

KAJIAN SEBARAN POTENSI ROB KOTA SEMARANG MENGUNAKAN METODE DIGITAL ELEVATION MODEL (DEM)

Syefudin

Program Studi Teknik Informatika STMIK YMI Tegal

email : 972021009@student.uksw.edu

Abstract - Tidal inundation is a classic problem in Semarang city. This phenomenon was analyzed using topographic map at scale 1:5.000 that plotted on year 2000 and recent land subsidence map. By applying land subsidence data, the elevation of whole pointson a specific year can be modeled. Spot height data extracted from topographic map were analyzed using Geographic Information System method to generate Digital Elevation Model (DEM) of study area. The classified DEM then informed us about the spread and volume of tidal inundation. According to the model, tidal flood on year 2010 submerge 3.821 hectare and on year 2030 it will spread for not less than 5.099 hectare of the city. During the verification, tidal flood area modeled in this study closed to the field survey data. The discrepancies between modeled area and existing flooded area are mostly affected by land cover change from 2000 to 2010. According to those facts, the conclusion of this research is that combination of topographic map and land subsidence map are reliable to predict the spread of tidal flood in Semarang.

Keywords - Tidal Inundation, Geographic Information System, Digital Elevation Model, Land subsidence

Abstrak - Masalah klasik yang belum teratasi di Kota Semarang bagian bawah adalah banjir pasang surut atau rob yang dari tahun ke tahun jangkauannya semakin meluas. Faktor utama perluasan jangkauan rob diduga karena adanya penurunan muka tanah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sebaran potensi rob yang mungkin terjadi dalam kurun waktu tertentu. Data spasial yang digunakan sebagai bahan penelitian ini adalah peta topografi skala 1:5000 yang menggambarkan ketinggian permukaan bumi Semarang pada Tahun 2000. Dengan menggunakan peta laju penurunan muka tanah per tahun, maka elevasi permukaan tanah setelah sekian tahun akan dapat diprediksi. Data spot height yang diekstraksi dari peta topografi beserta data penurunan muka tanah diolah dengan menggunakan perangkat Sistem Informasi Geografik, sehingga didapatkan Model Permukaan Digital atau Digital Elevation Model (DEM) untuk tahun yang dikehendaki. Berdasarkan hasil pembuatan model permukaan digital diperoleh informasi bahwa jangkauan genangan rob pada tahun 2010 mencapai 3.821 hektar dan pada tahun 2030 diprediksi genangan rob makin meluas hingga 5.099 hektar. Sebaran rob hasil pemodelan relatif sama dengan hasil survey lapangan tahun 2009. Perbedaan yang terjadi lebih dikarenakan oleh perubahan tutupan lahan yang terjadi setelah tahun 2000, sehingga secara umum disimpulkan bahwa kombinasi DEM dan data penurunan muka tanah dapat digunakan untuk memprediksi sebaran potensi ROB di Semarang.

Kata Kunci: Banjir pasang surut, Sistem informasi geografik, Model permukaan digital, Penurunan muka tanah.

I. PENDAHULUAN

Banjir Pasang Surut atau ROB merupakan fenomena yang selalu terjadi di Kota Semarang Lama bagian utara. Dari tahun ke tahun, frekuensi kejadian ROB semakin meningkat dan cenderung semakin meluas. Hal ini diduga dikonttribusi oleh adanya penurunan muka tanah yang mencapai 3 sampai 15 cm per tahun, dan perilaku oceanografi dan klimatologi di Semarang dan sekitarnya.[1]

Kerugian sosial dan ekonomi akibat banjir ROB ini tidak sedikit. Secara sepintas, banjir yang menggenangi permukiman dan pertokoan di Kota Lama telah mereduksi pertumbuhan ekonomi di wilayah tersebut. Hal ini ditandai dengan semakin banyaknya unit-unit ruko atau bangunan yang ditinggalkan. Kerugian lain yang terbilang sangat besar adalah rusaknya jejak-jejak historis berupa bangunan-bangunan kuno peninggalan Belanda sebagai situs budaya yang harus dilindungi keutuhannya.

Banjir yang berlangsung setiap tahun akan semakin meningkatkan sikap apatis masyarakat terhadap program-program pemerintah dalam menanggulangi banjir. Faktor psikologis tersebut akan berdampak pada melemahnya partisipasi masyarakat terhadap pembangunan di daerahnya.

Penanggulangan banjir ROB dapat dilakukan dalam skala regional, lokal, atau bahkan spesifik pada satu unit bangunan saja. Sebagai contoh, rumah-rumah penduduk di sekitar Pelabuhan Tanjung Mas dan Jalan Ronggo Warsito, yang selalu menjadi langganan banjir, mengantisipasi penurunan muka tanah dan banjir dengan cara menimbun halaman dan membuat tanggul-tanggul sederhana. Bahkan pengelola Stasiun Tawang – Semarang pun telah menaikkan pelataran parkirnya untuk mencegah terendamnya kendaraan pada musim ROB.[2]

Antisipasi banjir per unit bangunan, meskipun tampak lebih murah, namun akan mengurangi estetika kota dan tidak menyelesaikan masalah secara tuntas. Di sisi lain, ide pembuatan bangunan air dalam skala regional melalui pembangunan Dam Lepas Pantai (DLP) yang menutup kemungkinan masuknya ROB di sepanjang garis pantai Semarang juga merupakan opsi yang memerlukan investasi jutaan dolar dan penyelesaian yang multiyears hingga puluhan tahun.[3] Pilihan lain yang diduga cukup rasional adalah dengan membuat polder baru, membuat pintu-pintu air dan atau tanggul penahan yang mencegah masuknya air laut ke daratan pada lokasi-lokasi tertentu saja menurut skala

prioritas. Prioritas tertinggi tentu saja diberikan pada lokasi-lokasi yang memang didominasi oleh pemukiman padat atau sentra industri.

Desain bangunan pencegah banjir ROB tentu saja harus dikompromikan dengan instansi terkait, yaitu: Bappeda dan Dinas Ciptaru Semarang yang berwenang dengan masalah penataan ruang.[4] RTRW 2000-2010 yang mengatur tentang penggunaan ruang Kota Semarang harus dievaluasi dengan 3 mempertimbangkan fakta perubahan dan penyimpangan yang terjadi di lapangan, termasuk masalah genangan banjir. Evaluasi tersebut akan bermanfaat sebagai masukan untuk penyusunan RTRW 2010-2030.

II. LATAR BELAKANG

Pasang surut adalah fluktuasi muka air yang disebabkan oleh gaya tarik menarik antara planet bumi dengan benda langit lain terutama bulan dan matahari. Pasang surut termasuk gelombang panjang dengan periode gelombang berkisar antara 12 dan 24 jam.[5] Puncak gelombang pasang surut biasa disebut air pasang (*high tide*) dan lembahnya disebut air surut (*low tide*). Ketinggian pasang surut akan sangat tergantung pada posisi Bulan, Bumi, dan Matahari.

Apabila Bulan, Bumi dan Matahari terletak pada satu garis maka akan terjadi pasang purnama (*spring tide*) dan bilamana Bulan, Bumi dan Matahari membentuk sudut 90 derajat maka akan terjadi pasang perbani (*neap tide*). Pasang purnama dan pasang perbani tentu saja disebabkan oleh Orbit Bulan mengelilingi Bumi dan Bumi mengelilingi Matahari yang berbentuk elips, sehingga menghasilkan gaya gravitasi maksimum dan minimum. Persamaan dasar yang sering dipergunakan dalam peramalan pasang surut adalah:

$$Z_t = Z_0 + \sum_1^n A_i \cos(2\pi t/T_i - \theta_i) \dots\dots\dots 1$$

Keterangan:

- Z_t = elevasi muka air pada saat t
- Z₀ = muka air rerata diukur dari datum (biasanya LWS)
- A_i = amplitudo masing-masing konstituen harmonik (M₂, S₂ dst)
- T_i = periode masing-masing konstituen harmonik
- θ_i = selisih fase masing-masing konstituen harmonik
- n = jumlah komponen pasang surut.

Variasi pasang surut akan sangat tergantung pada lokasi dan waktunya. Secara umum pasang surut dapat dibedakan menjadi empat macam yaitu: (a) pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*), (b) pasang surut harian ganda (*semi diurnal*), (c) pasang surut campuran condong ke harian tunggal, dan (d) pasang surut campuran condong ke harian ganda. Periode dan amplitudo relatif dari tujuh konstituen pasang surut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1.
Tujuh Komponen Konstituen Gelombang Pasang Surut

| N o | Sumber/konstituen | Simbol | Periode | Relatif Amplitudo |
|-----|----------------------------|----------------|---------|-------------------|
| 1 | Main Lunar, semi diurnal | M ₂ | 12,42 | 100.00 % |
| 2 | Main Solar, semi diurnal | S ₂ | 12,00 | 45.60 % |
| 3 | Lunar Eliptic, semidiurnal | N ₂ | 12,66 | 19.90 % |
| 4 | Lunar Solar, semidiurnal | K ₂ | 11,97 | 12.70 % |
| 5 | Lunar Solar, diurnal | K ₁ | 23,93 | 58.40 % |
| 6 | Main Lunar, diurnal | O ₁ | 15,86 | 41.50 % |
| 7 | Main Solar, diurnal | P ₁ | 24,07 | 19.40 % |

Pasang surut harian tunggal adalah pasang surut yang terjadi satu kali sehari, yaitu sekali pasang dan sekali surut. Pasang surut ini mempunyai periode sekitar 24 jam 50 menit. Sedangkan pasang surut harian ganda adalah pasang surut yang terjadi dua kali dalam sehari, dua kali pasang dan dua kali surut. Periode pasang surut ini sekitar 12 jam 24 menit. Untuk menentukan klasifikasi pasang surut tersebut dipergunakan formula:

$$F = \frac{A_{K1} + A_{O1}}{A_{M2} + A_{S2}} \dots\dots\dots 2$$

Bilamana:

- F ≤ 0,25 : pasang harian ganda
- F ≥ 3,00 : pasang harian tunggal
- 0,25 < F < 1,50 : pasang campuran condong ke harian ganda
- 1,50 < F < 3,00 : pasang campuran condong ke harian tunggal
- A_{K1}, A_{O1}, A_{M2}, A_{S2}: amplitudo konstituen pasang surut utama

Perencanaan bangunan pantai sangat membutuhkan informasi Posisi muka air laut akibat pasang surut. Beberapa definisi ketinggian pasang surut dapat diformulasikan dengan menggunakan data komponen pasang surut di bawah ini:

- Mean High Water Spring = MHWS = Z₀ + (A_{M2} + A_{S2})
- Mean Low Water Spring = MLWS = Z₀ - (A_{M2} + A_{S2})
- Highest High Water Spring = HHWS = Z₀ + (A_{M2} + A_{S2} + A_{K1} + A_{O1})
- Lowest Low Water Spring = LLWS = Z₀ - (A_{M2} + A_{S2} + A_{K1} + A_{O1})
- Highest Astronomical Tide = HAT = Z₀ + ΣA_i
- Lowest Astronomical Tide = LAT = Z₀ - ΣA_i

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini bersifat analisis deskriptif yaitu menjelaskan sebaran potensi rob, penyebab terjadinya banjir rob di Semarang berdasarkan aspek topografi, kemudian menjelaskan usulan penanganannya. Pemodelan genangan banjir pasang surut dilakukan dengan menggunakan peta kontur yang diekstraksi dari peta topografi skala 1:5.000 Tahun 2000 Kota Semarang dan prediksi penurunan muka tanah di Semarang.

Untuk keperluan penelitian, model elevasi pada Tahun 2010 akan dibuat berdasarkan Digital Elevation Model (DEM) tahun 2000 yang dikurangi dengan prediksi

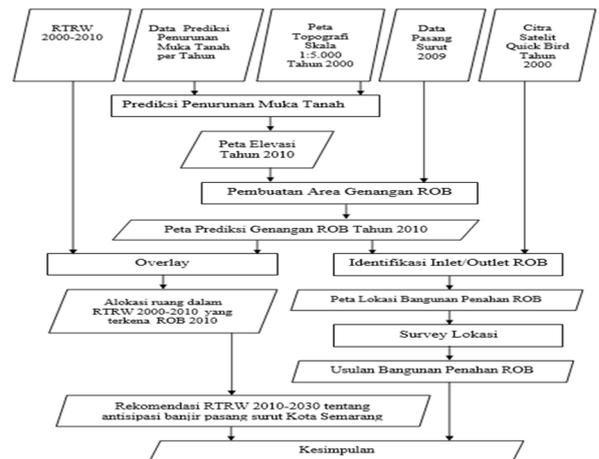
penurunan muka tanah.[6] Untuk mempermudah pembentukan DEM, maka proses tersebut dilakukan dengan bantuan ekstensi Spatial Analyst pada perangkat lunak ArcGIS 9.2.

Elevasi suatu titik pada peta topografi didefinisikan sebagai ketinggian di atas muka laut rata-rata. Selain membutuhkan data ketinggian pada peta topografi, pembuatan prediksi genangan rob juga membutuhkan data ketinggian air laut saat pasang. Dari data HHWL dan MSL dapat dibuat model genangan untuk wilayah Semarang. Sebagai contoh, bila simpangan HHWL terhadap MSL adalah 1.25 m, maka untuk lokasi dengan ketinggian 1.0 m dpl (di atas permukaan laut) akan terendam setinggi 0.25 meter.

Untuk meningkatkan ketelitian studi, maka model tersebut akan divalidasi dengan pengecekan lapangan. Pada setiap lokasi sampel pada waktu-waktu yang diprediksi terjadi pasang maksimum akan diukur posisinya dengan GPS. Pengukuran GPS juga dilakukan pada saat laut mencapai ketinggian muka laut rata-rata. Nilai ketepatannya akan diketahui dengan menghitung persentase genangan ROB hasil pemodelan terhadap genangan ROB eksisting.

Setelah model genangan ROB divalidasi, maka langkah selanjutnya adalah menghitung jangkauan genangan berdasarkan model genangan Pasang Tertinggi dan model genangan Muka Laut Rata-rata. Semakin jauh jangkauan ROB, maka semakin tinggi skala prioritas penanganannya. Semakin tinggi nilai ekonomi daerah tersebut, maka semakin tinggi pula skala prioritas penanganannya. Kemudian pada daerah-daerah yang diprioritaskan tersebut, dengan menggunakan citra satelit QuickBird, akan dicari posisi bangunan air yang akan dibangun dengan menelusuri aliran sungai atau lokasi-lokasi yang dicurigai merupakan inlet/outlet air laut. Dengan bantuan citra satelit QuickBird pula dilakukan survey lapangan untuk mendefinisikan tipe dan dimensi bangunan air yang sesuai.

Model prediksi genangan ROB tahun 2010 juga akan diuji kesesuaiannya dengan RTRW Kota Semarang 2000-2010. Analisis kesesuaian ini penting sebagai bahan pertimbangan bagi penyusunan RTRW 2010-2030 dan penyusunan rencana-rencana teknis lainnya. Secara diagramatik, metode penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.1. Rekomendasi lokasi penempatan bangunan air penahan rob disusun berdasarkan hasil identifikasi lokasi inlet/outlet air laut. Titik tempat masuknya air laut dan penjaralannya ditemukan dengan melakukan pemodelan aliran permukaan berdasarkan data topografi.

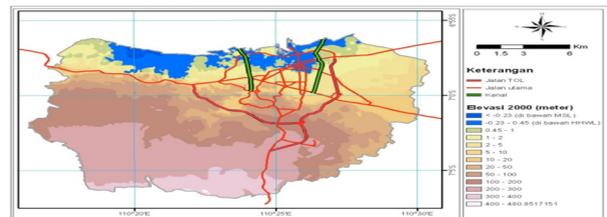


Gambar 1. Skema metodologi penelitian

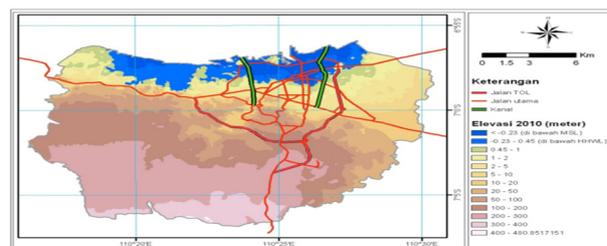
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Peta genangan banjir pasang surut

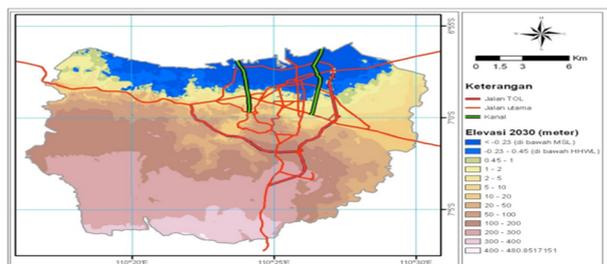
Ketinggian pasang tinggi tertinggi (HHWL) terhadap MSL Kota Semarang berdasarkan data pasut dalam dokumen Masterplan Drainase Kota Semarang Tahun 2007 adalah 68 cm.[7] Karena posisi MSL Kota Semarang berada 23 cm di bawah MSL Pulau Jawa, maka posisi HHWL Semarang berada 45 cm di atas MSL Semarang. Daratan sekitar pantai yang memiliki ketinggian di bawah ± 45 cm diperkirakan akan terendam rob.



Gambar 2. Peta genangan banjir pasang surut tahun 2000



Gambar 3. Peta genangan banjir pasang surut Tahun 2010



Gambar 4. Peta genangan banjir pasang surut Tahun 2030

Berdasarkan DEM yang dibuat dari peta topografi eksisting Tahun 2000 diperoleh informasi bahwa luas wilayah genangan rob adalah sekitar ± 2.670 hektar dengan volume air laut yang masuk mencapai sekitar 4.109.844 m³. Setelah terjadi penurunan muka tanah selama 10 tahun, maka diperkirakan pada Tahun 2010 genangan Rob akan meluas hingga 3.438 hektar dengan volume genangan sekitar 17.029.219 m³. Berdasarkan analisis DEM diperkirakan pada Tahun 2030, bila tanpa adanya usaha penanggulangan, maka rob akan merendam daratan seluas 4.846 hektar dengan volume mencapai 59.110.917 m³. [6]

Tabel 2
Prediksi luas dan volume genangan banjir pasang surut

| Peta Prediksi Genangan | Luas (hektar) | Volume (m ³) |
|------------------------|---------------|--------------------------|
| Peta Tahun 2000 | 1.752 | 4.109.844 |
| Peta Tahun 2010 | 3.438 | 17.029.219 |
| Peta Tahun 2030 | 4.846 | 59.110.917 |

4.2. Evaluasi RT RW Kota Semarang 2000-2010 terhadap genangan rob

Overlay peta RTRW terhadap prediksi genangan rob pada Tahun 2010 menunjukkan bahwa kawasan industri merupakan wilayah yang paling luas terkena dampak genangan banjir pasang surut. Berdasarkan peta tata ruang, kawasan industri ditempatkan di sepanjang pantai Semarang. Genangan banjir yang selalu terjadi di kawasan industri tentu saja akan menjadi promosi yang buruk bagi perkembangan investasi di Kota Semarang.

Kawasan lain yang merasakan penetrasi air laut adalah kawasan pemukiman. Permukiman di pusat kota tumbuh secara alamiah mengikuti perkembangan kota. Kawasan industri dan kawasan permukiman merupakan dua kawasan yang memiliki keterkaitan yang kuat satu sama lain. Kawasan industri secara alamiah akan membutuhkan tenaga-tenaga kerja yang murah dari kawasan permukiman di sekitarnya. Begitu pula sebaliknya, kawasan permukiman menengah ke bawah akan tumbuh sedekat mungkin dengan sentra-sentra industri.

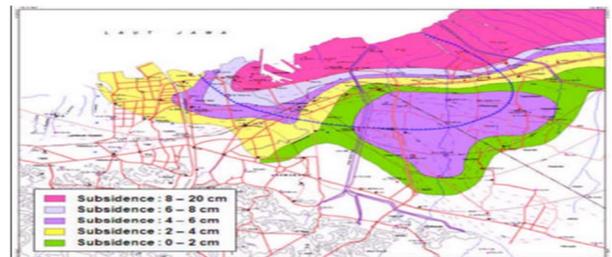
Tabel 3
Alokasi ruang yang tergenang oleh rob pada Tahun 2010

| FID | Shape | RTRW | Luas |
|-----|------------|-----------------------|---------|
| 0 | Polygon ZM | Industri | 1076.86 |
| 4 | Polygon ZM | Permukiman | 1008.06 |
| 1 | Polygon ZM | Konservasi | 345.96 |
| 7 | Polygon ZM | Waduk | 276.34 |
| 3 | Polygon ZM | Campuran | 256.72 |
| 2 | Polygon ZM | Perkantoran | 244.29 |
| 5 | Polygon ZM | Perdagangan dan jasa | 229.57 |
| 8 | Polygon ZM | Terminal | 183.7 |
| 6 | Polygon ZM | Olahraga dan rekreasi | 100.75 |
| 9 | Polygon ZM | Perguruan tinggi | 44.82 |
| 11 | Polygon ZM | Hutan | 30.56 |
| 10 | Polygon ZM | Taman | 12.23 |

4.3. Analisis data land subsidence

Pengukuran kecepatan penurunan muka tanah di Semarang telah beberapa kali dilakukan oleh berbagai instansi dengan berbagai metode, hasil, serta kesimpulan

yang berbeda-beda pula. Metode pengukuran laju penurunan muka tanah yang umumnya dilakukan adalah metode sipat datar atau waterpass, seperti yang dilakukan oleh WirSatriya (2005) dan Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (2007). [8]



Gambar 5. Laju penurunan muka tanah Kota Semarang hasil pengukuran dengan sipat datar oleh Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana.

Pengukuran laju penurunan muka tanah dengan menggunakan metode sipat datar membutuhkan waktu pengukuran yang lama dan sebaran titik pengamatannya tidak merata di seluruh wilayah studi. Salah satu metode yang dapat mengakuisisi data elevasi secara periodik dan mencakup wilayah yang luas adalah dengan menggunakan metode PS INSAR. [9] Pada penelitian ini, analisis sebaran potensi rob menggunakan peta land subsidence yang diperoleh dari radar yang dipublikasikan oleh Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan metode Sistem Informasi Geografik/DEM disimpulkan bahwa:

1. Penggunaan data topografi yang dikombinasikan dengan data penurunan tanah mampu memprediksi genangan rob dengan tingkat ketepatan lebih dari 60%. Perbedaan antara genangan rob prediksi dan genangan rob aktual pada Tahun 2010 lebih dominan disebabkan oleh perubahan tutupan lahan dalam kurun waktu 10 tahun, seperti: peninggian jalan dan pembuatan tanggul, yang tidak ter update pada Peta Topografi Tahun 2000.
2. Perkembangan jangkauan genangan banjir akan meningkat seiring dengan laju penurunan muka tanah di Semarang. Bila laju land subsidence hasil pengolahan PS INSAR yang dibuat oleh Departemen ESDM diasumsikan dari konstan setiap tahunnya, maka diperkirakan luas genangan rob pada Tahun 2030 mencapai sekitar 4.846 hektar. Penetrasi air laut tersebut akan merendam kawasan Semarang Utara yang didominasi oleh industri dan pemukiman.
3. Alokasi ruang kota Semarang yang dituangkan dalam RTRW 2000-2010 tidak memberikan arahan yang tepat tentang antisipasi rob. Genangan banjir yang sebagian besar terjadi di kawasan industri justru akan mengakibatkan perlambatan pertumbuhan sektor industri dan pada suatu waktu akan mendorong terjadinya

divestasi.

4. Kecenderungan perluasan genangan harus menjadi pertimbangan untuk membangun tanggul yang menahan masuknya air laut ke daratan. Untuk daerah yang diapit oleh Banjir Kanal Timur dan Banjir Kanal Barat, maka di sepanjang pantai Semarang harus dibuat tanggul laut yang disandingkan dengan Jalan Lingkar Utara.
5. Penanganan sungai, kanal, dan pintu air sepenuhnya harus dikelola oleh pemerintah atau suatu konsorsium yang memiliki kewenangan penuh dalam mengatur keluar masuknya aliran run off dan air laut.
6. Pada Perda No. 04 Tahun 2000 tentang RTRW 2000-2010, alokasi kawasan konservasi di muara Kali Semarang terlalu sempit, yaitu: hanya seluas sempadan sungai saja. Sebagian besar daerah muara diarahkan sebagai kawasan industri. Pada RTRW 2010-2030 pemerintah daerah harus membuat perda yang menegaskan kawasan yang dimaksud tersebut sebagai kawasan perlindungan setempat untuk mendukung pembangunan long storage dan kolam retensi di kemudian hari.

5.2. Saran

1. Data land subsidence harus diuji kebenarannya bila digunakan untuk melakukan prediksi dalam rentang waktu yang panjang. Seiring dengan waktu, penurunan muka tanah akan mengalami percepatan atau perlambatan atau turun dengan kecepatan yang konstan. Percepatan dapat dipicu oleh pengambilan air tanah yang berlebihan dan juga karena pembebanan bangunan yang melewati daya topang tanah. Sebaliknya, perlambatan penurunan muka tanah dapat terjadi bila konsolidasi tanah telah mendekati titik jenuh.
2. Perlu penelitian lebih lanjut yang melibatkan hitungan debit banjir secara detil dan prediksi komponen pasut yang teliti untuk mendapatkan peta genangan rob yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Handoyo, A. A. D. Suryoputro, and P. Subardjo, "Genangan Banjir Rob Di Kecamatan Semarang Utara," *J. Kelaut. Trop.*, vol. 19, no. 1, p. 55, 2016, doi: 10.14710/jkt.v19i1.601.
- [2] R. Erlani and W. H. Nugrahandika, "Ketangguhan Kota Semarang dalam Menghadapi Bencana Banjir Pasang Air Laut (Rob)," *J. Reg. Rural Dev. Plan.*, vol. 3, no. 1, p. 47, 2019, doi: 10.29244/jp2wd.2019.3.1.47-63.
- [3] H. S. Budinetrio, S. Rahayu, T. A. Praja, A. Taufiq, and D. Junarsa, "Semarang City Flood Control Strategy," *J. Sumber Daya Air*, vol. 8, no. 2, pp. 141–156, 2012.
- [4] P. Nugroho and A. Sugiri, "Studi Kebijakan Pembangunan Terhadap Perubahan Tata Ruang Di Kota Semarang," *Riptek*, vol. 3, no. 2, pp. 41–51, 2009.
- [5] D. P. Sasongko, "Menentukan Tipe Pasang Surut dan Muka Air Rencana Perairan Laut Kabupaten Bengkulu Tengah Menggunakan Metode Admiralty," vol. 6, no. 1, pp. 1–12, 2014.
- [6] S. Mukherjee, P. K. Joshi, S. Mukherjee, A. Ghosh, R. D. Garg, and A. Mukhopadhyay, "Evaluation of vertical accuracy of open source Digital Elevation Model (DEM)," *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, vol. 21, no. 1, pp. 205–217, 2012, doi: 10.1016/j.jag.2012.09.004.
- [7] R. K. Rachman, D. H. Ismunarti, and G. Handoyo, "Pengaruh Pasang Surut Terhadap Sebaran Genangan Banjir Rob di Kecamatan Semarang Utara," *J. Oceanogr.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–9, 2015.
- [8] B. D. Yuwono, "Korelasi Penurunan Muka Tanah Dengan Penurunan Muka Air Tanah Di Kota Semarang," *Teknik*, vol. 34, no. 3, pp. 188–195, 2013.
- [9] Y. Prasetyo and S. Subiyanto, "Studi Penurunan Muka Tanah (Land Subsidence) Menggunakan Metode Permanent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar (Ps-Insar) Di Kawasan Kota Cimahi - Jawa Barat," *Teknik*, vol. 35, no. 2, pp. 78–85, 2014, doi: 10.14710/teknik.v35i2.7184.