Sungai Cengkareng bagian hulu, dan pengaruh pasang surut masih terlihat cukup besar pada bagian hulu Sungai Kamal.



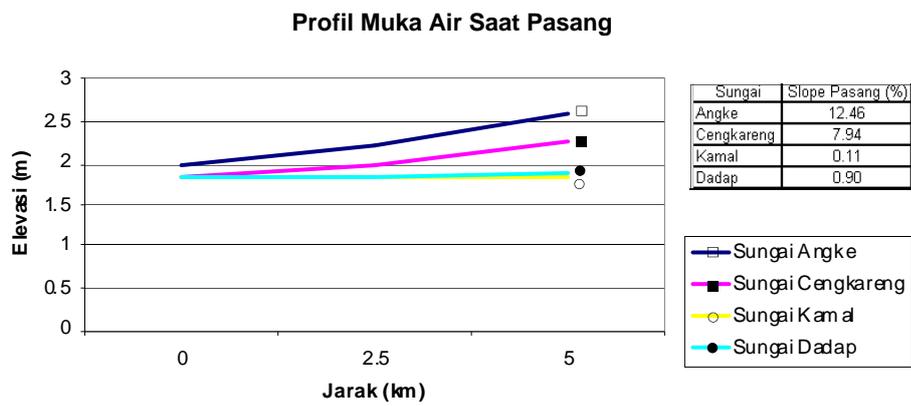
Gambar 6. Vektor kecepatan dan arah aliran saat menuju surut di spring tide



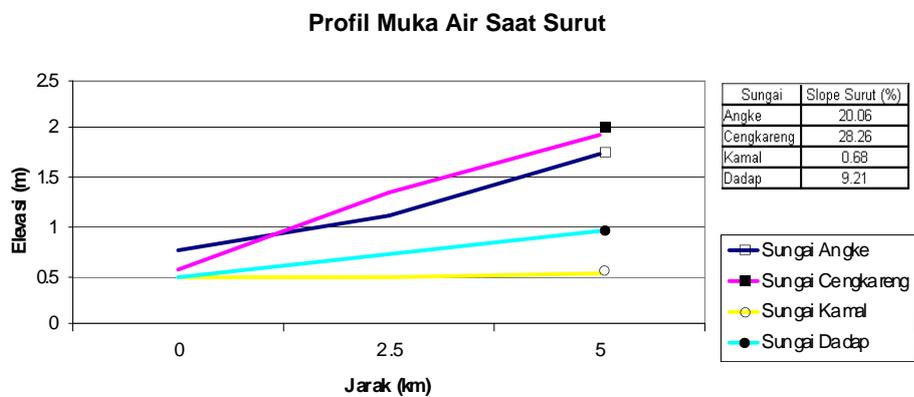
Gambar 7. Perubahan elevasi muka air pada lokasi titik-titik pengamatan Sungai Angke



Gambar 8. Perbandingan pengaruh pasang surut skenario I



Gambar 9. Profil muka air pasang eksisting



Gambar 10. Profil muka air surut eksisting

Diantara keempat sungai yang berada pada lokasi studi, elevasi muka sungai tertinggi pada saat pasang terjadi pada Sungai Angke. Sedangkan pada saat surut terjadi pada Sungai Cengkareng.

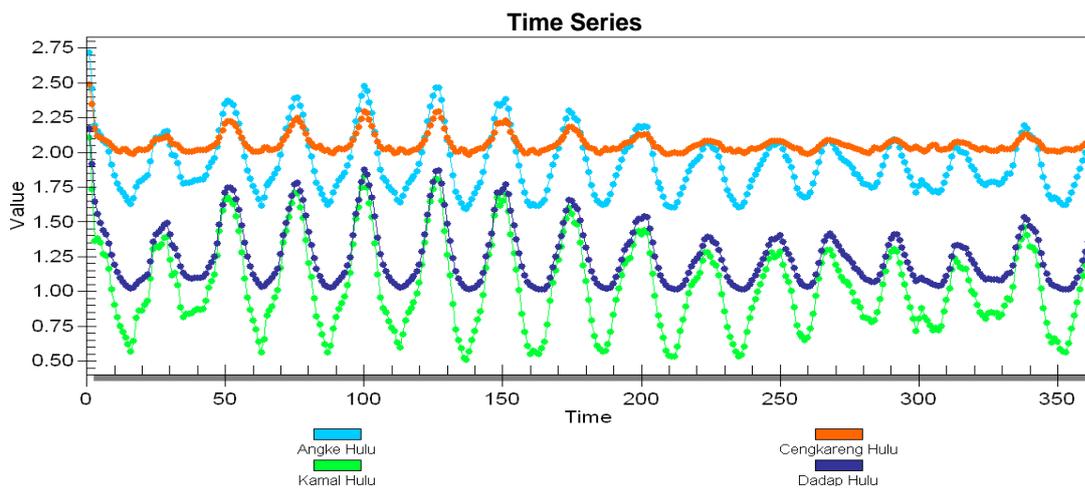
Hasil pemodelan elevasi muka air pada saat sebelum dan sesudah adanya pulau-pulau hasil reklamasi ditunjukkan pada **Gambar 14** hingga **17**. Pada **Gambar 17** dapat dilihat bahwa kondisi pengaruh pasang surut setelah reklamasi di Sungai Dadap juga sama dengan kondisi di Sungai Angke dimana kemiringan dari garis pengaruh pasang surut menjadi lebih landai. Sehingga mengakibatkan pengaruh pasang surut akan tertarik ke arah muara sungai.

Bila dilihat dari perbandingan angka hasil pemodelan tiap skenario pada waktu-waktu tertentu, dapat diketahui bahwa dengan adanya pulau hasil reklamasi pada wilayah studi menyebabkan naiknya elevasi muka air. Kenaikan yang terjadi tidak begitu

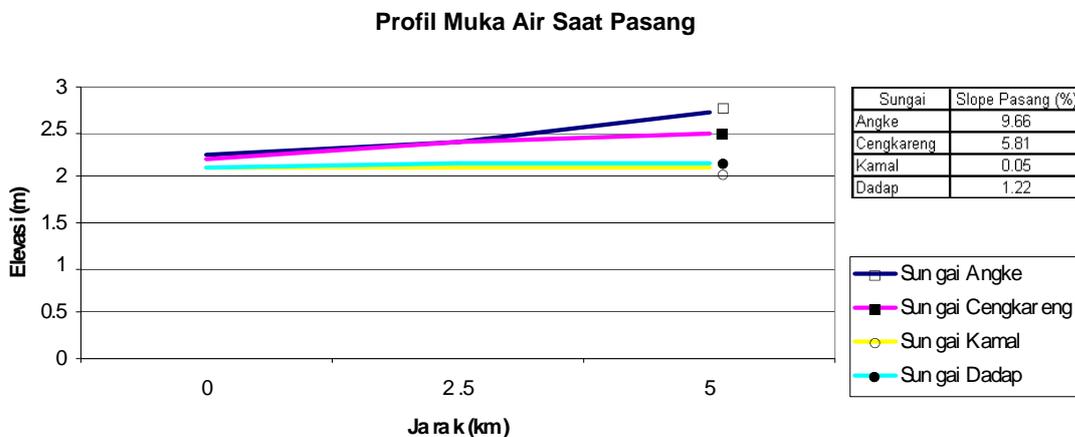
signifikan, selisih maksimum dari kondisi sebelum reklamasi dan sesudah reklamasi adalah 0,180 meter. Mayoritas selisih tertinggi terjadi pada bagian tengah dan muara sungai. Sehingga dapat mengakibatkan pengaruh pasang surut akan tertarik ke arah muara sungai. Angka hasil pemodelan di bawah ini didapat setelah menjalankan program RMA2 untuk kondisi sebelum reklamasi dan setelah reklamasi. Untuk bagian pasang, angka hasil pemodelan diperoleh dari data pada waktu ke 99. Sedangkan untuk bagian surut, angka hasil pemodelan diperoleh dari data pada waktu ke 135.

Selain menggunakan data input arus rata-rata pada tiap sungai, skenario II ini juga menggunakan input hidrograf sungai. Hal ini dilakukan untuk mengetahui perubahan elevasi muka air yang terjadi pada sungai-sungai sesuai dengan kondisi hidrograf banjir.

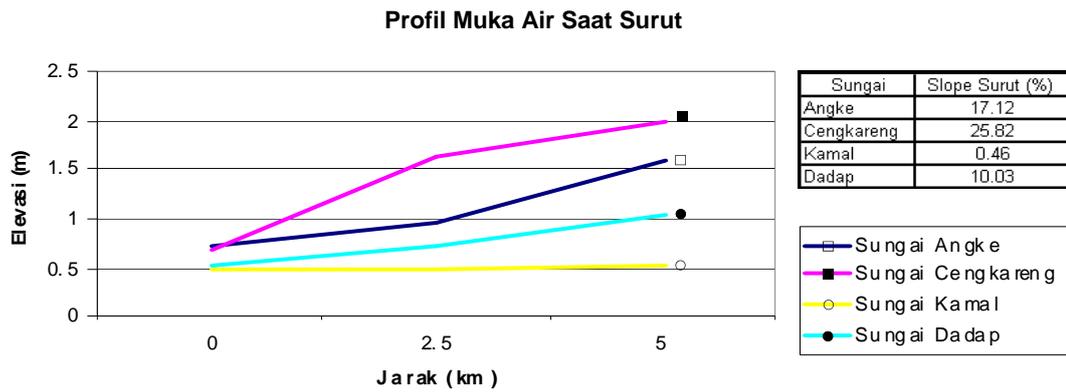
Kecepatan arus rata-rata dari hasil pemodelan pada saat menuju surut di spring tide adalah 6,00 m/s.



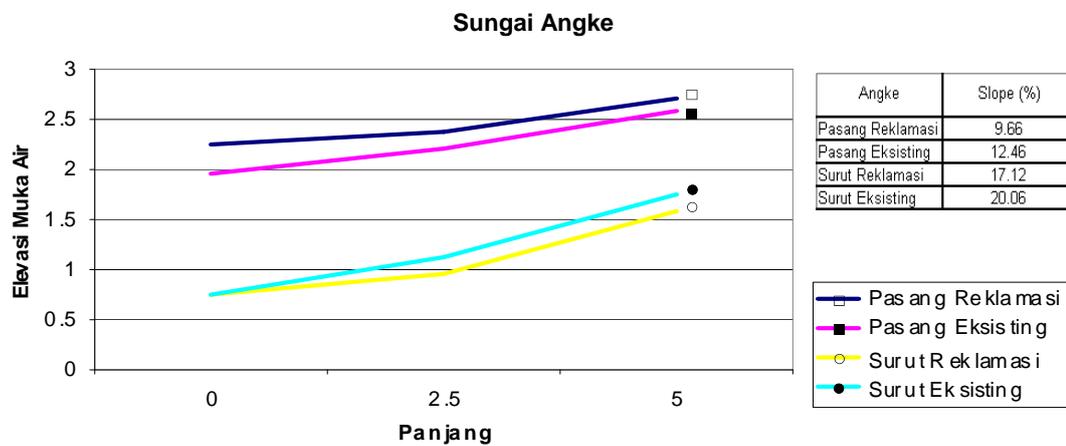
Gambar 11. Perbandingan pengaruh pasang surut skenario II



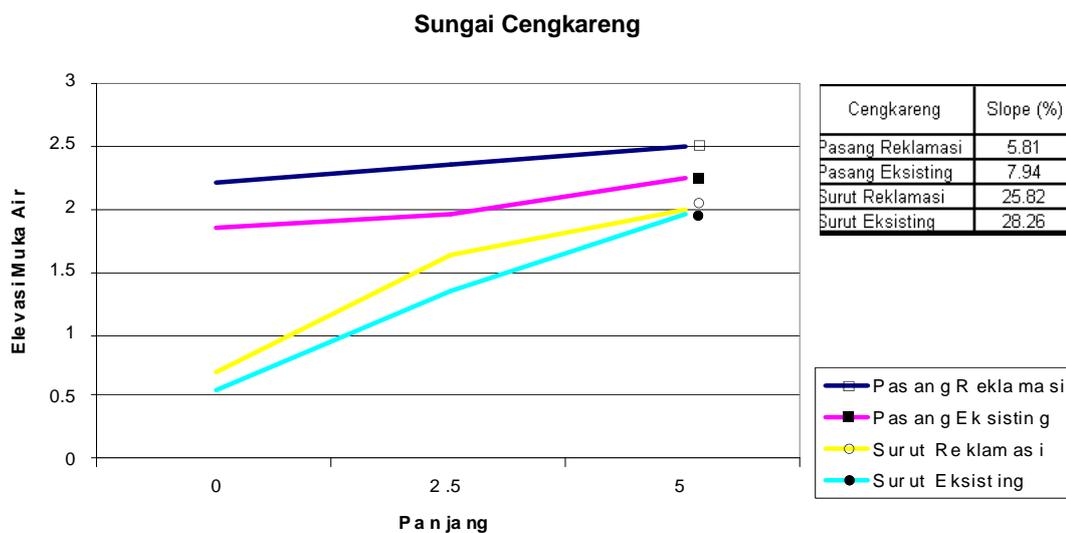
Gambar 12. Profil muka air pasang reklamasi



Gambar 13. Profil muka air surut reklamasi

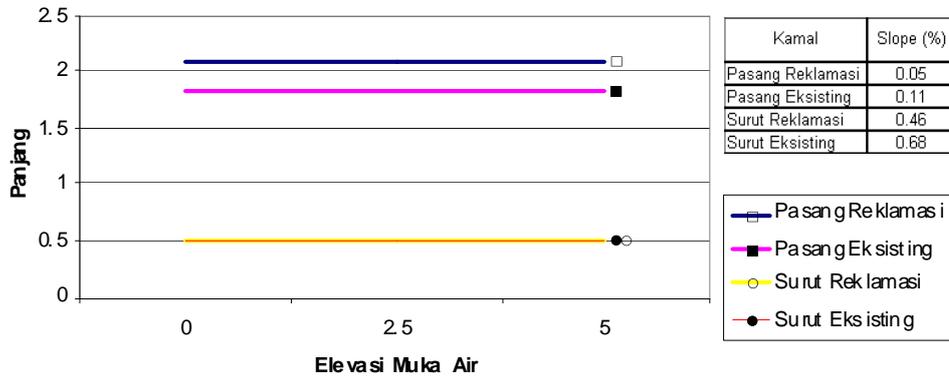


Gambar 14. Elevasi muka air di sepanjang Sungai Angke



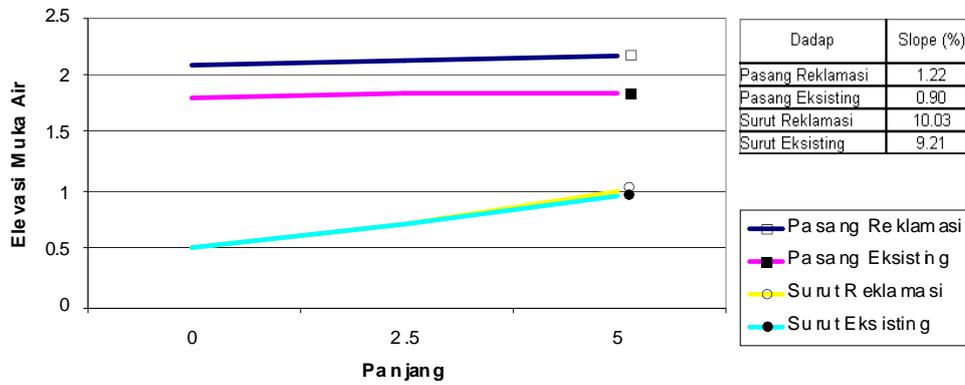
Gambar 15. Elevasi muka air di sepanjang Sungai Cengkareng

Sungai Kamal

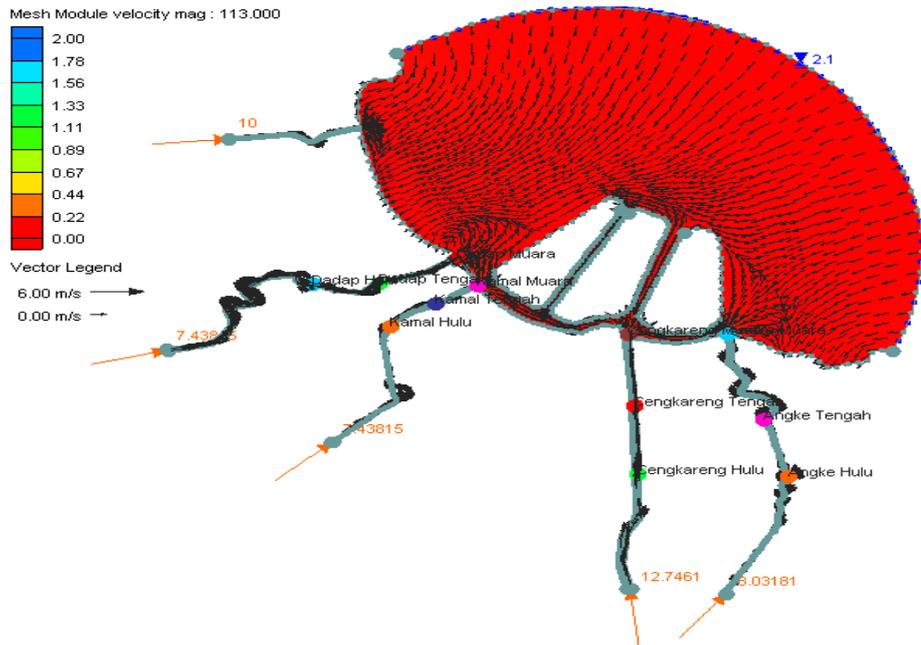


Gambar 16. Elevasi muka air di sepanjang Sungai Kamal

Sungai Dadap



Gambar 17. Elevasi muka air di sepanjang Sungai Dadap



Gambar 18. Vektor kecepatan dan arah aliran sesuai input hidrograf saat menuju surut di spring tide

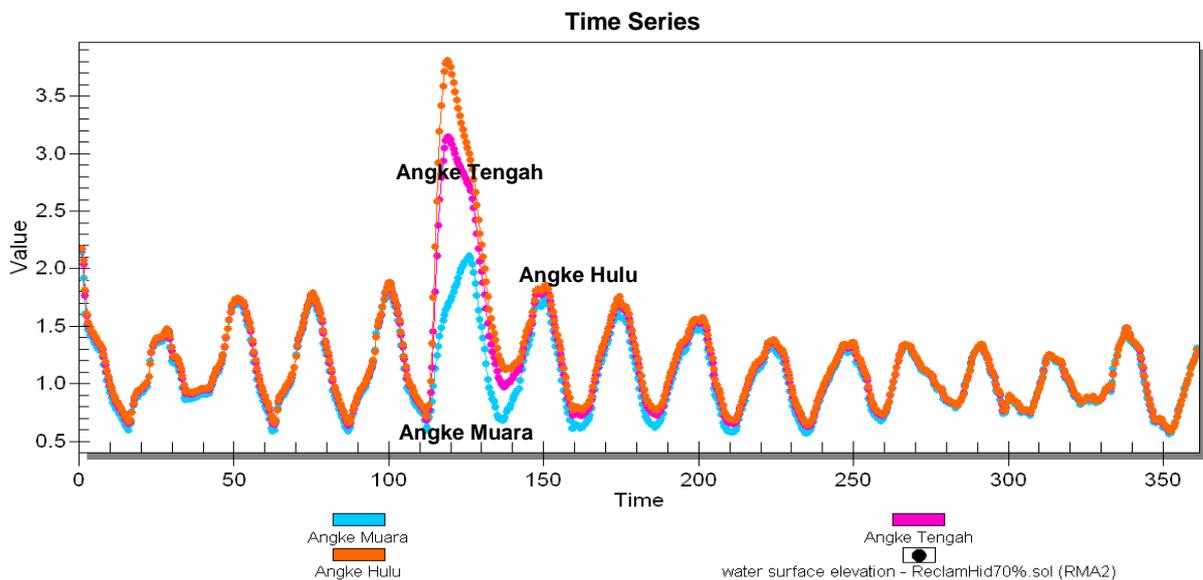
Grafik perubahan elevasi muka air pada daerah Sungai Angke adalah seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 19**. Pada **Gambar 19** dapat dilihat bahwa elevasi muka air tertinggi berada pada bagian hulu Sungai Angke. Tinggi elevasi muka air sesuai dengan hidrograf banjir periode ulang 100 tahun mencapai 3,8 meter di hulu Sungai Angke. Sementara itu, elevasi tanggul sungai berada pada ketinggian 0,9 hingga 2,27 meter.

Dari hasil pemodelan juga dapat dilihat bahwa elevasi muka air tertinggi berada pada bagian hulu Sungai Cengkareng. Tinggi elevasi muka air sesuai dengan hidrograf banjir periode ulang 100 tahun mencapai 3,4 meter di hulu Sungai Cengkareng. Sementara itu, elevasi tanggul sungai berada pada ketinggian 1 hingga 3,2 meter.

Elevasi muka air tertinggi juga berada pada bagian hulu Sungai Kamal. Tinggi elevasi muka air sesuai dengan hidrograf banjir periode ulang 100 tahun mencapai 4,9 meter di hulu Sungai Kamal. Sementara itu, elevasi tanggul sungai berada pada ketinggian 2 meter.

Elevasi muka air tertinggi di Sungai Dadap juga berada pada bagian hulu. Tinggi elevasi muka air sesuai dengan hidrograf banjir periode ulang 100 tahun mencapai 4,3 meter di hulu Sungai Dadap. Sementara itu, elevasi tanggul sungai berada pada ketinggian 1,9 meter.

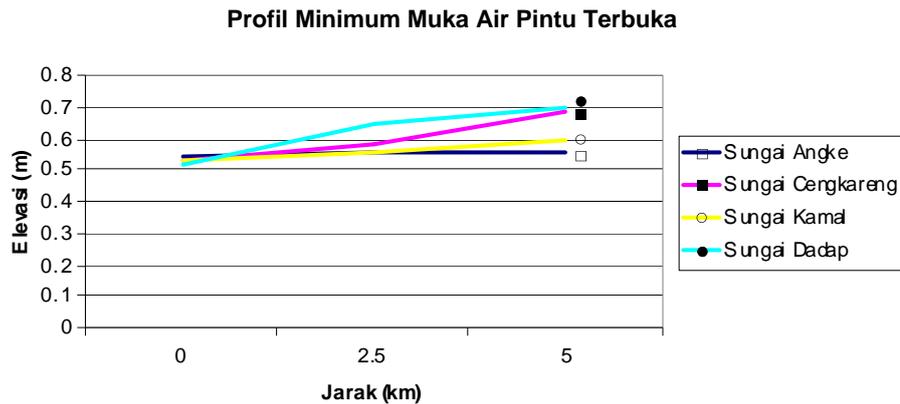
Pada **Gambar 20** dan **21** dapat dilihat profil muka air setelah reklamasi kondisi pintu terbuka. Dapat dilihat bahwa muka air tertinggi terjadi di Sungai Cengkareng bagian hulu dan muka air terendah terjadi di Sungai Angke bagian hulu.



Gambar 19. Perubahan elevasi muka air pada lokasi titik-titik pengamatan Sungai Angke



Gambar 20. Profil maksimum muka air pintu terbuka



Gambar 21. Profil minimum muka air pintu terbuka

Pemodelan skenario III juga dilakukan dengan langkah yang sama dengan pemodelan skenario I. Pada skenario ini, dimodelkan pintu air dalam keadaan tertutup. Tinggi muka air dilokasi pintu diasumsikan 3,5 dan 2,5 meter.

Lokasi studi direncanakan menggunakan empat buah pintu air dengan lokasi tiap pintu seperti pada gambar dibawah. Pada skenario ini, kondisi batas keempat pintu menggunakan pengasumsian bahwa tinggi muka air pada pintu-pintu tersebut sebesar 3,5 meter. Kondisi batas hulu keempat sungai yang mempengaruhi skenario ini adalah data hidrograf banjir periode ulang 100 tahun. Data masukan lainnya sama seperti pada skenario-skenario yang terdahulu.

Pola pergerakan dan kecepatan aliran ini berubah-ubah sesuai dengan waktu. Kecepatan arus rata-rata dari hasil pemodelan pada saat menuju surut di spring tide adalah 4,01 m/s.

Pada **Gambar 24** dapat dilihat bahwa titik puncak elevasi muka air berada pada bagian hulu Sungai Angke. Tinggi muka air pada bagian tersebut sesuai dengan input hidrograf banjir periode 100 tahun mencapai angka 5,4 meter.



Gambar 22. Lokasi penempatan pintu air pada daerah reklamasi

Dari pemodelan dapat diketahui pula bahwa titik puncak elevasi muka air berada pada tiap bagian hulu sungai. Pada Sungai Cengkareng, tinggi muka air mencapai angka 4,5 meter dan pada Sungai Kamal, tinggi muka air mencapai angka 9,8 meter.

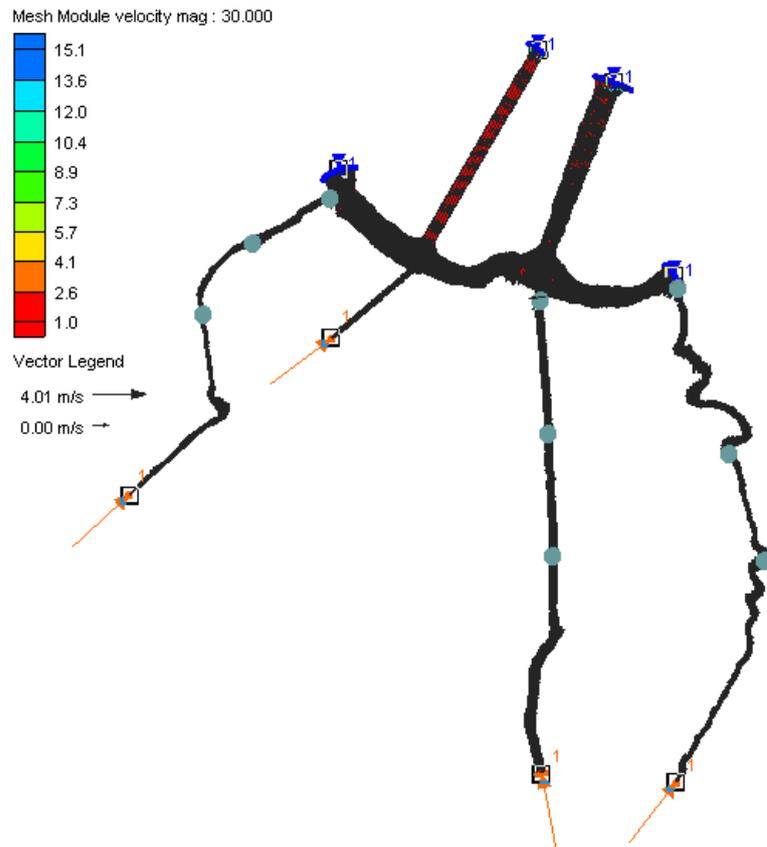
Pada **Gambar 25** dan **26** dapat dilihat profil muka air tertinggi terjadi di Sungai Kamal bagian hulu dan muka air terendah terjadi di Sungai Cengkareng bagian hilir. Pada skenario ini, kondisi batas keempat pintu menggunakan pengasumsian bahwa tinggi muka air pada pintu-pintu tersebut sebesar 2,5 meter. Kondisi batas keempat sungai yang mempengaruhi skenario ini adalah data hidrograf banjir periode ulang 100 tahun. Data-data masukan lainnya sama seperti pada skenario-skenario yang terdahulu.

Grafik perubahan elevasi muka air pada daerah Sungai Angke adalah seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 27**. Pada **Gambar 27** dapat dilihat bahwa titik puncak elevasi muka air berada pada bagian hulu Sungai Angke. Tinggi muka air pada bagian tersebut sesuai dengan input hidrograf banjir periode 100 tahun mencapai angka 5,3 meter.

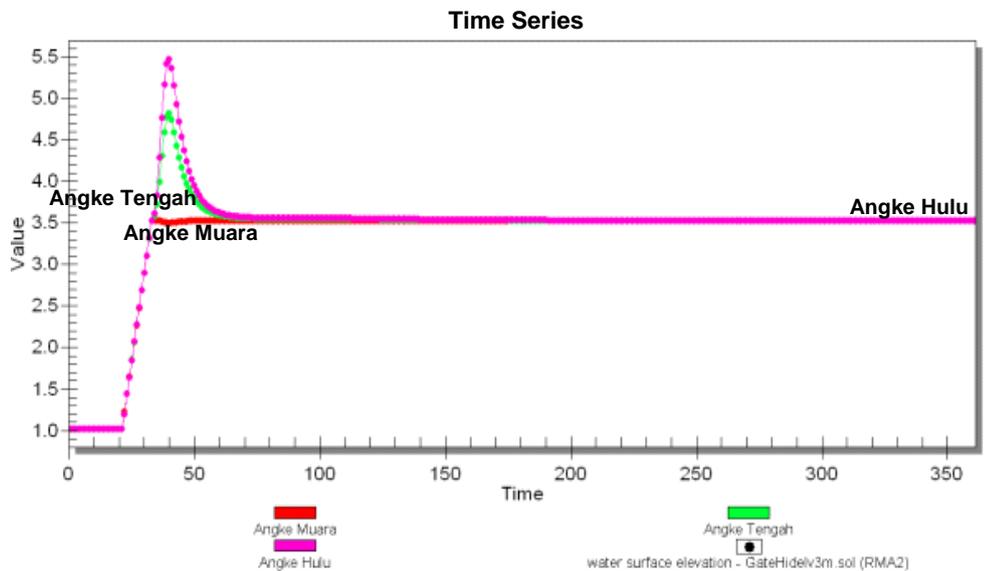
Pada Sungai Cengkareng dan Kamal titik puncak elevasi muka air juga berada pada bagian hulu, setinggi 4,25 meter di Sungai Cengkareng dan 9,3 meter pada Sungai Kamal.

Pada **Gambar 28** dan **29** dapat dilihat profil muka air tertinggi terjadi di Sungai Kamal bagian hulu dan muka air terendah terjadi di Sungai Cengkareng bagian hilir.

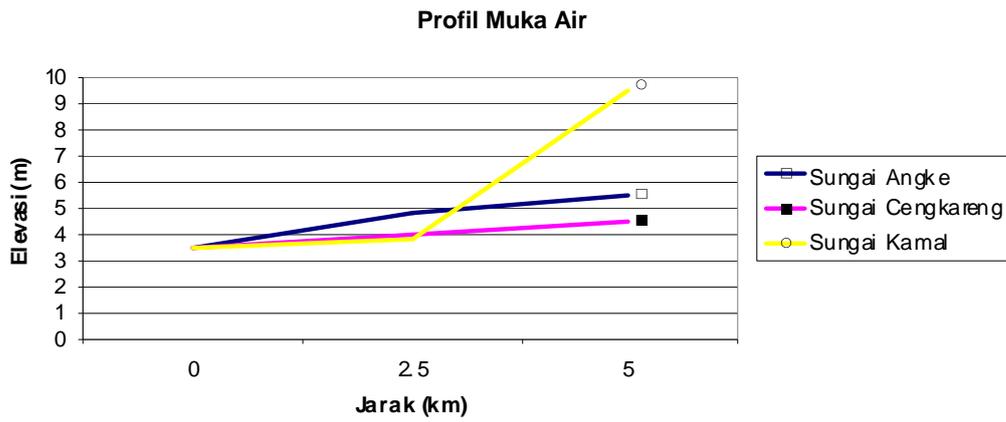
Perbandingan elevasi muka air yang terjadi pada kondisi pintu tertutup dan pintu terbuka dapat dilihat pada **Gambar 30** hingga **41**.



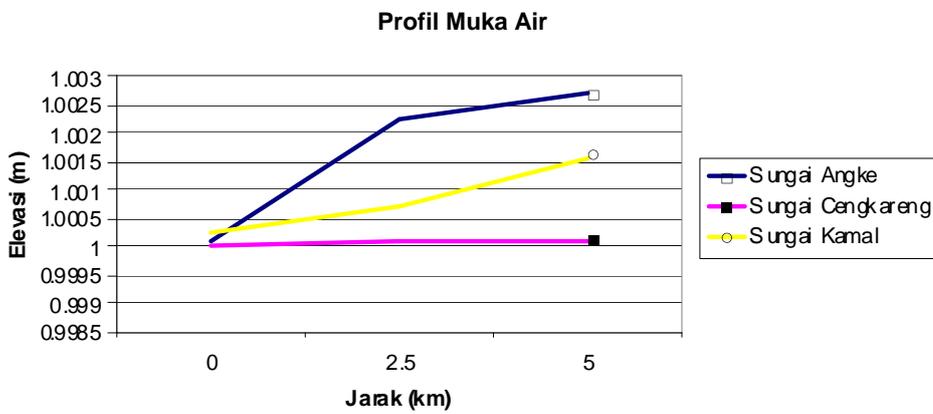
Gambar 23. Vektor kecepatan dan arah aliran elevasi pintu 3,5 meter saat menuju surut di *spring tide*



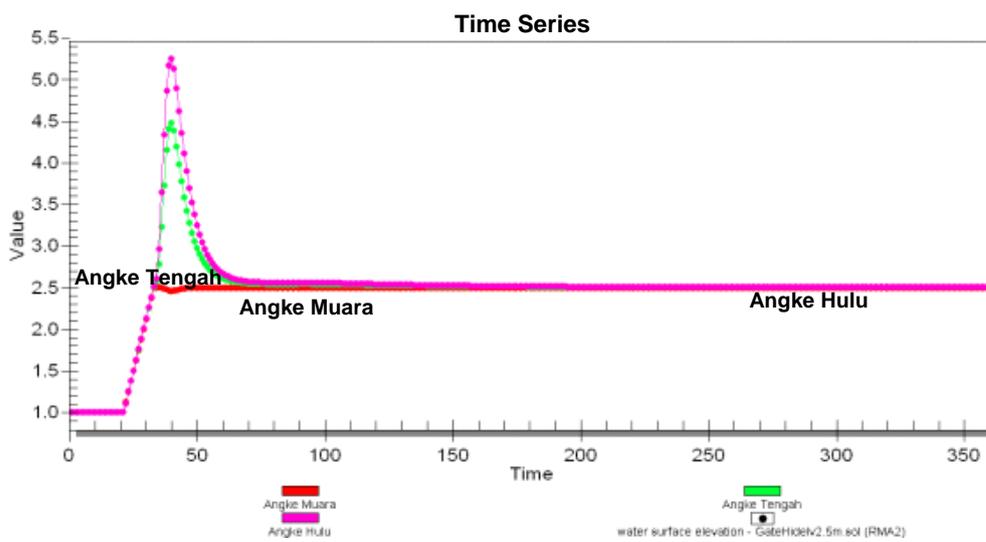
Gambar 24. Perubahan elevasi muka air pada lokasi titik-titik pengamatan Sungai Angke dengan elevasi pintu 3,5 meter



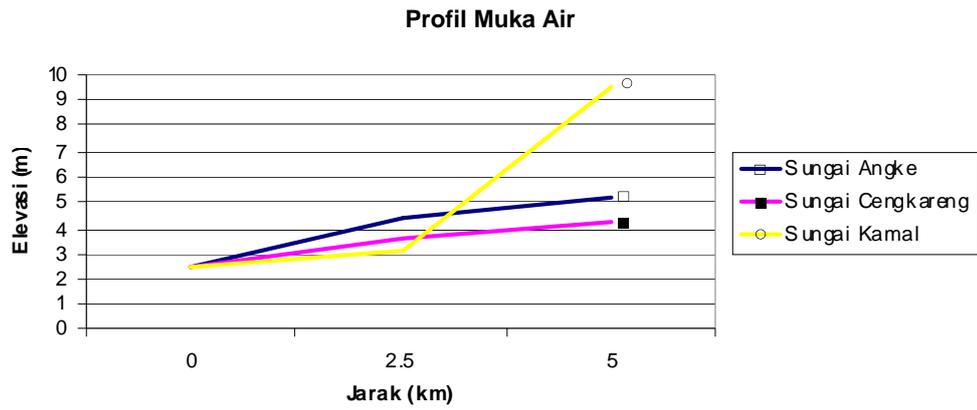
Gambar 25. Profil maksimum muka air pintu tertutup



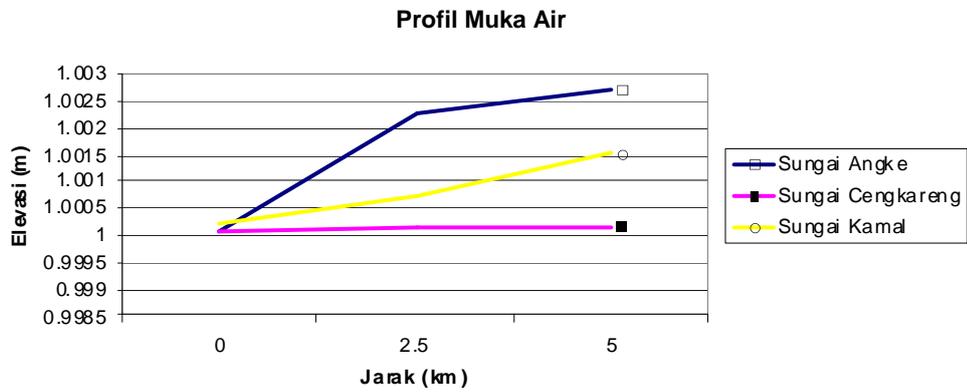
Gambar 26. Profil minimum muka air pintu tertutup



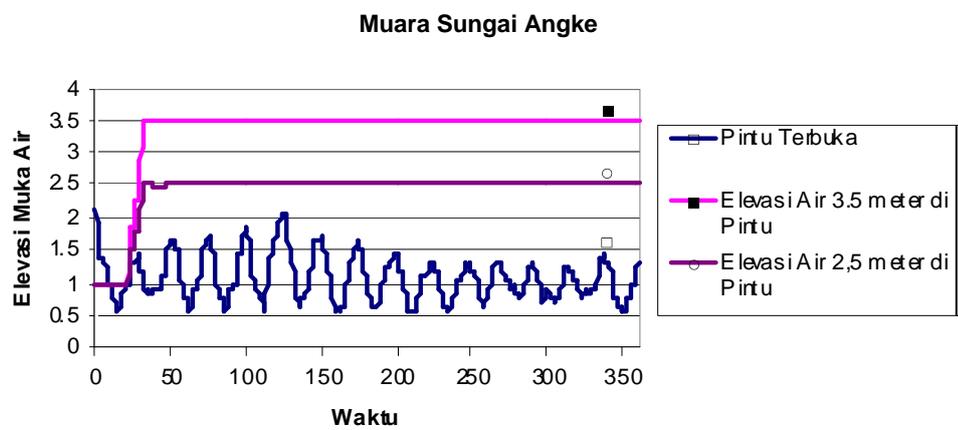
Gambar 27. Perubahan elevasi muka air pada lokasi titik-titik pengamatan Sungai Angke dengan elevasi pintu 2,5 meter



Gambar 28. Profil maksimum muka air pintu tertutup



Gambar 29. Profil minimum muka air pintu tertutup



Gambar 30. Elevasi muka air di muara Sungai Angke kondisi pintu terbuka dan tertutup

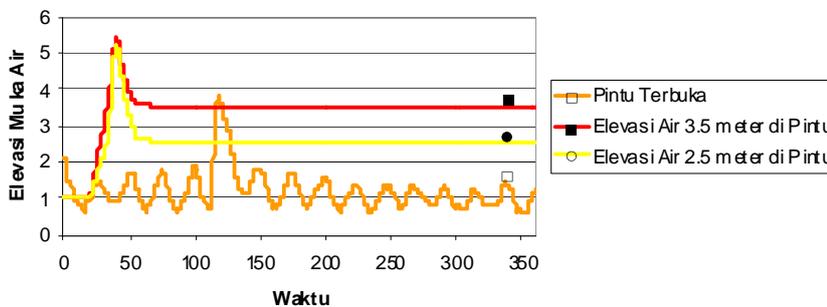
Pemberian asumsi ketinggian muka air di pintu sebesar 2,5 dan 3,5 meter dapat dilihat pada gambar diatas. Berdasarkan gambar tersebut dapat diketahui bahwa dengan asumsi kondisi pintu tidak dapat beroperasi maka akan terjadi kenaikan muka air di muara Sungai Angke sesuai dengan pengasumsian awal yang ditentukan. Jika dibandingkan dengan tinggi muka air pada kondisi tanpa pintu dimana tinggi muka air di muara Sungai Angke setinggi 2,1 meter maka terdapat selisih yang cukup signifikan, yakni sekitar 0,4 hingga 1,4 meter, sesuai dengan kondisi desain muka air. Pada kondisi tanpa pintu, muka air berfluktuasi turun mengikuti hidrografnya sedangkan pada kondisi dengan pintu muka air tetap sesuai dengan kondisi desain tinggi muka air.

Berdasarkan **Gambar 32** dapat diketahui bahwa dengan asumsi kondisi pintu tidak dapat beroperasi maka akan terjadi kenaikan muka air di hulu Sungai Angke setinggi 5,3 meter. Jika dibandingkan dengan tinggi muka air pada kondisi tanpa pintu dimana tinggi muka air di hulu Sungai Angke setinggi 3,8 meter maka terdapat selisih yang cukup signifikan, yakni sebesar 1,5 meter. Pada kondisi tanpa pintu, muka air berfluktuasi turun mengikuti hidrografnya sedangkan pada kondisi dengan pintu muka air tetap sesuai dengan kondisi desain tinggi muka air.

Berdasarkan **Gambar 32** dapat diketahui bahwa dengan asumsi kondisi pintu tidak dapat beroperasi maka akan terjadi kenaikan muka air di hulu Sungai Angke setinggi 5,3 meter. Jika dibandingkan dengan tinggi muka air pada kondisi tanpa pintu dimana tinggi muka air di hulu Sungai Angke setinggi 3,8 meter maka terdapat selisih yang cukup signifikan, yakni sebesar 1,5 meter. Pada kondisi tanpa pintu, muka air berfluktuasi turun mengikuti hidrografnya sedangkan pada kondisi dengan pintu muka air tetap sesuai dengan kondisi desain tinggi muka air.

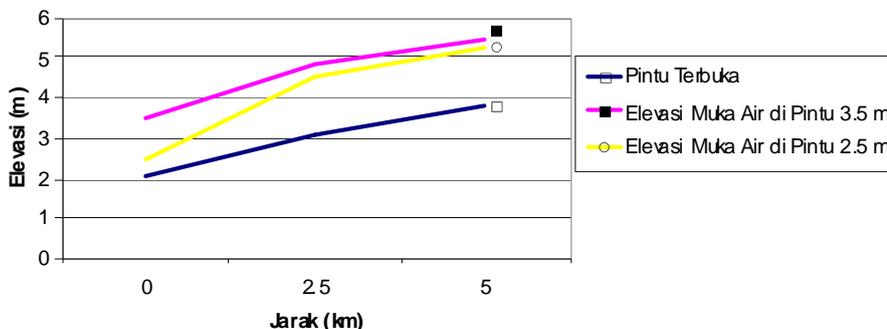
Berdasarkan **Gambar 34** dapat diketahui bahwa dengan asumsi kondisi pintu tidak dapat beroperasi maka akan terjadi kenaikan muka air di muara Sungai Cengkareng sesuai dengan desain awal yang ditentukan, yakni 2,5 meter dan 3,5 meter. Jika dibandingkan dengan tinggi muka air pada kondisi tanpa pintu dimana tinggi muka air di muara Sungai Cengkareng setinggi 2 meter maka terdapat selisih yang cukup signifikan, yakni sekitar 0,5 hingga 1,5 meter, sesuai dengan kondisi desain muka air. Pada kondisi tanpa pintu, muka air berfluktuasi turun mengikuti hidrografnya sedangkan pada kondisi dengan pintu muka air tetap sesuai dengan kondisi desain tinggi muka air.

Hulu Sungai Angke

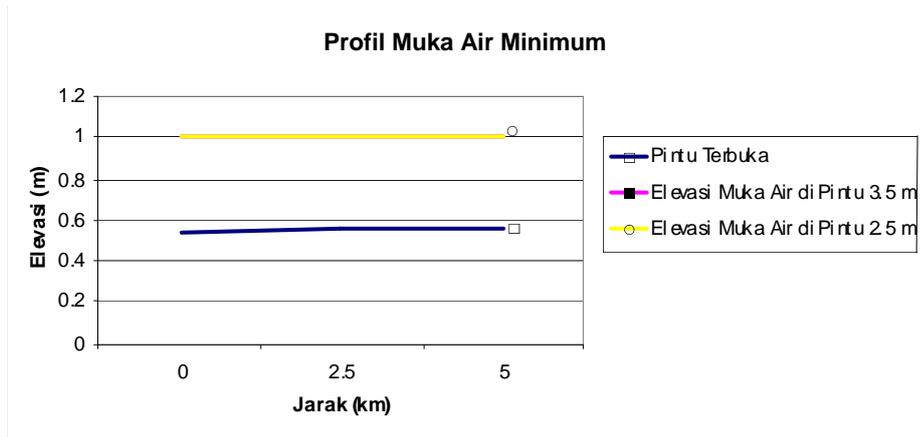


Gambar 31. Elevasi muka air di hulu Sungai Angke kondisi pintu terbuka dan tertutup

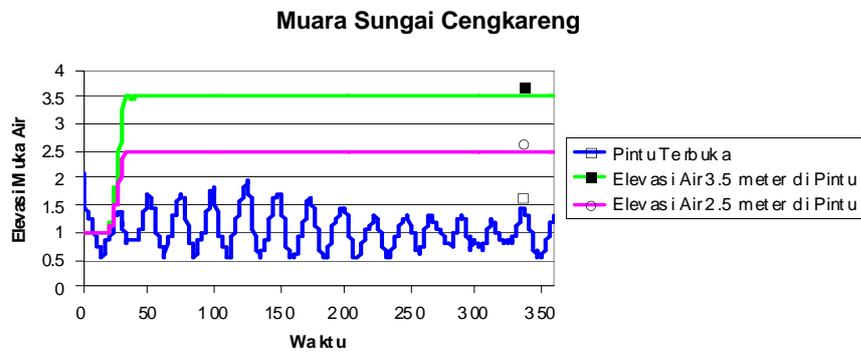
Profil Muka Air Maksimum



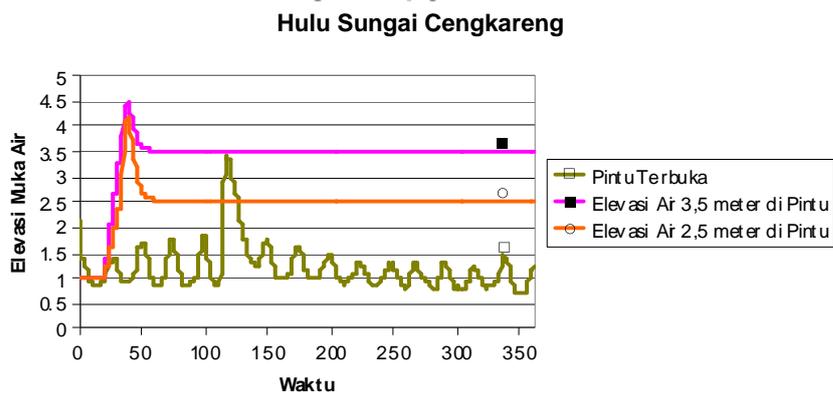
Gambar 32. Profil maksimum muka air Sungai Angke



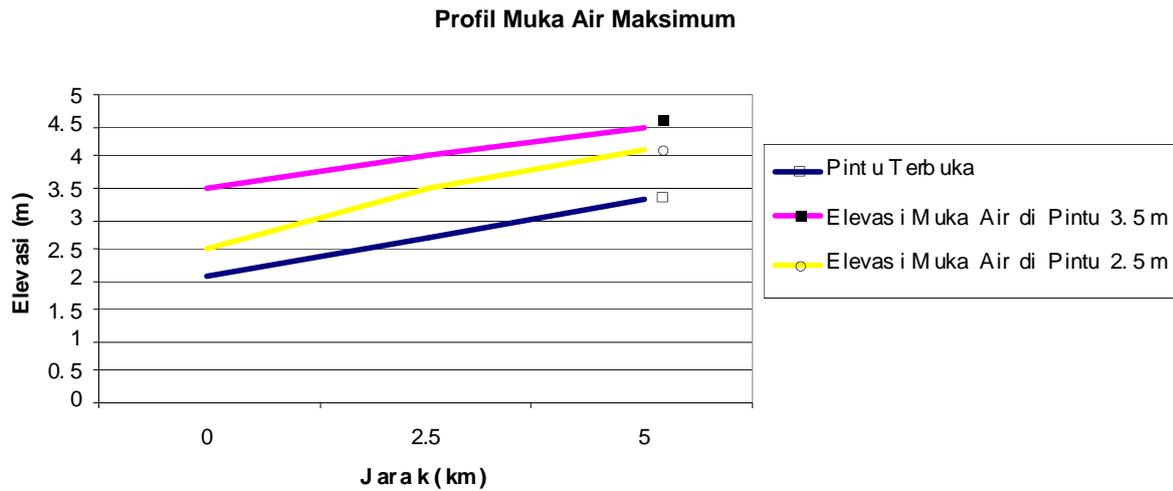
Gambar 33. Profil minimum muka air Sungai Angke



Gambar 34. Elevasi muka air di muara Sungai Cengkareng kondisi pintu terbuka dan tertutup



Gambar 35. Elevasi muka air di hulu Sungai Cengkareng kondisi pintu terbuka dan tertutup



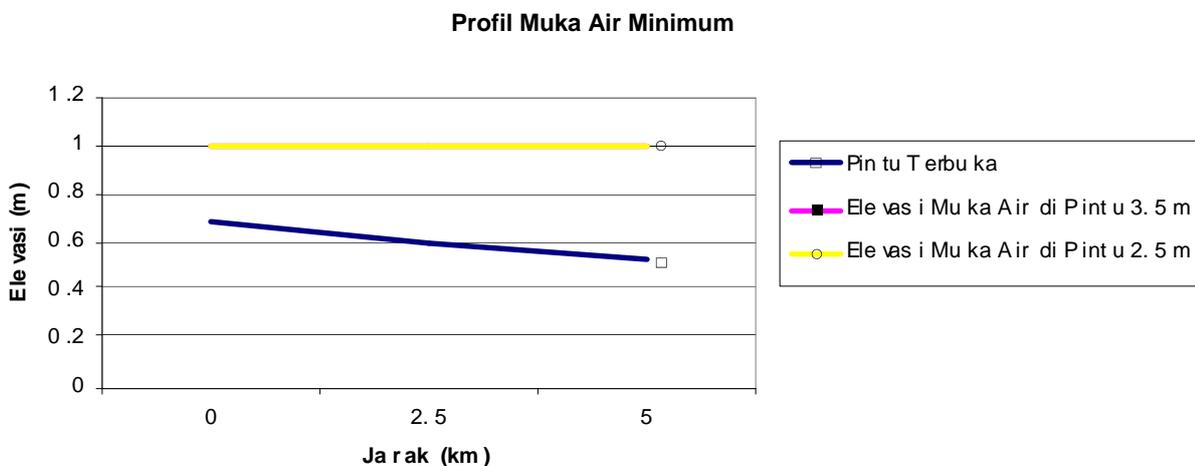
Gambar 36. Profil maksimum muka air Sungai Cengkareng

Berdasarkan **Gambar 36** dapat diketahui bahwa dengan asumsi kondisi pintu tidak dapat beroperasi maka akan terjadi kenaikan muka air di hulu Sungai Cengkareng setinggi 4,5 meter. Jika dibandingkan dengan tinggi muka air pada kondisi tanpa pintu dimana tinggi muka air di hulu Sungai Cengkareng setinggi 3,5 meter terdapat selisih yang cukup signifikan yakni 1 meter. Pada kondisi tanpa pintu, muka air berfluktuasi turun mengikuti hidrografnya sedangkan pada kondisi dengan pintu muka air tetap sesuai dengan kondisi desain tinggi muka air.

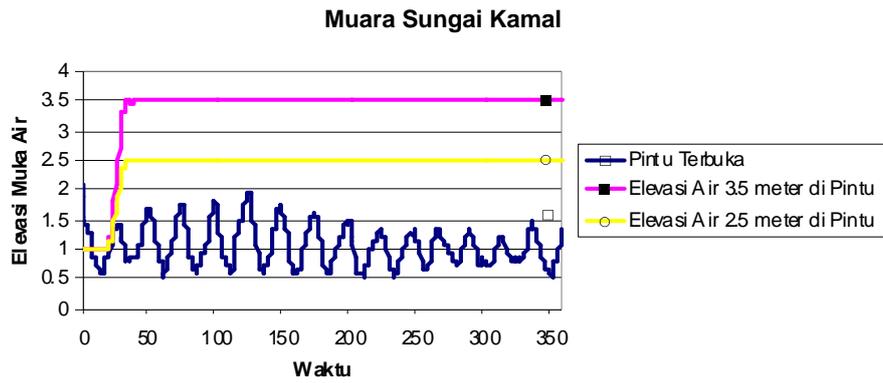
Berdasarkan **Gambar 38** dapat diketahui bahwa dengan asumsi kondisi pintu tidak dapat beroperasi maka akan terjadi kenaikan muka air di muara Sungai Kamal sesuai dengan desain awal yang ditentukan, yakni 2,5 meter dan 3,5 meter. Jika dibandingkan dengan tinggi muka air pada kondisi tanpa pintu dimana tinggi muka air di muara Sungai Kamal

setinggi 2 meter maka terdapat selisih yang cukup signifikan, yakni sekitar 0,5 hingga 1,5 meter, sesuai dengan kondisi desain muka air. Pada kondisi tanpa pintu, muka air berfluktuasi turun mengikuti hidrografnya sedangkan pada kondisi dengan pintu muka air tetap sesuai dengan kondisi desain tinggi muka air.

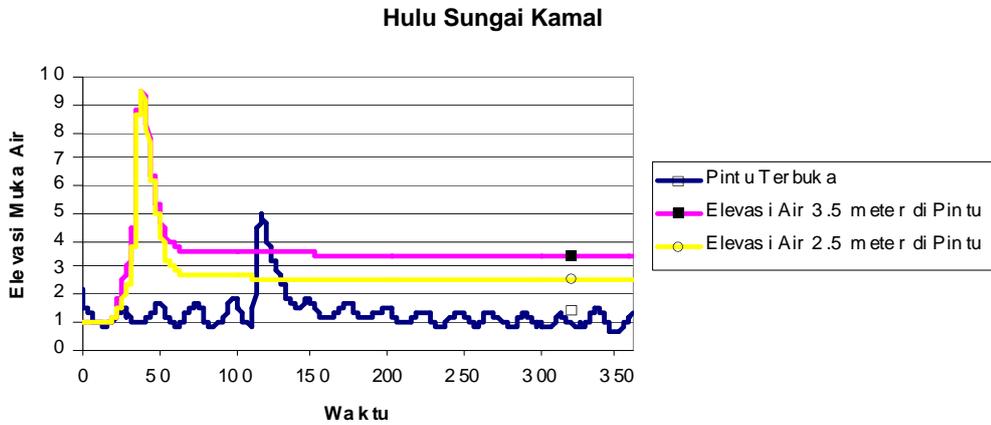
Berdasarkan **Gambar 40** dapat diketahui bahwa dengan asumsi kondisi pintu tidak dapat beroperasi maka akan terjadi kenaikan muka air di hulu Sungai Kamal setinggi 9,5 meter. Jika dibandingkan dengan tinggi muka air pada kondisi tanpa pintu dimana tinggi muka air di hulu Sungai Kamal setinggi 5 meter terdapat selisih yang cukup signifikan yakni 4,5 meter. Pada kondisi tanpa pintu, muka air berfluktuasi turun mengikuti hidrografnya sedangkan pada kondisi dengan pintu muka air tetap sesuai dengan kondisi desain tinggi muka air.



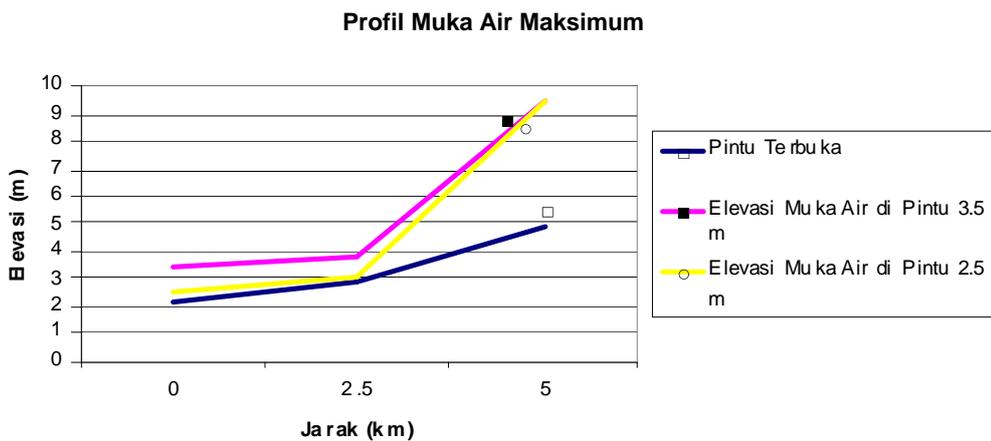
Gambar 37. Profil minimum muka air Sungai Cengkareng



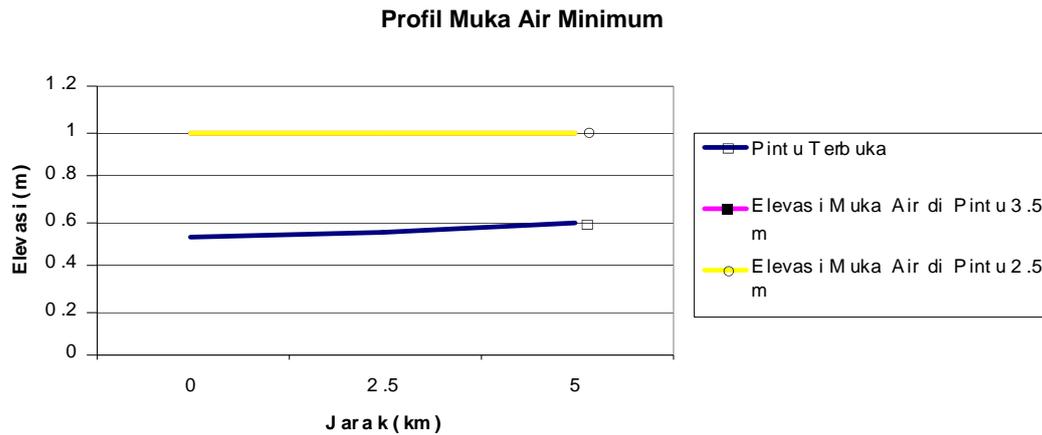
Gambar 38. Elevasi muka air di muara Sungai Kamal kondisi pintu terbuka dan tertutup



Gambar 39. Elevasi muka air di hulu Sungai Kamal kondisi pintu terbuka dan tertutup



Gambar 40. Profil maksimum muka air Sungai Kamal



Gambar 41. Profil minimum muka air Sungai Kamal

4. Kesimpulan

Dari hasil pemodelan dan analisa data yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Hasil pemodelan kondisi eksisting (sebelum adanya reklamasi) memperlihatkan bahwa sungai-sungai yang berada di sekitar area reklamasi masih mendapatkan pengaruh pasang surut yang cukup besar.
2. Bila dibandingkan dengan kondisi setelah reklamasi dengan pintu terbuka, dapat diketahui bahwa bila ditinjau dari pasang surut muka air laut hasil reklamasi tidak memberikan perbedaan yang signifikan. Hal ini dapat dilihat dari kemiringan / slope pengaruh pasang surut diantara kedua kondisi tersebut yang sudah mulai landai sehingga pengaruh pasang surut akibat adanya reklamasi paling terjadi pada bagian muara sungai.
3. Dilihat dari data hidrograf, bila reklamasi terlaksana maka tanggul yang sudah terdapat di lokasi studi akan terlimpas.
4. Jika elevasi muka air pada pintu air setinggi 2,5 dan 3,5 meter, maka elevasi muka air di bagian hulu sungai tidak akan jauh berbeda.
5. Dalam keadaan kritis, dimana pintu tidak dapat beroperasi, akan terdapat kenaikan muka air di bagian hulu Sungai Angke senilai 1,5 meter, di bagian hulu Sungai Cengkareng setinggi 1 meter, dan di bagian hulu Sungai Kamal setinggi 4,5 meter jika dibandingkan dengan kondisi dimana pintu bisa dioperasikan.

4.1 Saran

1. Untuk menanggulangi kemungkinan terjadinya banjir, perlu diadakan peningkatan / peninggian tanggul yang berada di sepanjang sungai sekitar area reklamasi.
2. Pemanfaatan pintu air sebaiknya dikaji lebih lanjut, terutama pada hal-hal yang mencakup aspek efisiensi pemanfaatan, taraf pendanaan, pencegahan sedimentasi berlebih, dan pengaruhnya pada stabilitas muka air terutama saat terjadinya banjir.

Daftar Pustaka

- Chow, V.T., 1959, *Open-Channel Hydraulics*, Singapore: McGraw Hill Kogakusha Ltd.
- Enviromental Modeling Research Laboratory, 2003, *Tutorial SMS*, Brigham Young University.
- Legono, D., Rahardjo, A.P., 2007, *Pengaruh Kehadiran Reklamasi terhadap Perilaku Banjir di Kawasan Barat Pantura Jakarta*, Yogyakarta: UGM.
- Soehoed, A.R., 2004, *Reklamasi Laut Dangkal*, Djambatan.
- Tim LAPI ITB, 2008, *Laporan Penelitian Studi Hidrologi dan Hidrolika Penggunaan Pintu Air Pada Area Reklamasi Pantai Utara Jakarta*, Bandung: ITB.
- US Army Corps of Engineer, 1984, *Shore Protection Manual Volume I*, US Department Of The Army.