



**KAJIAN SEBARAN POTENSI ROB KOTA SEMARANG
DAN USULAN PENANGANANNYA**

(Study of Tidal Inundation Potential at Semarang City and Its Solutions)

TESIS

disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan

Program Magister Teknik Sipil

oleh :

L. M. BAKTI

NIM. L4A.006.163

**PROGRAM PASCA SARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
S E M A R A N G**

2010

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 Dijital, Penurunan Muka Tanah*

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 points on 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.

Key words: *Tidal Inundation, Geographic Information System, Digital Elevation Model, Land subsidence*

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT atas segala rahmat-Nya, sehingga penelitian yang berjudul **Kajian Sebaran Potensi Rob Kota Semarang dan Usulan Penanganannya** ini dapat diselesaikan dengan baik. Penelitian ini tentu saja tidak akan selesai tanpa bantuan berbagai pihak. Untuk itu kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Dr. Ir. Suripin, M.Eng selaku Ketua Program Pascasarjana Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro dan Penguji Sidang Tesis.
2. Dr. Ir. Suharyanto, M.Sc selaku Pembimbing I yang telah memberikan begitu banyak kritik yang sangat bermanfaat.
3. Dr. Ir. Suseno Darsono, M.Sc selaku Pembimbing II atas dorongan moril yang tak terhingga nilainya.
4. Dr. Ir. Robert J. Kodoatie, M.Eng selaku Penguji Sidang Tesis yang telah membuat segalanya terasa begitu mudah.
5. Drs. Ir. Hasan Basri, Sp.1, MT dan Ir. A.S.B. Rahayu yang telah memberikan banyak bantuan dan dorongan moril sejak awal hingga akhir studi.
6. Ir. Taufik Hidayat, Sp.1, MT yang telah bersama-sama menikmati indahnyanya menyelesaikan tesis.
7. Ir. M. Riza Nasution, MT dan rekan-rekan seperjuangan atas hari-hari yang tak terlupakan.
8. Ir. H. L. A. Ganiru, M.Si, ayahanda tercinta, yang senantiasa mendorong anak-anaknya untuk terus belajar.

9. L. M. Sabri, ST., MT atas segala kerja kerasnya memberi semangat dan membimbing penyelesaian tesis ini dari nol dan tak berwujud hingga selesai.
10. Seluruh dosen dan karyawan Program Pascasarjana Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro yang telah begitu sabar membantu dan menjadikan perkuliahan terasa begitu menyenangkan.
11. Semua pihak yang telah begitu banyak membantu dan tidak sanggup disebutkan satu per satu.

Meskipun telah dibuat dengan secermat mungkin, namun tidak menutup kemungkinan masih ditemukan beberapa kekeliruan dalam tesis ini. Kritik dan saran sangat diharapkan demi kesempurnaan tesis ini dan kemajuan ilmu pengetahuan di masa datang.

Semoga bermanfaat.

Semarang, Maret 2010

L. M. Bakti

DAFTAR ISI

ABSTRAK	I
ABSTRACT	II
KATA PENGANTAR	III
DAFTAR ISI	V
DAFTAR GAMBAR	VII
DAFTAR TABEL	IX
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG.....	1
1.2 RUMUSAN MASALAH.....	3
1.3 TUJUAN PENELITIAN.....	3
1.4 RUANG LINGKUP PENELITIAN.....	4
1.5 METODOLOGI PENELITIAN.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 TATA GUNA WILAYAH PANTAI (COASTAL LAND-USE).....	9
2.2 METEOROLOGI KAWASAN PANTAI.....	10
2.3 OCEANOGRAPHY.....	11
2.4 GELOMBANG ANGIN.....	12
2.5 PASANG SURUT.....	14
2.6 PENGEMBANGAN DAERAH PANTAI.....	17
2.6.1 Kawasan Perikanan dan Pertanian.....	17
2.6.2 Kawasan Industri dan perdagangan.....	18
2.6.3 Kawasan Permukiman.....	19
2.6.4 Kawasan Lindung dan Cagar Alam.....	20
2.7 PERMASALAHAN PENGELOLAAN PANTAI.....	20
2.7.1 Permasalahan Fisik.....	21
2.7.2 Permasalahan Hukum.....	21
2.7.3 Permasalahan Sumber Daya Manusia.....	22
2.7.4 Permasalahan Institusi.....	22
2.8 PERMASALAHAN DRAINASE KOTA PANTAI.....	22
2.8.1 Peningkatan Debit.....	24
2.8.2 Banjir pasang surut.....	25

2.8.3	Kenaikan Muka Laut (<i>Sea level Rise</i>).....	27
2.8.4	Penurunan Muka Tanah	27
2.8.5	Pemanfaatan Teknologi Permanent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar (PS-InSAR) dalam Studi Penurunan Muka Tanah	29
2.9	SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS (SIG).....	33
2.10	DIGITAL ELEVATION MODEL (DEM)	34
2.11	<i>STREAM LINE ANALYSIS</i>	35
2.12	KEGIATAN PENATAAN RUANG BERDASARKAN UU NOMOR 26 TAHUN 2007	35
BAB III PELAKSANAAN PENELITIAN		38
3.1	GAMBARAN UMUM KOTA SEMARANG	38
3.1.1	Topografi	39
3.1.2	Hidrologi.....	39
3.1.3	Struktur Geologi	40
3.1.4	Pola pemanfaatan lahan	41
3.2	APLIKASI SISTEM INFORMASI GEOGRAFIK UNTUK IDENTIFIKASI BANJIR ROB	43
3.2.1	Akuisisi data	44
3.2.2	Pembuatan model permukaan digital Kota Semarang.....	45
3.2.3	Identifikasi penjalaran rob	50
3.3	REDUKSI <i>MEAN SEA LEVEL</i>	56
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		60
4.1	HASIL.....	60
4.1.1	Peta genangan banjir pasang surut.....	60
4.1.2	Evaluasi RTRW Kota Semarang 2000-2010 terhadap genangan rob.....	63
4.2	PEMBAHASAN.....	64
4.2.1	Analisis data <i>land subsidence</i>	64
4.2.2	Analisis data pasang surut.....	67
4.2.3	Validasi peta prediksi genangan rob	68
4.2.4	Analisis inlet dan outlet banjir pasang surut.....	74
4.2.5	Usulan bangunan air pengendali rob	78
4.2.6	Arahan penanggulangan rob untuk RTRW Semarang 2010-2030	85
BAB V P E N U T U P		89
5.1	KESIMPULAN.....	89
5.2	SARAN.....	91
DAFTAR PUSTAKA.....		92

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Wilayah studi sebaran potensi rob Kota Semarang.....	4
Gambar 1.2 Skema metodologi penelitian	7
Gambar 2.1 Tata Guna Wilayah Pantai (<i>Coastal Land-Use</i>).....	9
Gambar 2.2 Pembentukan Gelombang Angin (<i>Sea dan Swell</i>).....	12
Gambar 2.3 Contoh Pasang Harian Ganda, Campuran dan Tunggal.....	16
Gambar 2.4 Permasalahan Banjir Kota Pantai dan elemen-elemennya	23
Gambar 3.1 RTRW Kota Semarang Tahun 2000-2010	42
Gambar 3.2 Diagram alir pembentukan DEM	46
Gambar 3.3 <i>Overview</i> sebaran titik ketinggian untuk pembuatan DEM.....	47
Gambar 3.4 <i>Overview</i> peta penurunan muka tanah Kota Semarang dari PS INSAR.....	47
Gambar 3.5 Cuplikan atribut dari <i>spotheight</i>	48
Gambar 3.6 Model permukaan digital Kota Semarang dengan TIN.....	49
Gambar 3.7 Raw data DEM hasil interpolasi raster dengan metode Krigging	49
Gambar 3.8 Peta DEM Semarang Tahun 2010 setelah di- <i>crop</i>	50
Gambar 3.9 Diagram alir pembuatan peta penjalaran rob.....	51
Gambar 3.10 Diagram alir ekstraksi informasi hidrologi dari data DEM.....	52
Gambar 3.11 Peta <i>Flow Direction</i>	53
Gambar 3.12 Peta <i>Flow Accumulation</i>	54
Gambar 3.13 Peta <i>Flow accumulation</i> dengan data <i>biner</i>	55
Gambar 3.14 Peta aliran permukaan berdasarkan pemodelan <i>stream line</i>	55
Gambar 3.15 Fluktuasi pasang surut pada Bulan Juni 2009	57
Gambar 4.1 Peta genangan banjir pasang surut Tahun 2000	61
Gambar 4.2 Peta genangan banjir pasang surut Tahun 2010	61
Gambar 4.3 Peta genangan banjir pasang surut Tahun 2030	62

Gambar 4.4 Laju penurunan muka tanah Kota Semarang hasil pengukuran dengan sipat datar oleh FPIK UNDIP	64
Gambar 4.5 Laju Penurunan muka tanah Kota Semarang hasil pengukuran dengan sipat datar oleh Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana.....	65
Gambar 4.6 Laju penurunan muka tanah Kota Semarang hasil PS INSAR.....	66
Gambar 4.7 Peta penurunan muka tanah hasil pengukuran GPS Geodetik	67
Gambar 4.8 Peta bencana banjir di Wilayah Kota Semarang	69
Gambar 4.9 <i>Overlay</i> prediksi rob 2010 dengan pemetaan titik-titik terluar rob hasil wawancara Tahun 2009.....	70
Gambar 4.10 <i>Overlay</i> Genangan hasil survey 2005 terhadap DEM 2005	71
Gambar 4.11 <i>Overlay</i> Genangan hasil survey 2005 terhadap genangan banjir lokal	72
Gambar 4.12 <i>Overlay</i> peta sebaran rob 2010, peta Jalan, dan stream line.....	73
Gambar 4.13 Genangan di Jl. Ronggo Warsito yang alirannya tertahan oleh Jl. Pengapon yang ditinggikan.....	74
Gambar 4.14 <i>Overlay stream line</i> dan banjir kanal di Semarang	75
Gambar 4.15 <i>Stream line</i> pusat kota Semarang	76
Gambar 4.16 Verifikasi inlet/outlet rob di muara Kali Semarang	77
Gambar 4.17 Lokasi survey outlet Tanjung Mas - Semarang.....	78
Gambar 4.18 Rencana penanggulangan Kali Semarang	80
Gambar 4.19 Peta pembagian cekungan banjir kanal	81
Gambar 4.20 Peta sub das Semarang tengah	82
Gambar 4.21 Identifikasi titik akhir sudetan Tugu Muda – Kanal Timur.....	83
Gambar 4.22 Usulan penanggulangan rob Kota Semarang	84
Gambar 4.23 Rumah pompa di Kawasan Tanah Mas yang beroperasi setiap hari dan membutuhkan biaya pemeliharaan yang cukup besar	87

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tujuh Komponen Konstituen Gelombang Pasang Surut	15
Tabel 2.2. Kelebihan dan Kekurangan Metode PS-InSAR	32
Tabel 3.1 Tabel Data Spasial yang digunakan	45
Tabel 3.2 Resume Bacaan Pasut pada Bulan Juni 2009.....	56
Tabel 4.1 Prediksi Luas dan Volume genangan banjir pasang surut.....	62
Tabel 4.2 Alokasi ruang yang tergenang oleh rob pada Tahun 2010.....	63

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

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 dikontribusi oleh adanya penurunan muka tanah yang mencapai 3 sampai 15 cm per tahun, dan perilaku oceanografi dan klimatologi di Semarang dan sekitarnya.

Kerugian sosial dan ekonomi akibat banjir ROB ini tidak sedikit. Secara sepiantas, 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.

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. 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. RTRW 2000-2010 yang mengatur tentang penggunaan ruang Kota Semarang harus dievaluasi dengan

mempertimbangkan fakta perubahan dan penyimpangan yang terjadi di lapangan, termasuk masalah genangan banjir. Evaluasi tersebut akan bermanfaat sebagai masukan untuk penyusunan RTRW 2010-2030.

1.2 Rumusan masalah

Penelitian dengan tema sejenis sebenarnya telah banyak dilakukan dengan metode, hasil, dan rekomendasi berbeda-beda satu dengan yang lainnya. Salah satu metode yang diduga cukup efektif adalah dengan membuat peta prediksi berdasarkan data topografi dan peta penurunan tanah (*land subsidence*). Atas dasar hal-hal tersebut di atas, maka perlu dilakukan penelitian tentang:

- Bagaimana sebaran potensi rob di Kota Semarang berdasarkan pendekatan analisis topografi dan penurunan tanah?,
- Bagaimana penanggulangan rob berdasarkan aspek hidrologi dan tata ruang?

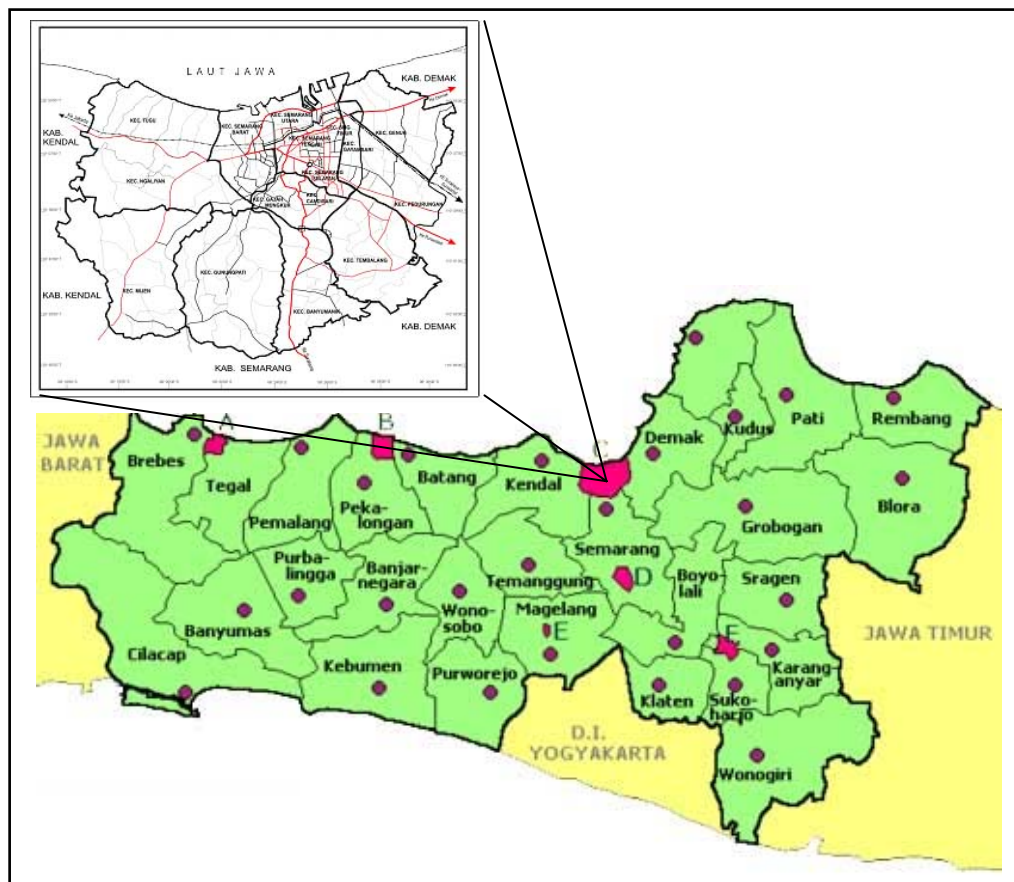
1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

- Menganalisis sebaran potensi rob di Kota Semarang pada Tahun 2010 dan 2030 dengan memperhitungkan faktor penurunan muka tanah;
- Menganalisis kesesuaian RTRW 2000-2010 dengan genangan banjir pada Tahun 2010;
- Menentukan lokasi dan tipe bangunan pengendali banjir rob;
- Memberikan usulan bagi RTRW 2010-2030 dan RDTRK tentang pemanfaatan ruang pada daerah yang berpotensi terkena dampak banjir ROB.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Pemetaan potensi rob pada penelitian ini dilakukan pada seluruh wilayah Kota Semarang. Dengan adanya penurunan muka tanah 3 hingga 15 sentimeter per tahun, maka diperkirakan daerah genangan rob akan semakin meluas dan membutuhkan penanganan secara regional.



Gambar 1.1 Wilayah studi sebaran potensi rob Kota Semarang

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa batasan sebagai berikut :

- Analisis genangan banjir pasang surut dan alokasi bangunan pengendalinya hanya menggunakan parameter topografi saja
- Tidak dilakukan analisis data hidrologi, geologi, dan aspek geoteknik.

1.5 Metodologi 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. Untuk mempermudah pembentukan DEM, maka proses tersebut dilakukan dengan bantuan ekstensi *Spatial Analyst* pada perangkat lunak ArcGIS 9.2.

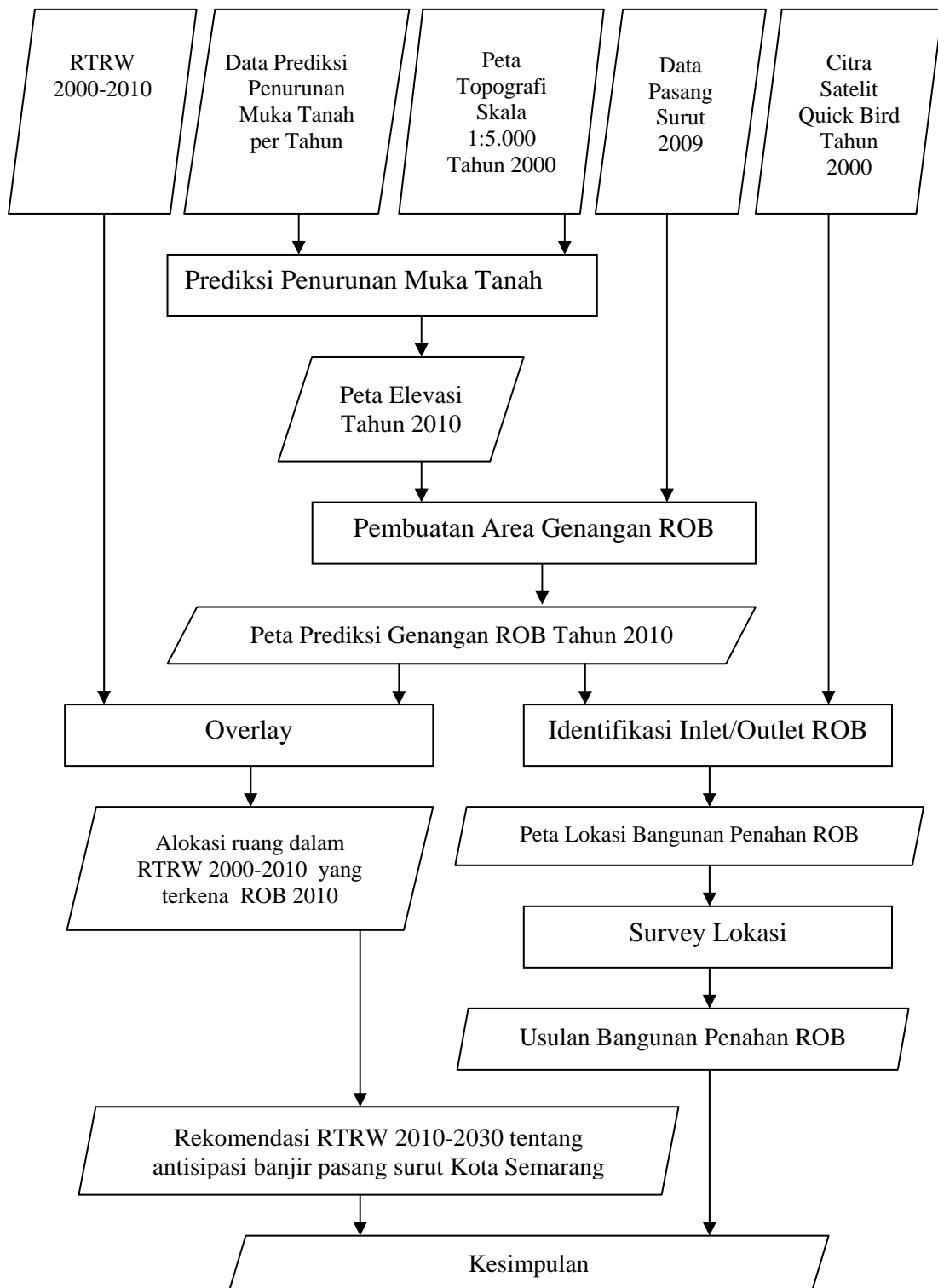
Elevasi suatu titik pada peta topografi didefinisikan sebagai ketinggian di atas muka laut rata-rata. Selain membutuhkan data ketinggian pada peta topografi, pembuatan prediksi genangan rob juga membutuhkan data ketinggian air laut saat pasang. Dari data HHWL dan MSL dapat dibuat model genangan untuk wilayah Semarang. Sebagai contoh, bila simpangan HHWL terhadap MSL adalah 1.25 m, maka untuk lokasi dengan ketinggian 1.0 meter 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 1.2. Rekomendasi lokasi penempatan bangunan air penahan rob disusun berdasarkan hasil identifikasi lokasi inlet/outlet air laut. Titik tempat masuknya air laut dan penjarannya ditemukan dengan melakukan pemodelan aliran permukaan berdasarkan data topografi.



Gambar 1.2 Skema metodologi penelitian

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

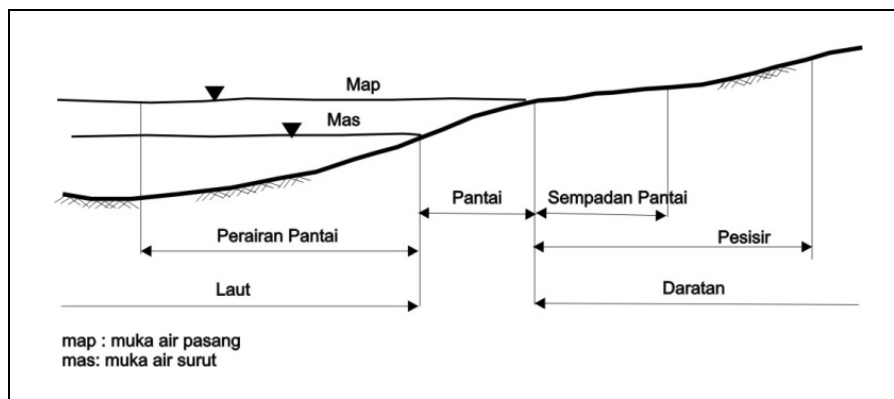
Kajian tentang ROB di Kota Semarang sebenarnya telah banyak dilakukan oleh peneliti-peneliti terdahulu. Penelitian yang dilakukan oleh Marfai (2003) memodelkan banjir ROB di Kota Semarang dengan menggunakan pendekatan banjir dari arah laut dan daratan. Meskipun penelitian tersebut cukup komprehensif, namun penelitian tersebut belum memberikan rekomendasi antisipasi teknis untuk mencegah banjir tersebut.

Penelitian lain yang membahas tentang penanganan pantai di Semarang juga pernah dilakukan oleh Jurusan Teknik Sipil – Fakultas Teknik Universitas Diponegoro pada Tahun 2004. Kajian tersebut membahas tentang upaya reklamasi pantai Semarang dan Kendal untuk pengendalian sedimentasi. Data perubahan garis pantai, perilaku pasang surut, dan data terkait lainnya pada penelitian tersebut akan digunakan untuk memperkaya analisis pada studi ini.

Usulan terbaru tentang pengendalian ROB di Semarang dikemukakan oleh Wirjomartono (2009). Hasil dari studi tersebut adalah usulan pembangunan Dam Lepas Pantai (DLP) di Semarang. Pembangunan DLP ini diperkirakan akan membutuhkan waktu 25 hingga 50 tahun.

2.1 Tata Guna Wilayah Pantai (Coastal Land-Use)

Kawasan pantai merupakan kawasan yang multi fungsi. Lahan di kawasan pantai dapat digunakan untuk berbagai peruntukan, seperti: pemukiman, pelabuhan, dermaga, industri dan lainnya. Secara visual, potongan kawasan pantai dapat terdiri dari beberapa bagian, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Tata Guna Wilayah Pantai (*Coastal Land-Use*)

(Sumber: Triatmodjo, 1999)

Pendefinisian suatu daerah ke dalam sub-sub kawasan pantai seringkali terjadi pertentangan mengingat keterkaitan satu sama lainnya. Garis pantai berdasarkan definisi yang umum adalah garis batas pertemuan antara daratan dan air laut. Pada kawasan yang menjadi langganan banjir rob, garis pantai akan mengalami pergeseran sesuai dengan perkembangan genangan itu sendiri. Untuk melindungi keberadaan pantai, maka beberapa daerah menetapkan wilayah sempadan pantainya. Adapun pengertian sempadan pantai adalah suatu kawasan

tertentu sepanjang pantai yang mempunyai manfaat penting untuk mempertahankan kelestarian fungsi pantai.

Pesisir merupakan daerah darat di tepi laut yang masih mendapat pengaruh laut, seperti pasang surut, angin laut dan perembesan air laut. Adapun pantai didefinisikan sebagai daerah di tepi perairan yang dipengaruhi oleh air pasang tertinggi dan air surut terendah. Berdasarkan definisi tersebut, daerah genangan rob Semarang dapat dikategorikan sebagai daerah pesisir.

Daerah daratan didefinisikan sebagai daerah yang terletak di atas dan di bawah permukaan daratan di mulai dari batas garis pasang tertinggi. Bila mengacu pada definisi tersebut, maka wilayah kota Semarang yang tidak terkena rob merupakan daerah daratan. Adapun daerah lautan didefinisikan sebagai daerah yang terletak di atas dan di bawah permukaan lautan di mulai dari sisi laut pada garis surut terendah, termasuk dasar laut dan bagian bumi di bawahnya.

2.2 Meteorologi Kawasan Pantai

Kawasan pantai memiliki perilaku meteorologi yang unik yang seringkali berbeda dengan bagian daratannya. Kajian tentang meteorologi kawasan pantai meliputi pengukuran curah hujan, suhu udara, kelembaban udara, angin dan kecepatan angin.

Angin merupakan udara yang bergerak dari tempat yang bertekanan udara tinggi ke tempat yang bertekanan udara rendah. Secara umum, kawasan pantai akan dipengaruhi oleh dua macam angin saja, yaitu angin darat dan angin laut. Kedua jenis angin inilah yang kemudian dimanfaatkan nelayan untuk berlayar. Angin

darat berhembus pada malam hari sedangkan angin laut berhembus di siang hari. Berhembusnya angin darat dan angin laut ini dipengaruhi oleh perbedaan panas antara daratan dan lautan.

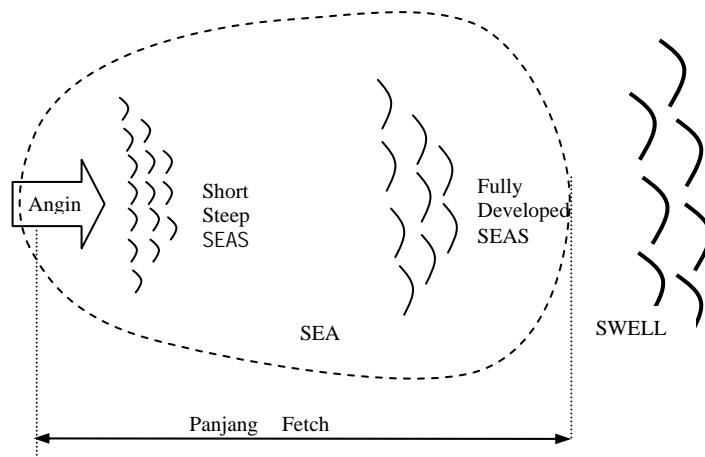
Triatmodjo (1999) membagi daerah distribusi kecepatan angin di atas permukaan laut dalam tiga daerah sesuai dengan elevasi di atas permukaan. Di daerah geostropik yang berada di atas 1000 m kecepatan angin adalah konstan. Di bawah elevasi tersebut terdapat dua daerah yaitu daerah Ekman yang berada pada elevasi 100 – 1000 m dan daerah di mana tegangan konstan yang berada pada elevasi 10 – 100 m. Di kedua daerah tersebut kecepatan dan arah angin berubah sesuai dengan elevasi, karena adanya gesekan dengan permukaan laut dan perbedaan temperatur antara air dan udara.

2.3 Oceanography

Keberagaman dan keunikan ekosistem suatu perairan akan sangat tergantung oleh faktor-faktor oceanografi. Faktor-faktor oceanografi antara lain meliputi suhu air laut, kecerahan, pH, dan kegaraman. Suhu suatu perairan dipengaruhi oleh radiasi matahari, posisi matahari, letak geografis, musim, kondisi awan serta proses interaksi antara air dan udara, seperti alih panas (*heat*), penguapan dan hembusan angin. Kondisi yang hampir serupa berlaku pula bagi salinitas. Salinitas akan dipengaruhi oleh keadaan lingkungannya, musim, serta interaksi antara laut dengan daratan. Perubahan yang terjadi pada faktor oseanografi akan berakibat pada perubahan ekosistem suatu perairan.

2.4 Gelombang Angin

Studi tentang rob, selain melibatkan analisis pasang surut laut, juga harus memperhitungkan ketinggian gelombang laut. Perencanaan bangunan maritim, seperti pembangunan tanggul laut atau tanggul sungai harus memilih tinggi gelombang yang mewakili dari suatu peramalan atau pencatatan gelombang yang bentuk dan tinggi gelombangnya acak. Tinggi gelombang yang dipilih umumnya adalah tinggi gelombang signifikan (H_s) yang merupakan tinggi gelombang rerata dari 33% populasi gelombang-gelombang tinggi dari suatu pencatatan, atau biasa ditulis dengan H_{33} atau $H_{1/3}$. Adapun periode gelombang signifikan tersebut dihitung dengan pendekatan $T_s = T_{\text{rerata}}$.



Gambar 2.2 Pembentukan Gelombang Angin (Sea dan Swell)

Hembusan angin di atas permukaan air akan memindahkan energinya ke air. Dengan kecepatan tertentu, angin akan menimbulkan tegangan pada permukaan laut, sehingga permukaan air yang semula tenang akan terganggu dan

di atas permukaan air tersebut akan timbul riak gelombang kecil. Pertambahan kecepatan angin mengakibatkan riak tersebut akan menjadi semakin besar, dan apabila angin bertiup terus akhirnya akan terbentuk gelombang. Semakin lama dan semakin kuat angin berhembus, maka semakin besar gelombang yang akan terbentuk.

Tinggi dan periode gelombang yang dibangkitkan oleh angin, dipengaruhi oleh kecepatan angin (U), lama hembus angin (t_d), arah angin dan panjang *fetch* (F). *Fetch* adalah panjang daerah pembangkitan gelombang dimana kecepatan dan arah angin tersebut berhembus. Panjang *fetch* membatasi waktu yang diperlukan gelombang untuk terbentuk karena pengaruh angin, jadi mempengaruhi waktu untuk mentransfer energi angin ke gelombang. Panjang *fetch* ini berpengaruh pada periode, panjang dan tinggi gelombang yang dibangkitkan. Gelombang dengan periode relatif panjang akan terjadi jika panjang *fetch* besar.

Gelombang yang terjadi di daerah pembentukan (pembangkitan) disebut gelombang *Sea*, sedangkan gelombang yang terbentuk tersebut setelah menjalar keluar dari daerah pembangkitan disebut gelombang *Swell*. Ciri-ciri gelombang *Sea* mempunyai spektrum energi gelombang dengan *broad banded* (sangat acak) dengan puncak gelombang tajam, dengan panjang gelombang berkisar antara 10 s/d 20 kali tinggi gelombang. Sedangkan ciri-ciri gelombang *swell* adalah gelombang dengan spektrum energi *narrow banded* (band sempit), sehingga mendekati gelombang regular dengan panjang berkisar 30 s/d 500 tinggi gelombang.

2.5 Pasang Surut

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. 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:

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

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 2.1.

Tabel 2.1 Tujuh Komponen Konstituen Gelombang Pasang Surut

No	Sumber/Konsituen	Simbol	Periode	Relatif Amplitudo
1	Main Lunar, semi diurnal	M_2	12,42	100,00 %
2	Main Solar, semi diurnal	S_2	12,00	46,60
3	Lunar Eliptic, semidiurnal	N_2	12,66	19,20
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:

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

Bilamana :

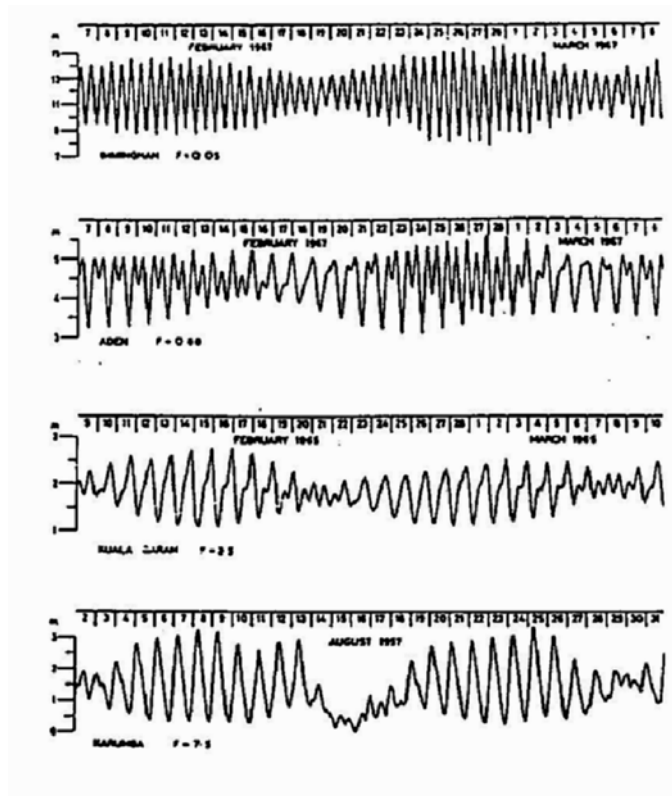
$F \leq 0,25$: pasang harian ganda

$F \geq 3,00$: 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



Gambar 2.3 Contoh Pasang Harian Ganda, Campuran dan Tunggal

(Sumber: Yuwono dan Kodoatie, 2003)

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 = $Z_0 + (A_{M2} + A_{S2})$
- *Mean Low Water Spring* = MLWS = $Z_0 - (A_{M2} + A_{S2})$
- *Highest High Water Spring* = HHWS = $Z_0 + (A_{M2} + A_{S2} + A_{K1} + A_{O1})$

- *Lowest Low Water Spring* = LLWS = $Z_0 - (A_{M2} + A_{S2} + A_{K1} + A_{O1})$
- *Highest Astronomical Tide* = HAT = $Z_0 + \sum A_i$
- *Lowest Astronomical Tide* = LAT = $Z_0 - \sum A_i$

2.6 Pengembangan Daerah Pantai

Daerah pantai dapat dikembangkan menjadi beberapa kawasan menurut potensi atau sumber daya unggulannya. Lazimnya, daerah pantai dialokasikan untuk pengembangan perikanan, namun seiring dengan perkembangan kota, daerah pantai seringkali bergeser menjadi kawasan industri dengan aktivitas sosial ekonomi yang tinggi. Pada banyak kasus, daerah pantai dengan ekosistemnya yang unik seharusnya juga dijadikan sebagai kawasan perlindungan atau cagar alam untuk menjamin kelangsungan industri perikanan.

2.6.1 Kawasan Perikanan dan Pertanian

Secara tradisional, roda kehidupan daerah pantai akan terorientasi pada sektor perikanan. Pada kota-kota yang belum berkembang, penangkapan ikan di perairan pantai dapat dilakukan dengan kapal-kapal nelayan tradisional dan tidak memerlukan perlengkapan atau peralatan yang canggih. Di Kawasan Pantai Utara, sektor perikanan dari tahun ke tahun terus berkembang yang ditandai dengan pesatnya pertumbuhan jumlah kapal nelayan dan pelabuhan ikan. Hampir di setiap muara sungai di Pantai Utara Pulau Jawa merupakan pelabuhan ikan.

Daerah pantai dengan geomorfologi yang landai sangat baik bila dimanfaatkan untuk pengembangan perikanan dan pertanian, seperti tambak

udang/ikan, persawahan pasang-surut, penangkapan ikan, budidaya rumput laut, budidaya mutiara, dan ladang garam. Kota Semarang dan sekitarnya yang berada di sabuk pantai utara Jawa sangat cocok untuk pengembangan usaha pertambakan.

Pada daerah lain dengan kondisi pantai yang sangat datar membutuhkan penanganan yang ekstra untuk menyaingi pengaruh pasang surut laut. Rawa-rawa pasang surut dapat dikembangkan menjadi persawahan pasang surut, seperti yang telah diterapkan di beberapa daerah di Kalimantan dan Sumatera bagian timur. Sistem pengairan pada persawahan pasang surut ini dilakukan dengan cara pemberian air pengairan pada waktu pasang dan pengatusan dilakukan pada saat surut

Di daerah lain di Indonesia, khususnya kawasan timur Indonesia, yang memiliki kondisi geologi dan oseanografi yang belum tercemar, pengembangan kawasan pantai lebih diarahkan untuk pembudidayaan budidaya rumput laut, mutiara, atau perikanan keramba. Dengan air laut yang jernih, daerah pantai di kawasan timur sangat berpotensi untuk pengembangan industri wisata.

2.6.2 Kawasan Industri dan perdagangan

Pendirian industri di daerah pantai akan memberikan banyak keuntungan bagi pelaku industri. Keuntungan-keuntungan yang diperoleh dengan menempatkan industrinya di daerah pantai antara lain:

1. Kemudahan untuk mendatangkan bahan baku dan bahan bakar
2. Kemudahan untuk mengirimkan hasil industri
3. Kemudahan untuk membuang limbah industri

Dengan berbagai kemudahan yang ada, kawasan industri saat ini mengarah ke daerah pantai, seperti yang terlihat di beberapa kota pelabuhan.

Transportasi laut yang relatif murah dibandingkan dengan transportasi darat ataupun udara menjadi magnet tersendiri yang menarik pelaku industri untuk berinvestasi di daerah pantai. Selain murah, transportasi laut dapat menjangkau berbagai pulau dan manca negara, sehingga perdagangan banyak memanfaatkan transportasi laut. Untuk mendukung kegiatan perdagangan tersebut, daerah pantai yang memenuhi persyaratan dapat dikembangkan untuk menjadi pelabuhan atau bandar. Daerah pantai yang mempunyai alur yang cukup dalam dan gelombangnya tidak besar atau lokasinya terlindung dari gempuran gelombang dapat dikembangkan menjadi pelabuhan alam. Adapun pantai dengan alur yang sempit dan gelombang yang besar membutuhkan pelabuhan yang dilengkapi dengan perlindungan (pemecah gelombang) dan perawatan alur secara rutin.

2.6.3 Kawasan Permukiman

Daerah pantai dengan aktivitas sosial ekonomi yang tinggi tentu saja akan diikuti dengan tumbuhnya kawasan permukiman penduduknya. Permukiman nelayan di daerah pantai umumnya akan didominasi oleh permukiman kumuh dan tidak tertata dengan baik. Pada kota-kota modern, keberadaan permukiman kumuh biasanya telah tergeser dengan sendirinya oleh industri dengan kapital yang besar.

Konsep permukiman *waterfront city* merupakan fenomena yang umum diterapkan pada kota-kota modern. Permukiman modern dibangun berdekatan dengan daerah wisata atau dekat dengan pusat bisnis.

2.6.4 Kawasan Lindung dan Cagar Alam

Secara alamiah, daerah pantai merupakan tempat pemijahan bagi ikan-ikan yang berasal dari laut lepas. Kerusakan ekosistem pantai akan sangat berpengaruh terhadap industri perikanan di kawasan tersebut. Keberadaan industri yang membutuhkan akses yang bebas ke arah lautan, seringkali menggeser keberadaan daerah pantai sebagai daerah perlindungan ekosistem laut.

Salah satu bagian yang cukup penting dalam ekosistem pantai adalah hutan bakau atau *mangrove*. Hutan bakau (*mangrove*) bersama bukit pasir (*sand dunes*) dan terumbu karang dapat berfungsi sebagai pelindung pantai dari hantaman gelombang. Bilamana pelindung alam ini hilang maka pantai akan terancam erosi. Mengingat pentingnya fungsi tersebut maka daerah pantai yang mempunyai hutan bakau, bukit pasir ataupun terumbu karang tersebut dijadikan kawasan lindung.

2.7 Permasalahan Pengelolaan Pantai

Daerah pantai disamping mempunyai potensi yang cukup besar seperti diuraikan di atas juga mempunyai permasalahan yang cukup banyak. Permasalahan tersebut diantaranya adalah permasalahan fisik, permasalahan hukum, permasalahan sumberdaya manusia dan permasalahan institusi (Yuwono dan Kodoatie, 2006).

2.7.1 Permasalahan Fisik

Permasalahan fisik pantai diantaranya adalah erosi pantai, hilangnya pelindung alami pantai, ancaman gelombang badai/tsunami, sedimentasi pantai, pencemaran pantai, intrusi air laut, ancaman tergenangnya dataran rendah pantai akibat kenaikan muka air laut (*sea level rise*) yang disebabkan oleh efek rumah kaca, perkembangan permukiman pantai yang tidak terencana (permukiman kumuh), pemanfaatan daerah pantai yang tidak sesuai dengan potensi pantai, dan air baku yang terbatas (terutama untuk daerah kepulauan). Permasalahan ini adalah permasalahan paling menonjol bagi Kementerian Pekerjaan Umum, karena instansi inilah yang paling bertanggung jawab dalam perlindungan dan pengamanan daerah pantai.

2.7.2 Permasalahan Hukum

Permasalahan hukum timbul karena belum adanya perangkat hukum yang memadai dalam rangka pengelolaan daerah pantai. Misalnya perangkat hukum yang berkaitan dengan batas sempadan pantai, pemanfaatan sempadan pantai, reklamasi pantai, penambangan pasir dan karang, dan pemotongan tanaman pelindung pantai. Disamping itu pemahaman hukum oleh masyarakat yang masih kurang, misalnya membuang limbah ke pantai tanpa diproses dan membangun tempat usaha tanpa memiliki ijin yang benar.

2.7.3 Permasalahan Sumber Daya Manusia

Masyarakat daerah pantai banyak yang belum memahami mengenai pengelolaan daerah pantai, dan tidak menyadari bahwa tindakan yang dilakukan mungkin dapat merusak kelestarian ekosistem pantai. Sebagai contoh pembangunan rumah yang berada di sempadan pantai, penambangan pasir dan terumbu karang, dan pembuatan tambak dengan memabat habis pohon pelindung pantai (*mangrove*).

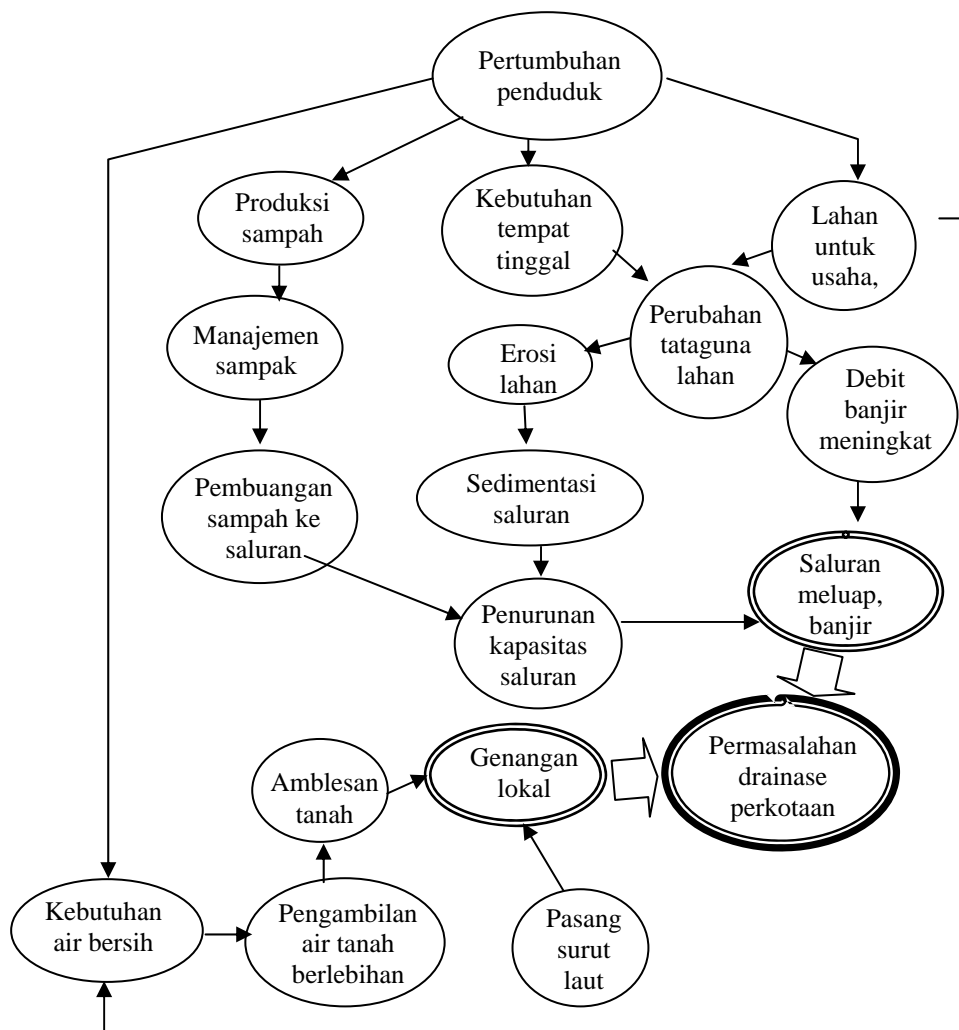
2.7.4 Permasalahan Institusi

Sampai saat ini belum tersedia institusi yang mampu mengkoordinir kegiatan yang berada di daerah pantai dengan baik. Berbagai instansi seperti Pekerjaan Umum, Pariwisata, Perikanan, Permukiman, Pertanian, Kehutanan, Pertambangan, dan Perhubungan; semua melakukan kegiatan di daerah pantai namun masih bergerak secara sektoral. Dengan demikian pengelolaan daerah pantai belum dapat dilakukan secara optimal.

2.8 Permasalahan Drainase Kota Pantai

Permasalahan drainase perkotaan terutama daerah pantai terkadang jauh lebih kompleks dibanding dengan daerah daratan. Pada daerah pantai, drainase bukan hanya meliputi penanganan hidrologi di daratan dan pengalirannya hingga ke laut, tetapi juga melibatkan faktor-faktor penanggulangan banjir pasang surut yang mungkin terjadi. Banyak faktor yang mempengaruhi dan harus dipertimbangkan dalam perencanaan drainase untuk kota pantai, antara lain:

peningkatan debit setiap tahunnya, penyempitan dan pendangkalan saluran, reklamasi pantai, amblesan tanah, limbah, sampah, dan pasang surut air laut. Hubungan timbal-balik faktor-faktor tersebut terhadap permasalahan drainase perkotaan diperlihatkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Permasalahan Banjir Kota Pantai dan elemen-elemennya

(Sumber : Suripin, 2006)

Permasalahan drainase kota dimulai dari peningkatan jumlah penduduk di perkotaan yang sangat cepat, baik akibat pertumbuhan maupun urbanisasi. Peningkatan jumlah penduduk selalu diikuti dengan peningkatan infrastruktur perkotaan, seperti perumahan, sarana transportasi, air bersih, pendidikan, dan lain-lain. Sektor perumahan dan penyediaan lahan untuk tempat usaha merupakan kebutuhan yang berdampak besar terhadap sistem pengaliran di perkotaan. Rasio lahan terbangun dan lahan terbuka di perkotaan akan berdampak besar terhadap penyerapan air permukaan. Peningkatan penduduk juga selalu diikuti peningkatan limbah, baik limbah cair maupun padat.

2.8.1 Peningkatan Debit

Permasalahan yang sering ditemui di perkotaan terkait dengan masalah drainase adalah debit air yang semakin meningkat dari tahun ke tahun, sementara jumlah drainase cenderung tetap setiap tahunnya. Jumlah aliran permukaan dan debit puncak banjir akan sangat tergantung oleh tata guna lahan yang dilalui oleh air hujan dari hulu ke hilir. Besar-kecilnya aliran permukaan sangat ditentukan oleh pola penggunaan lahan, yang diekspresikan dalam koefisien pengaliran (C). Koefisien pengaliran bervariasi antara 0,10 (hutan datar) sampai 0,95 (perkerasan jalan). Konversi kawasan hutan dan vegetasi di Semarang bagian atas menjadi pemukiman akan secara signifikan meningkatkan laju dan volume aliran air. Kapasitas drainase yang buruk akan semakin diperparah dengan pengelolaan drainase dan persampahan yang buruk. Sedimentasi dan tumpukan sampah di bagian hilir turut berkontribusi pada meluapnya saluran di musim hujan.

2.8.2 Banjir pasang surut

Banjir pasang surut atau yang lebih dikenal dengan istilah rob merupakan permasalahan yang sering terjadi pada daerah yang memiliki pantai yang landai dan elevasi permukaan tanah yang tidak jauh lebih tinggi dari pasang laut tertinggi. Di daerah pesisir, banjir dapat terjadi karena 3 (tiga) hal, yaitu:

1. Banjir yang terjadi karena meluapnya air sungai
2. Banjir lokal akibat hujan
3. Banjir yang disebabkan oleh pasang surut air laut

Banjir yang terjadi karena meluapnya air sungai merupakan banjir yang disebabkan kapasitas sungai yang tidak mampu lagi menampung debit air yang ada atau dengan kata lain kapasitas tampung sungai terlampaui. Adapun banjir lokal merupakan banjir yang lebih diakibatkan oleh ketidakmampuan tanah untuk menyerap air dan buruknya sistem drainase buatan untuk mengalirkan air ke tempat yang dikehendaki.

Banjir pasang-surut adalah banjir yang terjadi karena naiknya air laut dan menggenangi daratan ketika air laut mengalami pasang. Pasang-surut air laut adalah faktor utama yang menyebabkan banjir ini. Namun demikian, untuk kondisi atau tempat tertentu, yaitu di daerah terbangun, banjir pasang surut ini terjadi menyusul penurunan muka tanah yang terjadi di tempat tersebut.

Banjir pasang-surut terjadi karena air laut naik ketika pasang. Kenaikan air laut terjadi perlahan-lahan sesuai dengan gerak pasang air laut. Ketinggian air banjir sesuai dengan ketinggian air laut pasang. Selanjutnya genangan banjir ini bergerak turun ketika air laut surut. Selain itu, waktu kedatangan dan ketinggian

banjir ini berubah-ubah mengikuti irama pasang-surut air laut. Demikian pula dengan luas daerah genangan atau daerah-daerah yang akan tergenang pada suatu waktu tertentu dapat diprediksi berdasarkan prediksi ketinggian air laut pasang.

Lama genangan banjir pasang-surut hanya beberapa jam sesuai dengan waktu gerak pasang-surut air laut. Selanjutnya, kejadian banjir pasang-surut akan terus berulang sebagaimana berulangnya peristiwa pasang-surut air laut sepanjang waktu.

Area genangan banjir pasang-surut adalah daerah-daerah rawa pantai atau dataran rendah tepi pantai. Luas daerah yang tergenang oleh banjir pasang-surut ini ditentukan oleh ketinggian air laut pada saat pasang dan akan bertambah luas bila daerah di sekitar daerah genangan tersebut terjadi penurunan muka tanah. Selain itu perlu juga ketahui bahwa karena beban bangunan fisik, daerah-daerah dekat pantai yang semula bukan daerah banjir dapat berubah menjadi daerah banjir karena penurunan muka tanah.

Untuk daerah-daerah yang telah terlanjur menjadi daerah genangan banjir pasang-surut tidak ada tindakan yang dapat membebaskan daerah tersebut secara permanen dari banjir itu. Upaya pembuatan tanggul di sepanjang pantai atau meninggikan daerah genangan dengan cara menimbun hanya membebaskan daerah genangan banjir untuk sementara, karena penurunan muka tanah akan terus berlangsung.

Menghadapi karakter persoalan yang demikian, upaya yang perlu dilakukan untuk menghindar dari bahaya banjir pasang surut ini adalah dengan memetakan daerah-daerah pesisir yang rentan terhadap ancaman banjir dan

penurunan muka tanah. Dengan adanya peta daerah ancaman bahaya tersebut diharapkan penduduk atau pengambil keputusan dapat menghindari untuk melakukan pengembangan atau pembangunan fisik di daerah rawan itu. Prinsipnya, upaya mitigasi dilakukan untuk mencegah penduduk atau pemerintah melakukan pembangunan fisik di daerah berpotensi penurunan muka tanah. Bagi daerah terbangun yang mengalami banjir pasang-surut dan penurunan muka tanah, hanya tersedia dua alternatif pilihan yaitu meninggalkan daerah bencana itu atau menanggung biaya perawatan bangunan selamanya.

2.8.3 Kenaikan Muka Laut (*Sea level Rise*)

Permukaan laut rata-rata ditentukan melalui pengamatan terus menerus terhadap kedudukan permukaan laut setiap jam, hari, bulan dan tahun. Macam kedudukan muka air laut rata-rata disesuaikan dengan lamanya pengamatan yang dipakai untuk menghitung kedudukan seperti muka air laut rata-rata harian, bulanan dan tahunan. Penyebab kenaikan muka laut (*Sea level Rise*) antara lain disebabkan oleh perubahan iklim dan *land subsidence*. Perubahan iklim yang dimaksud disini adalah pemanasan glonal (*global warming*). Pemanasan global berpengaruh terhadap cyclone, perubahan suhu udara, dan kenaikan muka laut tentunya (Nicholls dan Klein,1999).

2.8.4 Penurunan Muka Tanah

Penurunan tanah (*Land subsidence*) adalah suatu fenomena alam yang banyak terjadi di kota-kota besar yang berdiri di atas lapisan sedimen, seperti

Jakarta, Semarang, Bangkok, Shanghai, dan Tokyo. Penurunan muka tanah terjadi perlahan-lahan dan sering tidak dirasakan secara langsung. Terjadinya penurunan muka tanah baru disadari setelah terlihat tanda-tanda perubahan fisik pada bangunan yang dibangun di atas lahan yang mengalami penurunan muka tanah itu. Penurunan muka tanah yang terjadi karena beban fisik akan berlangsung terus tanpa batas waktu tertentu selama beban fisik masih berada di atasnya. Penanggulangan penurunan muka tanah dapat direalisasikan melalui pemantauan yang bertujuan menentukan parameter penurunan muka tanah yang terkait dengan waktu, yaitu kecepatan dan percepatan penurunan muka tanah.

Penurunan tanah di suatu wilayah bisa dipelajari dengan beberapa metode, misalnya metode hidrogeologis, pengamatan level muka air tanah dan pengamatan dengan ekstensometer dan piezometer, maupun metode geodetik seperti survei sipat datar (*leveling*), survei Global Positioning Systems (GPS) dan *Interferometric Synthetic Aperture Radar* (Insar). Karena laju penurunan tanah umumnya relatif lambat, pemantauan subsidensi lebih efisien dilakukan episodik atau periodik.

Karena data dan informasi tentang penurunan muka tanah akan sangat bermanfaat bagi aspek- aspek pembangunan seperti untuk perencanaan tata ruang (di atas maupun di bawah permukaan tanah), perencanaan pembangunan sarana/prasarana, pelestarian lingkungan, pengendalian dan pengambilan air tanah, pengendalian intrusi air laut serta perlindungan masyarakat (linmas) dari dampak penurunan tanah (seperti terjadinya banjir) maka sudah sewajarnya bahwa

informasi tentang karakteristik penurunan tanah ini perlu diketahui dengan sebaik-baiknya dengan pemantauan secara berkesinambungan.

2.8.5 Pemanfaatan Teknologi Permanent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar (PS-InSAR) dalam Studi Penurunan Muka Tanah

Berdasarkan penelitian penurunan muka tanah sebelumnya, dapat diambil kesimpulan terkait faktor-faktor penyebab terjadinya penurunan muka tanah (Prasetyo, 2009), antara lain:

1. Pengambilan air tanah yang berlebihan
2. Penurunan karena beban bangunan
3. Konsolidasi alamiah lapisan tanah
4. Gaya-gaya tektonik
5. Ekstraksi gas dan minyak bumi
6. Penambangan bawah tanah
7. Ekstraksi lumpur
8. Patahan kerak bumi
9. Kontraksi panas bumi di lapisan litosfer

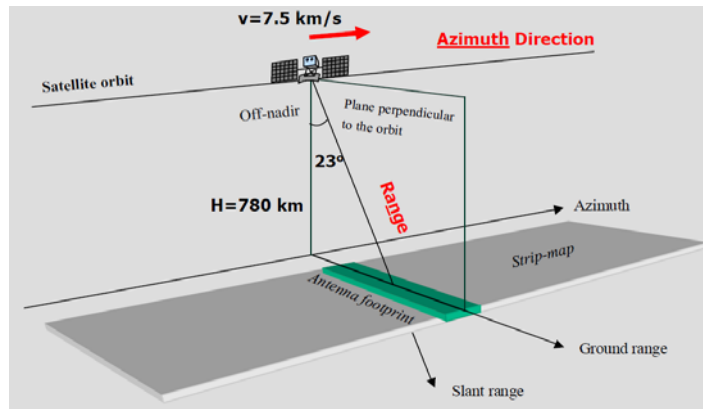
Kompleksitas penyebab penurunan muka tanah membutuhkan teknik pemetaan spasial dan temporal yang mampu mengamati penurunan muka tanah secara kontinu.

Studi karakteristik penurunan muka tanah diperlukan dalam penentuan pola dan laju penurunan muka tanah. Teknologi penginderaan jauh memiliki kemampuan untuk melakukan penilaian terhadap kawasan yang luas dengan waktu yang cepat. Terkait dengan tipikal negara Indonesia yang merupakan negara tropis, teknologi radar merupakan salah satu solusi pemetaan spasial yang tepat untuk studi penurunan muka tanah. Untuk meningkatkan kualitas penggunaan dan pemanfaatan citra radar, pemanfaatan teknologi radar juga dapat diintegrasikan dengan metode-metode pengamatan penurunan muka tanah lainnya, seperti: *Global Positioning System*, Sipat Datar maupun Gravimetri.

Adanya temporal dan geometrik dekorelasi dalam pengolahan SAR *interferometry* menyebabkan penurunan kualitas sebagai alat pengamatan deformasi permukaan dan rekonstruksi profil topografi. Berawal dari penerapan aplikasi InSAR dan D-InSAR maka dikembangkan konsep *Permanent Scatterer* (PS-InSAR) untuk meningkatkan akurasi pengukuran deformasi hingga mencapai milimeter per tahunnya.

Perkembangan PS-InSAR didahului dengan penggunaan InSAR (*Interferometric Synthetic Aperture Radar*) pada awal tahun 90-an untuk pengukuran deformasi pada permukaan bumi. PS-InSAR pertama kali dipatenkan oleh Alessandro Ferretti, Claudio Prati, Fabio Rocca dari Dipartimento di Elettronica e Informazione-Politecnico Milano, Italia untuk studi pengukuran deformasi sebagai pengembangan dari teknik DInSAR (*Differential InSAR*). DInSAR Penggunaan citra radar multitemporal akan mengakibatkan masalah *temporal decorrelation* dan *atmospheric dishomogeneities* yang mempengaruhi

kualitas hasil interferogram. Untuk mengatasi masalah tersebut, maka dikembangkanlah teknik *Permanent Scatterer* yang dapat mengeliminasi efek tersebut dan meningkatkan akurasi DEM hingga fraksi dibawah sub-meter, bahkan hingga akurasi hingga milimeter per tahun dalam pengamatan deformasi.



Gambar 2. Deskripsi Geometri Sistem SAR dari Satelit

(Sumber: Prasetyo, 2009)

Penggunaan data ERS 1/2 dengan teknik APS (*Atmospheric Phase Screen*) akan menghasilkan DEM dengan nilai residu kuadrat kesalahan pengukuran sebesar 1.1 mm dengan nilai penurunan muka tanah 2.8 cm/tahun. Diperlukan lebih dari 20 PS/km² untuk kawasan pemukiman serta ketersediaan 61 citra ERS 1/2 didalam pengolahannya. Untuk meminimalkan ketidakakuratan dalam metode PS-InSAR digunakan teknik buffer sejauh 5 meter pada setiap batas bangunan untuk kemudian dilakukan tahapan *overlay* titik spasial pada setiap poligon. Untuk validasi data digunakan data tinggi dari foto udara dan peta planimetrik dimana terlebih dahulu dilakukan konversi koordinat SAR kedalam sistem koordinat WGS 1984.

PS-InSAR selain meminimalkan pengaruh *temporal decorrelation*, *geometric decorrelation* dan *atmospheric inhomogeneities*. Juga menerapkan pemantauan titik-titik artifisial dari penampakan alami, obyek buatan manusia dan buatan pabrik (reflektor) sebagai *Permanent Scatterers (Natural GPS Network)* untuk meningkatkan akurasi hasil pengukuran teknik PS-InSAR. Kelebihan dan kekurangan teknik PS-InSAR dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Kelebihan dan Kekurangan Metode PS-InSAR

(Sumber : Ferretti et al., 2005 dalam Prasetyo, 2009)

No.	Kelebihan PS-InSAR	Kekurangan PS-InSAR
1.	Menghasilkan pola pergeseran dan tendensi arah perubahan sepanjang waktu.	Kesulitan dalam menetapkan distribusi PS di daerah penelitian tanpa adanya pemrosesan data yang signifikan.
2.	Pengukuran dalam milimeter khususnya pada dimensi vertikal yang lebih akurat. Untuk hasil pengukuran dan pengamatan terhadap penurunan muka tanah berdasarkan hasil penelitian terdahulu diperoleh hasil hingga orde milimeter dan estimasi laju hingga orde submilimeter, seperti pada penelitian Ferretti A. et al., 2001 yang meneliti daerah Ancona Italia memperoleh hasil besaran penurunan muka tanah bervariasi antara 3 hingga 28 milimeter per tahunnya serta estimasi laju penurunannya sekitar $5 \text{ cm} \pm 4 \text{ mm}$ per tahunnya.	Inteferogram hanya dapat dihasilkan dari data SAR yang diperoleh menggunakan tipikal satelit yang sama.
3.	Menyajikan densitas spasial dari pengukuran titik yang tidak mungkin diperoleh pada teknik konvensional.	Jika informasi priori dari pergerakan tanah tidak tersedia maka proses phase unwrapping (<i>phase aliasing</i>) akan membatasi pergeseran maksimal antara dua akuisisi data kurang dari 14 mm.
4.	Kemampuan untuk memonitor pergerakan dalam satu set data penuh untuk seluruh waktu secara kontinu.	

Untuk mencapai hasil optimal dalam metode PS-InSAR masih membutuhkan akuisisi data SAR yang cukup besar seperti pada penelitian terdahulu, sebagai contoh: 34 pasang citra SAR (Ferretti et al., 1999), 60 pasang citra SAR (Ferretti et al., 2001), 37 pasang citra SAR (Lyons and Sandwell, 2002), 17 pasang citra SAR (Worawattanamateekul et al., 2003) dan 26 pasang citra SAR (Qu et al., 2009). Walaupun begitu metode PS-InSAR ini masih terus berkembang baik dari segi metode, teknik dan aplikasi hingga saat ini.

2.9 Sistem Informasi Geografis (SIG)

SIG merupakan suatu sistem (berbasis komputer) yang digunakan untuk menyimpan dan membuat informasi - informasi geografis. SIG dirancang untuk mengumpulkan, menyimpan, dan menganalisis objek-objek dan fenomena-fenomena dimana lokasi geografis merupakan karakteristik yang penting atau kritis untuk dianalisis. Dengan demikian, SIG merupakan sistem komputer yang memiliki empat kemampuan dalam menangani data yang berefrensi geografis yaitu :

1. Masukan (*input*) data
2. Keluaran (*output*) data
3. Manajemen data (penyimpanan dan pemanggilan data)
4. Analisis dan membuat data (Aronoff, 1989)

SIG terdiri atas empat komponen dasar yaitu data, perangkat lunak (*software*), perangkat keras (*hardware*), dan sumberdaya manusia atau pengguna SIG. Perangkat lunak merupakan komponen untuk mengintegrasikan berbagai

macam data masukan yang akan di proses dalam SIG. Perangkat keras berupa komputer, yang dilengkapi dengan peralatan digitasi, scanner, plotter, monitor, dan printer. Sumberdaya manusia merupakan pengguna sistem dan yang mengoperasikan *software* maupun *hardware*, serta data yang digunakan untuk diolah maupun di analisis sesuai kebutuhan. *Software* SIG biasanya mempunyai modul dasar yaitu, (1) masukan (*input*) data, (2) penyimpanan data, (3) keluaran (*output*) data, (4) transformasi data, (5) interaksi dengan pengguna (*input query*).

2.10 Digital Elevation Model (DEM)

DEM adalah data digital yang menggambarkan geometri dari bentuk permukaan bumi atau bagiannya yang terdiri dari himpunan titik-titik koordinat hasil sampling dari permukaan dengan algoritma yang mendefinisikan permukaan tersebut menggunakan himpunan koordinat. DEM merupakan salah satu model untuk menggambarkan bentuk topografi permukaan bumi sehingga dapat divisualisasikan kedalam tampilan 3D.

Susunan nilai-nilai digital mewakili distribusi spasial dari karakteristik medan. Distribusi spasial itu sendiri dinyatakan dalam sistem koordinat horisontal X dan Y, sedangkan ketinggian medan dinyatakan dalam Z. Gambaran model relief rupabumi tiga dimensi yang menyerupai keadaan sebenarnya di dunia nyata dapat divisualisaikan dengan bantuan teknologi komputer grafis atau teknologi *virtual reality*. Sumber data DEM dapat diperoleh dari Foto udara stereo, Citra satelit stereo, data pengukuran lapangan GPS dan Total Station, Echosounder, Peta topografi, maupun dari citra RADAR.

2.11 *Stream line analysis*

Stream line analysis adalah suatu proses penentuan aliran air permukaan berdasarkan kecenderungan arah aliran dalam perangkat lunak Sistem Informasi Geografis. Definisi tersebut tentu saja berbeda dengan definisi klasik *stream line* sebagai aliran sungai eksisting yang ada di lapangan. Dalam SIG, garis aliran air yang didelineasi oleh software pada beberapa tempat akan berbeda dengan aliran air alamiah yang berupa sungai atau saluran. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa hal, antara lain:

- Rendahnya ketelitian elevasi atau DEM yang digunakan untuk membentuk *stream line*
- Aliran sungai faktual tidak lagi berada dalam kondisi *stream line* ideal. Hal ini seringkali terjadi di daerah perkotaan dimana sungai-sungai sudah dilengkapi dengan *lining*/perkuatan tebing, sehingga tidak lagi memungkinkan terjadi perubahan aliran sungai secara alamiah.

2.12 Kegiatan Penataan Ruang Berdasarkan UU Nomor 26 Tahun 2007

Kegiatan penataan ruang dapat diklasifikasikan berdasarkan sistem, fungsi utama kawasan, wilayah administratif, kegiatan kawasan, dan nilai strategis kawasan [Bappeda Semarang dan Lemlit Undip, 2009], sebagai berikut:

- a. Penataan ruang berdasarkan sistem terdiri atas sistem wilayah dan sistem internal perkotaan;

- b. Penataan ruang berdasarkan wilayah administratif terdiri atas penataan ruang wilayah nasional, penataan ruang wilayah provinsi, dan penataan ruang wilayah kabupaten/kota.
- c. Penataan ruang berdasarkan fungsi utama kawasan terdiri atas kawasan lindung dan kawasan budidaya;
- d. Penataan ruang berdasarkan kegiatan kawasan terdiri atas penataan ruang kawasan perkotaan dan penataan ruang kawasan perdesaan;
- e. Penataan ruang berdasarkan nilai strategis kawasan terdiri atas penataan ruang kawasan strategis nasional, penataan ruang kawasan strategis provinsi, dan penataan ruang kawasan strategis kabupaten/kota.

Secara umum, substansi dalam kegiatan penataan ruang meliputi hal-hal berikut [*Bappeda Semarang dan Lemlit Undip, 2009*], yaitu:

1. Rencana Tata Ruang Wilayah Nasional, rencana tata ruang wilayah provinsi, dan rencana tata ruang wilayah kabupaten/ kota mencakup ruang darat, ruang laut, dan ruang udara, termasuk ruang di dalam bumi.
2. Kegiatan perencanaan tata ruang dilakukan untuk menghasilkan produk sebagai berikut:
 - a. Rencana Umum Tata Ruang disusun berdasarkan pendekatan wilayah administratif dengan muatan substansi mencakup rencana struktur ruang dan rencana pola ruang. Secara hierarki rencana umum tata ruang terdiri dari:
 - Rencana Tata Ruang Wilayah Nasional;
 - Rencana Tata Ruang Wilayah Provinsi;

- Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten dan Rencana Tata Ruang Wilayah Kota.
- b. Rencana Rinci Tata Ruang disusun berdasarkan pendekatan nilai strategis kawasan dan/atau kegiatan kawasan dengan muatan substansi yang dapat mencakup hingga penetapan blok dan subblok peruntukan. Penyusunan rencana rinci tersebut dimaksudkan sebagai operasionalisasi rencana umum tata ruang dan sebagai dasar penetapan peraturan zonasi. Adapun secara berhierarki rencana rinci tata ruang terdiri atas:
- Rencana tata ruang pulau/kepulauan dan rencana tata ruang kawasan strategis nasional;
 - Rencana tata ruang kawasan strategis provinsi;
 - Rencana detail tata ruang kabupaten/kota dan rencana tata ruang kawasan strategis kabupaten/kota.
3. Muatan yang terkandung dalam rencana tata ruang antara lain mencakup:
- a. Rencana struktur ruang yang meliputi rencana sistem pusat permukiman dan rencana sistem jaringan prasarana.
 - b. Rencana pola ruang yang meliputi peruntukan kawasan lindung dan kawasan budi daya peruntukan ruang untuk kegiatan pelestarian lingkungan, sosial, budaya, ekonomi, pertahanan, dan keamanan.
 - c. Alokasi kawasan hutan paling sedikit 30 % (tiga puluh) persen dari luas daerah aliran sungai dalam Rencana Tata Ruang Wilayah.
 - d. Penyusunan rencana tata ruang harus memperhatikan keterkaitan antarwilayah, antarfungsi kawasan, dan antarkegiatan kawasan.

BAB III

PELAKSANAAN PENELITIAN

Penelitian sebaran potensi rob Kota Semarang dilaksanakan dari bulan Oktober 2009 sampai dengan Januari 2010. Untuk membantu proses analisis, maka penelitian ini didukung oleh perangkat lunak pemetaan, antara lain: Autocad Map 2004, ER Mapper 6.4 dan Arc GIS 9.2. Penelitian ini dimulai dengan pencarian data awal dan survey untuk mengetahui kondisi eksisting yang ada di Semarang. Gambaran umum tentang kondisi geografi, kondisi fisik, dan kondisi non-fisik sangat penting untuk memahami skenario penelitian, terutama dalam hal penentuan lokasi penempatan bangunan-bangunan air penahan banjir ROB.

3.1 Gambaran umum Kota Semarang

Kota Semarang yang terletak di pantai utara Jawa Tengah berada dalam wilayah $6^{\circ} 5' - 7^{\circ} 10'$ Lintang Selatan dan $110^{\circ} 35'$ Bujur Timur dengan luas wilayah mencapai 37.366 Ha atau $373,7 \text{ Km}^2$. Kota Semarang berada pada posisi yang sangat strategis bagi Jawa Tengah, karena kota tersebut menjadi simpul empat pintu gerbang, yakni koridor pantai Utara, koridor Selatan ke arah kota-kota dinamis seperti Kabupaten Magelang, Surakarta, koridor Timur ke arah Kabupaten Demak atau Kabupaten Grobogan dan ke arah barat menuju Kabupaten Kendal.

Secara administratif, Kota Semarang di sebelah utara berbatasan dengan Laut Jawa, di sebelah timur berbatasan dengan wilayah Kabupaten Demak, di

sebelah selatan berbatasan dengan wilayah Kabupaten Semarang dan di sebelah barat dengan wilayah Kabupaten Kendal.

3.1.1 Topografi

Kota Semarang di bagian Utara merupakan pantai dan dataran rendah yang memiliki kemiringan 0-2% sedang ketinggian bervariasi antara 0 hingga 25 m, sementara di bagian Selatan Kota Semarang bagian selatan merupakan daerah perbukitan dengan kemiringan 2-40% dan ketinggian antara 25 hingga 400 m di atas permukaan air laut. Pemanfaatan Kota Semarang bagian atas harus lebih difungsikan sebagai daerah konservasi untuk melindungi Kota Semarang bagian bawah dari kemungkinan banjir kiriman.

Semarang bagian atas yang memiliki kemiringan lebih dari 40 % tidak diperkenankan untuk kegiatan budidaya. Adapun untuk lahan dengan kemiringan antara 25 hingga 40% dapat digunakan untuk budidaya namun dengan penggunaan yang terbatas, sedangkan lahan dengan kemiringan <25% seperti di Semarang bagian bawah merupakan lahan yang diperbolehkan untuk berbagai penggunaan.

3.1.2 Hidrologi

Banjir merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari kehidupan masyarakat Kota Semarang bagian bawah. Secara kasat mata, permasalahan dalam hidrologi Kota Semarang adalah dimensi saluran dan sungai di kota bagian bawah tidak sebanding dengan volume air. Semakin luasnya daerah terbangun di

Semarang bagian atas akan mempengaruhi kecepatan aliran air (*run off*) di waktu hujan. Kesesuaian debit dengan dimensi saluran berpengaruh terhadap luasnya daerah genangan di Kota Semarang bagian bawah. Adanya sungai yang mengalami penyempitan dan sedimentasi serta kurangnya drainase dibandingkan dengan lahan terbangun merupakan faktor penyebab terjadinya banjir ataupun genangan di Kota Semarang bagian bawah di musim penghujan.

Penanganan drainase Kota Semarang, terbagi atas dua karakteristik wilayah yaitu penanganan daerah atas dan penanganan daerah bawah. Penanganan daerah atas terbagi ke dalam beberapa pelayanan DAS, yaitu DAS Babon, DAS Banjir Kanal Timur, DAS Banjir Kanal Barat, DAS Silandak/Siangker, DAS Bringin, DAS Plumbon. Sementara bagian bawah terbagi ke dalam empat sistem drainase, Sistem Drainase Semarang Timur, Sistem Drainase Semarang Tengah, sistem Drainase Semarang Barat, dan Sistem Drainase Semarang Tugu.

Permasalahan drainase yang dihadapi di Kota Semarang adalah adanya banjir kiriman yang terjadi di wilayah Hulu Gunung Ungaran, banjir lokal dan terjadinya rob di kawasan sekitar pantai. Pembukaan lahan didaerah hulu mengakibatkan meningkatnya debit limpasan melebihi kapasitas saluran, erosi yang tinggi menyebabkan pendangkalan saluran dan sungai, serta penurunan tanah menjadi penyebab terjadinya rob.

3.1.3 Struktur Geologi

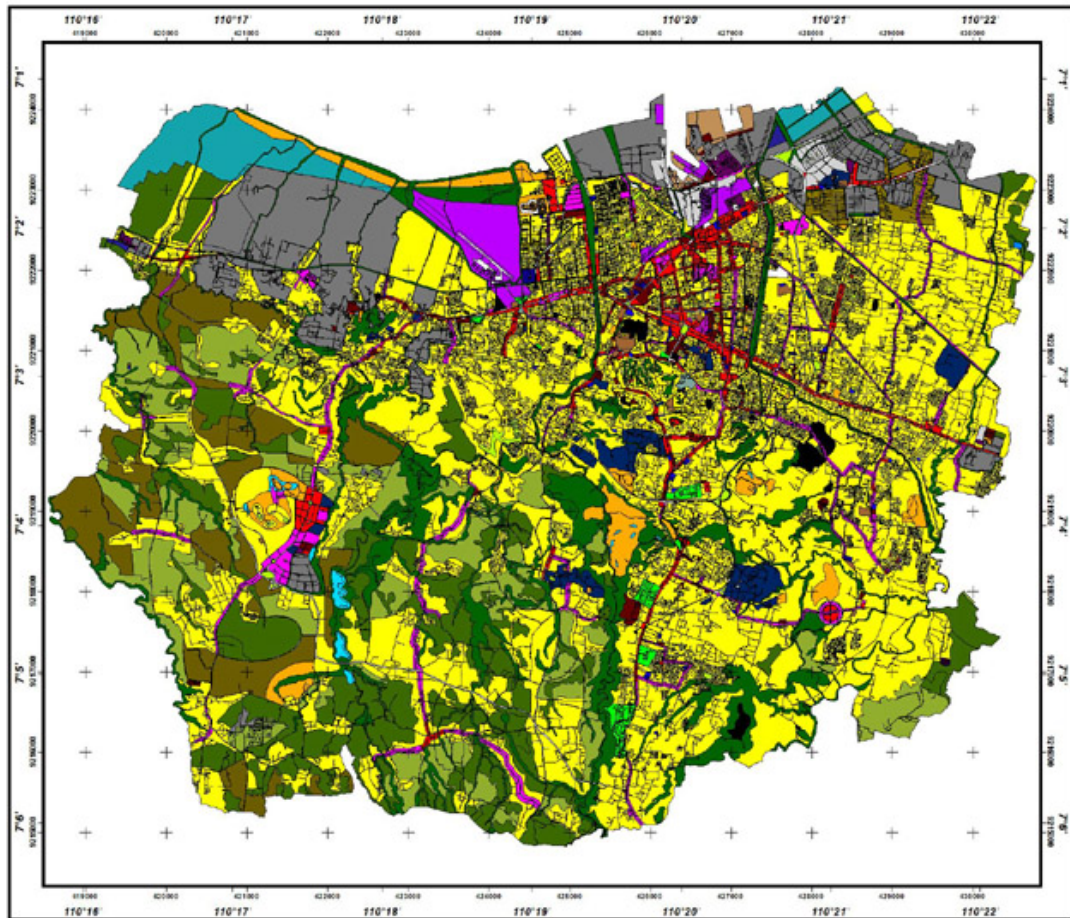
Struktur geologi di daerah Semarang terdiri atas tiga bagian [*Bappeda Semarang dan Lemlit Undip, 2009*], yaitu: struktur joint (kekar), patahan (*fault*),

dan lipatan. Daerah patahan tanah bersifat erosif dan mempunyai porositas tinggi, struktur lapisan batuan yang diskontinyu, heterogen, sehingga mudah bergerak atau longsor. Daerah sekitar aliran sungai Kaligarang merupakan patahan Kaligarang yang membujur ke arah utara sampai selatan disepanjang Kali Garang yang berbatasan dengan Bukit Gombel. Patahan ini bermula dari Ondorante ke arah utara hingga Bendan Duwur. Patahan ini merupakan patahan geser yang memotong formasi Notopuro dan ditandai dengan adanya zona sesar, tebing terjal di Ondorante, dan pelurusan Kaligarang serta beberapa mata air di Bendan Duwur. Daerah patahan lainnya adalah Meteseh, perumahan Bukit Kencana Jaya dengan arah patahan melintas dari utara ke selatan. Sedangkan pada wilayah Kota Semarang yang berupa dataran rendah memiliki jenis tanah berupa struktur pelapukan, endapan, dan lanau yang dalam.





3.1.4 Pola pemanfaatan lahan

Pemanfaatan lahan berdasarkan data *Kota Semarang Dalam Angka*, pemanfaatan lahan di Kota Semarang di tahun 2007 terdiri dari:

- Sebaran Perumahan sebesar 33,70 %,
- Tegalan sebesar 15,77 %,
- Kebun campuran sebesar 13,47 %,
- Sawah sebesar 12,96 %,
- Penggunaan lainnya yang meliputi: Jalan, sungai dan tanah kosong sebesar 8,25 %, Tambak sebesar 6,96 %, Hutan sebesar 3,69 %, Perusahaan 2,42 %, Jasa sebesar 1,52 % , Industri sebesar 1,26 %.



Keterangan :

- | | | | |
|---|---|---|--------------------------|
|  | : Campuran perdagangan-jasa, Permukiman |  | : Industri |
|  | : Konservasi |  | : Pemakaman |
|  | : Masjid |  | : Terminal |
|  | : Olah Raga Dan Rekreasi |  | : Hutan |
|  | : Perdagangan Dan Jasa |  | : Pertanian Lahan Basah |
|  | : Pasar |  | : Pertanian Lahan Kering |
|  | : Perkantoran |  | : Taman |
|  | : Permukiman |  | : Waduk |
|  | : Perguruan Tinggi | | |

Gambar 3.1 RTRW Kota Semarang Tahun 2000-2010

(Sumber: Bappeda Kota Semarang, 2000)

Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Semarang Tahun 2000 - 2010, telah menetapkan kawasan yang berfungsi lindung dan kawasan yang berfungsi budidaya. Kawasan Lindung, meliputi kawasan yang melindungi kawasan di bawahnya, kawasan lindung setempat dan kawasan rawan bencana. Kawasan lindung setempat adalah kawasan sempadan pantai, sempadan sungai, sempadan waduk, dan sempadan mata air. Kawasan lindung rawan bencana merupakan kawasan yang mempunyai kerentanan bencana longsor dan gerakan tanah.

Prioritas pengembangan wilayah Kota Semarang terbagi dalam empat wilayah pengembangan dan masing-masing dibagi dalam beberapa bagian wilayah kota, dan masing-masing bagian wilayah kota mempunyai skala prioritas pengembangan. Prioritas pengembangan itu meliputi: perdagangan, perkantoran, jasa, pendidikan, olahraga, transportasi, industri, pemukiman, pertanian, dan pengembangan Kota Baru di wilayah Kecamatan Mijen.

3.2 Aplikasi Sistem Informasi Geografik untuk identifikasi banjir rob

Kajian sebaran banjir pasang surut Kota Semarang membutuhkan dukungan perangkat lunak yang memadai. ArcGIS 9.2 yang dilengkapi dengan ekstensi 3D analyst dan Spatial Analyst memungkinkan untuk melakukan berbagai operasi spasial, antara lain:

1. Perhitungan prediksi *land subsidence*.

Analisis ini menghasilkan peta prediksi permukaan tanah setelah Tahun 2000 berdasarkan data kecepatan penurunan muka tanah dari instansi terkait.

2. Perhitungan prediksi pasang tinggi tertinggi.

Analisis ini memberikan prediksi pasang tinggi tertinggi pada tahun yang telah ditentukan dengan menggunakan data yang telah ada. Pasang tinggi tertinggi ini yang nanti digunakan dalam formulasi model genangan rob.

3. Membuat DEM untuk mendelineasi genangan rob

DEM pada penelitian ini diperoleh dari titik tinggi dan data penurunan muka tanah. Model genangan diperoleh dengan mendelineasi ketinggian maksimum pasang air laut pada model permukaan Semarang.

4. Identifikasi inlet/outlet rob

5. Usulan alokasi ruang untuk menanggulangi banjir

Setelah model genangan diperoleh, maka tahap selanjutnya adalah mempelajari kesesuaian konsep penataan ruang dengan kondisi eksisting. Antisipasi bencana banjir harusnya sudah dimasukkan dalam peta RTRW yang diterbitkan setiap 20 tahun sekali. Analisis kesesuaian ini juga dilakukan dengan menggunakan bantuan operasi *overlay* atau tumpang-susun pada ArcGIS 9.2.

3.2.1 Akuisisi data

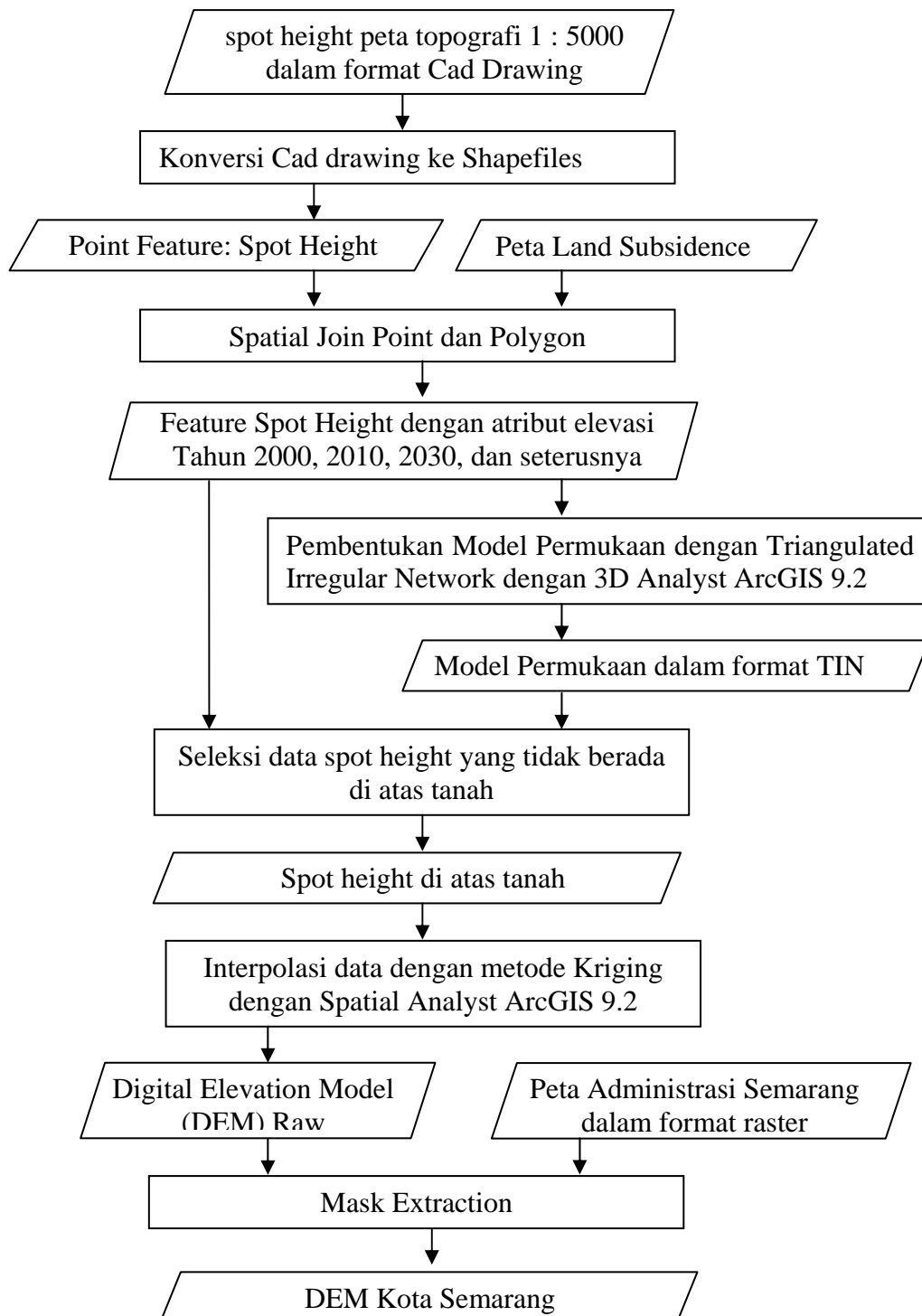
Bagian paling penting dalam pekerjaan Sistem Informasi Geografis adalah akuisisi data. Akuisisi data merupakan tahap pengumpulan data yang diperlukan yang dilanjutkan dengan proses konversi menjadi data digital yang dapat dibuka dan diolah pada software GIS. Kualitas data mentah akan mempengaruhi kualitas hasil analisis. Dalam SIG, data yang baik akan menghasilkan informasi yang akurat, begitu pula sebaliknya

Tabel 3.1 Tabel Data Spasial yang digunakan

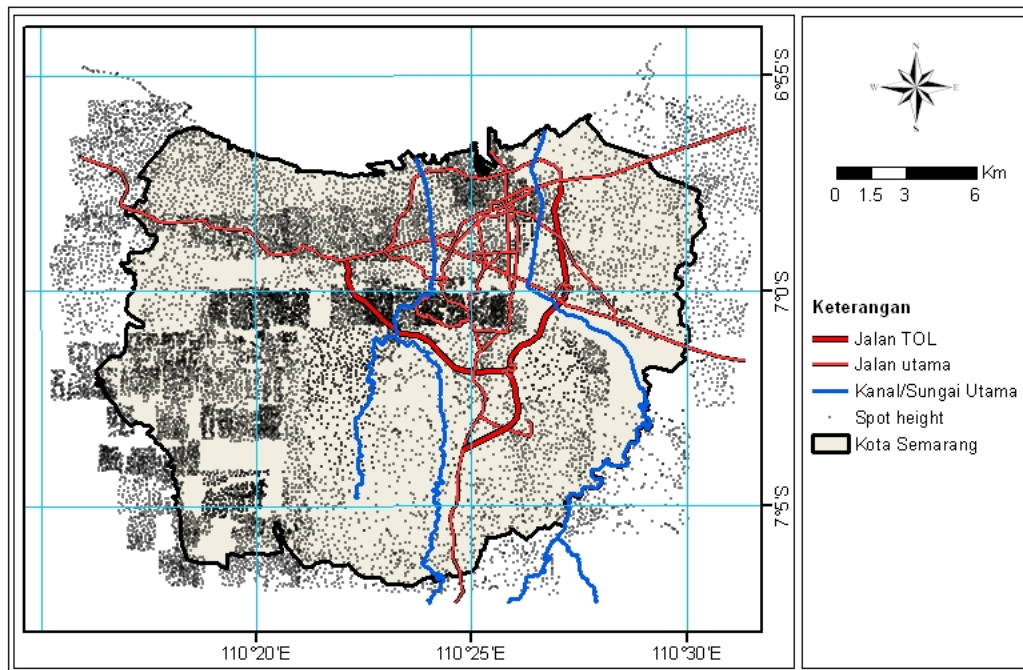
	Jenis Data	Sumber	Format data	Tindakan
1	Peta topografi skala 1 : 5.000	Dinas Pekerjaan Umum - Semarang	Cad Drawing	Konversi menjadi shapefiles
2	Citra QuickBird Tahun 2007	Badan Pertanahan Nasional – Jawa Tengah	TIFF	Mozaik dan transformasi system koordinat
3	Peta RTRW 2000 - 2010	Bappeda Jawa Tengah	BMP	Dijitasi dan konversi menjadi shapefiles
4	Peta penurunan muka tanah	Departemen ESDM	BMP	Dijitasi dan konversi menjadi shapefiles
5	Peta Sebaran Banjir	Badan Penanggulangan bencana	BMP	Dijitasi dan konversi menjadi shapefiles

3.2.2 Pembuatan model permukaan digital Kota Semarang

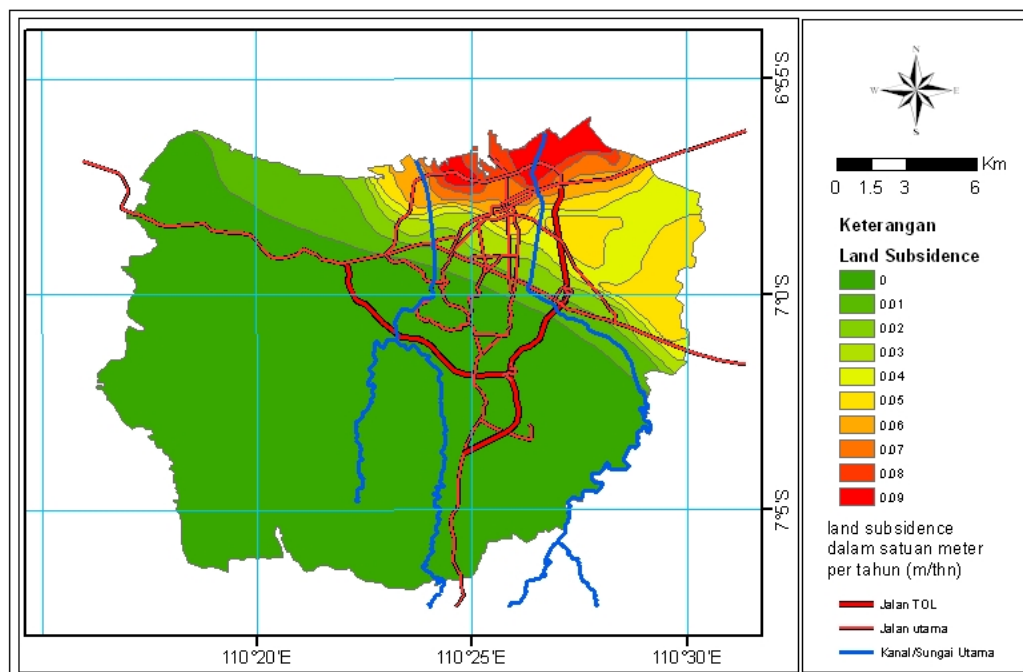
Setiap obyek dalam Peta topografi yang diperoleh dari hasil *stereoplotting* foto udara akan memiliki nilai ketinggian, termasuk diantaranya adalah *feature* garis kontur dan titik tinggi atau *spot height*. Untuk menghasilkan model permukaan digital yang teliti, maka *Digital Elevation Model* (DEM) Kota Semarang di-generate dari data *spot height* yang terdapat pada peta rupa bumi Semarang skala 1 : 5.000, seperti diskemakan oleh Gambar 3.2. Data ketinggian permukaan tanah yang digunakan dalam studi ini berjumlah 19.843 titik yang tersebar secara merata. Dengan luas wilayah studi tidak kurang dari 37.000 hektar, maka titik ketinggian atau spot height terdistribusi dengan kerapatan mendekati dua titik per 100 m², seperti ditunjukkan oleh Gambar 3.3.



Gambar 3.2 Diagram alir pembentukan DEM



Gambar 3.3 *Overview* sebaran titik ketinggian untuk pembuatan DEM



Gambar 3.4 *Overview* peta penurunan muka tanah Kota Semarang dari

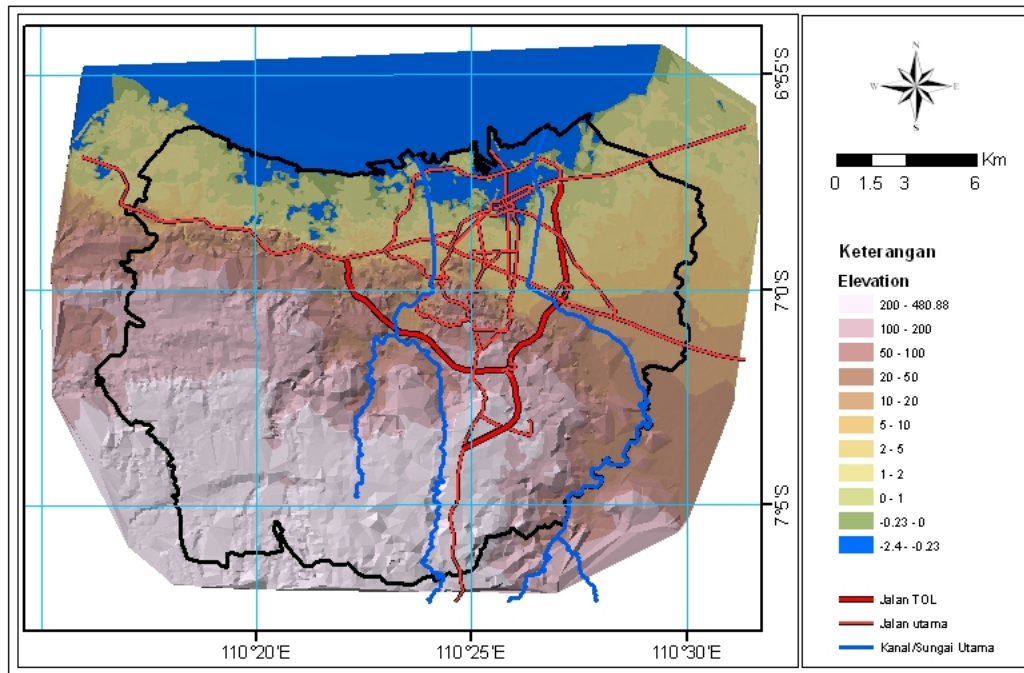
PS INSAR

Data ketinggian permukaan tanah pada Tahun 2010 atau pada tahun berapapun yang dikehendaki dapat diprediksi berdasarkan data ketinggian Tahun 2000 dan data penurunan muka tanah. Pada Gambar 3.5 ditampilkan cuplikan tabel hasil *Spatial join* antar peta sebaran *spot height* dan peta penurunan muka tanah Semarang.

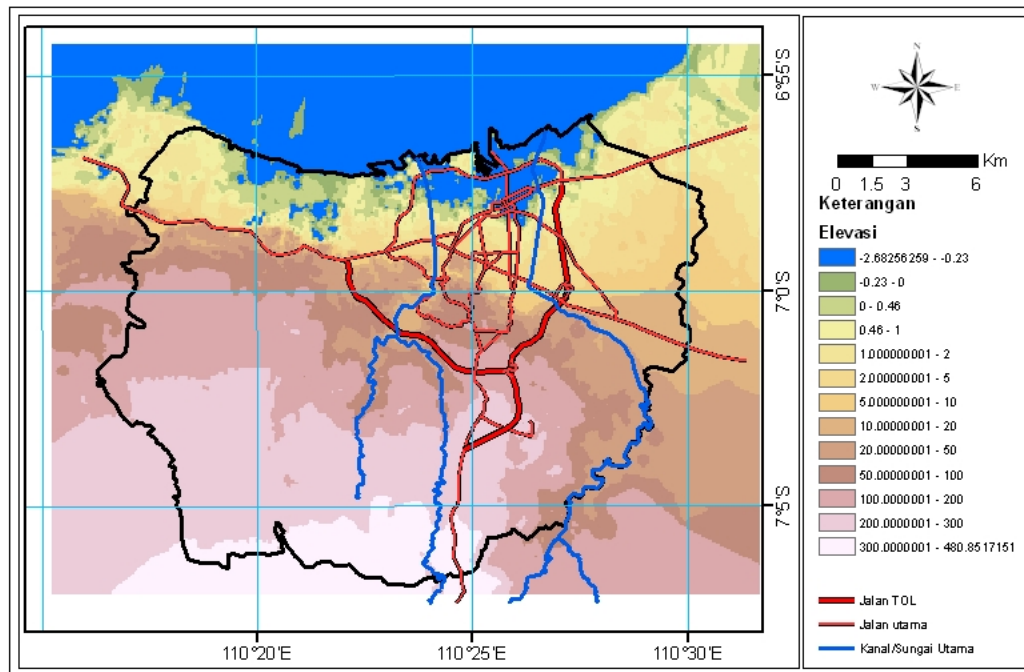
FID	Shape *	2000	2010	2030	SubsideGPS	SubsideSAR	SubsideWP
19864	Point ZM	-0.23	-1.03	-2.63	0.09	0.08	0
19865	Point ZM	-0.23	-1.03	-2.63	0.09	0.08	0
19866	Point ZM	-0.23	-1.03	-2.63	0.09	0.08	0

Gambar 3.5 Cuplikan atribut dari *spotheight*

Model permukaan digital dapat dibuat dalam format TIN (*Triangulated Irregular Network*) maupun dalam bentuk raster atau DEM. Meskipun proses pembuatannya lebih cepat, namun penggunaan TIN terbatas hanya untuk mencari *bull eye* atau titik-titik yang memiliki ketinggian yang menyimpang/ekstrim dari titik-titik di sekitarnya. *Bull eye* biasanya terjadi akibat operator *stereoplotting* yang mengambil data tinggi di atas bangunan rumah, *fly over*, pepohonan, dan lain-lain. Model permukaan dalam format TIN akan tergambar sebagai rangkaian segitiga yang menghubungkan titik-titik tinggi. Pembuatan TIN dengan menggunakan 3D Analyst pada Software ArcGIS 9.2 akan menghasilkan model permukaan seperti pada Gambar 3.6. Setelah seluruh data ketinggian diperiksa, maka langkah selanjutnya adalah membuat DEM dengan melakukan interpolasi raster dengan metode Kriging, seperti ditunjukkan oleh Gambar 3.7.

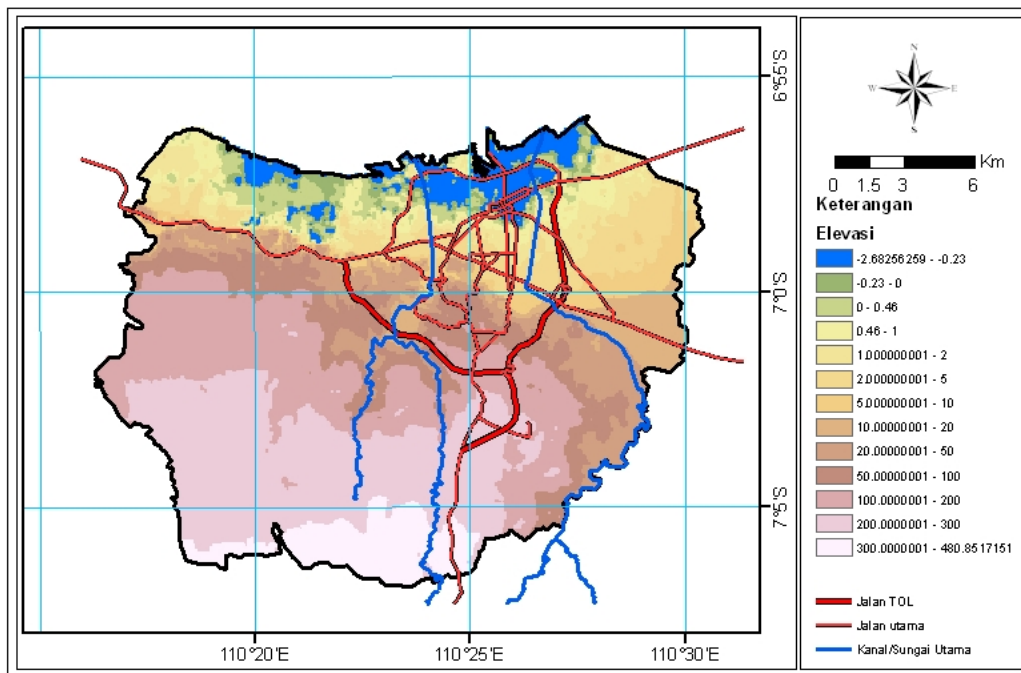


Gambar 3.6 Model permukaan dijital Kota Semarang dengan TIN



Gambar 3.7 Raw data DEM hasil interpolasi raster dengan metode Krigging

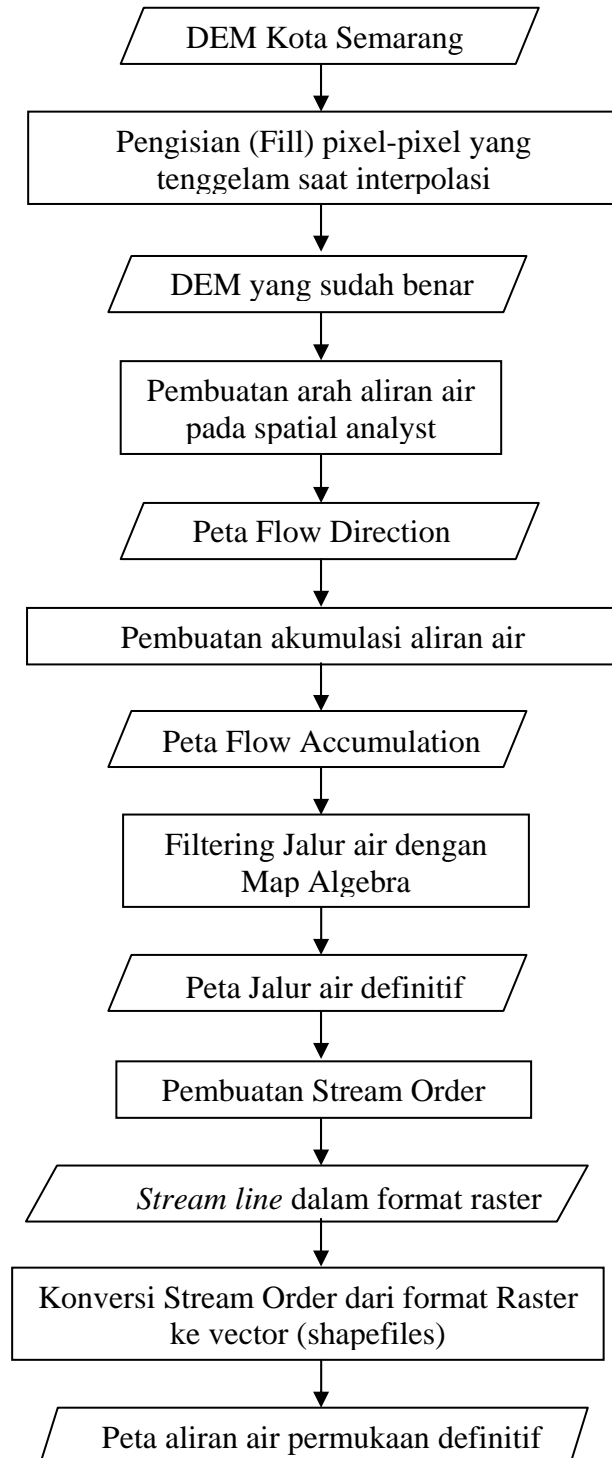
Interpolasi dilakukan terhadap 12 titik tinggi untuk setiap pixel datanya dengan ukuran 5 x 5 meter per pixelnya. Untuk memperoleh DEM menurut wilayah studi, maka model permukaan digital diekstraksi dengan peta batas administrasi Semarang yang telah dikonversi ke dalam format raster untuk memperoleh peta DEM seperti pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Peta DEM Semarang Tahun 2010 setelah di-crop

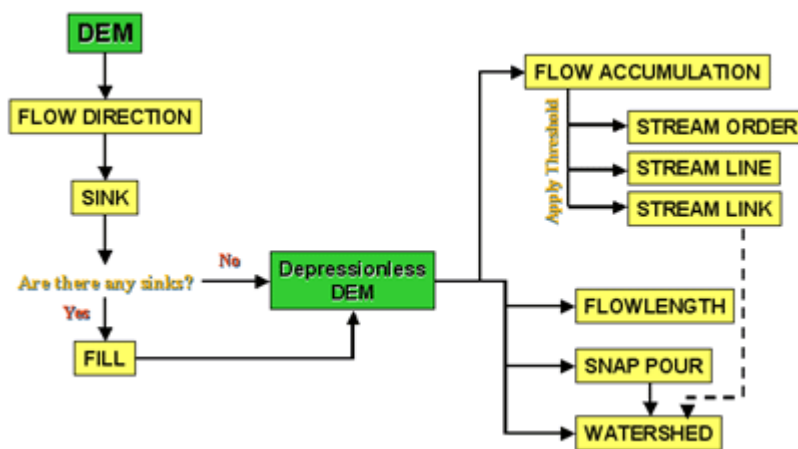
3.2.3 Identifikasi penjalaran rob

Fenomena rob di daratan dapat dipelajari dengan melihat jangkauan genangan banjir dan penjalaran masuknya air laut dari garis pantai hingga ke daratan. Jangkauan genangan rob dapat diidentifikasi dari permukaan digital yang telah dimodelkan, sedangkan penjalaran genangan dapat dianalisis dengan mendeteksi pintu keluar-masuknya air laut dan bagaimana perilaku aliran air di permukaan tanah.



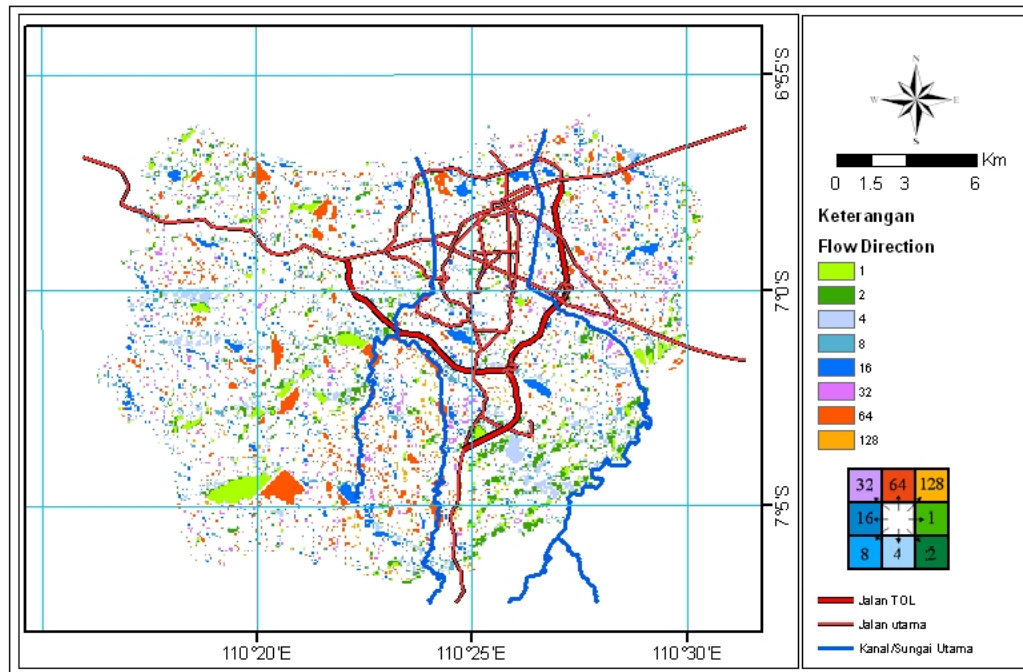
Gambar 3.9 Diagram alir pembuatan peta penjalaran rob

Teknik pembuatan peta penjalanan rob yang diterapkan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.9. Diagram alir tersebut sedikit berbeda dengan teknik standar yang dipublikasikan oleh pembuat software ArcGIS 9.2. Bila menggunakan prosedur pada Gambar 3.10, maka proses pembuatan *flow accumulation* tidak dapat dijalankan pada computer dengan kecepatan processor 1.60 GHz.



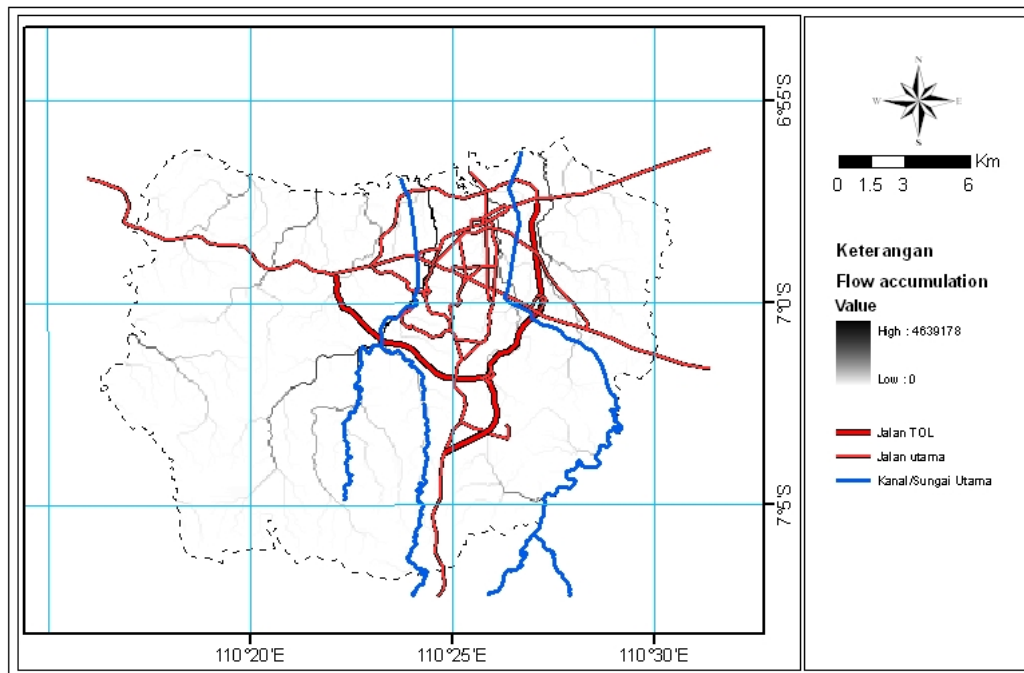
Gambar 3.10 Diagram alir ekstraksi informasi hidrologi dari data DEM
(Sumber: ESRI, 2006)

Berdasarkan Gambar 3.9, DEM harus diinterpolasi kembali untuk mendapatkan DEM yang lebih halus dan alami. DEM hasil interpolasi kriging diperoleh dengan memaksakan ketinggian setiap pixel dihitung dari 12 titik lainnya, meskipun berjarak cukup jauh dan tidak memiliki hubungan secara geometric. Interpolasi kembali atau proses *Filling* bermanfaat untuk mengisi kekosongan data pada daerah-daerah tertentu yang berjauhan dari titik lainnya, sehingga diperoleh aliran air yang konsisten. Setelah DEM yang baru terbentuk, maka tahap berikutnya adalah menghitung flow direction setiap pixelnya.



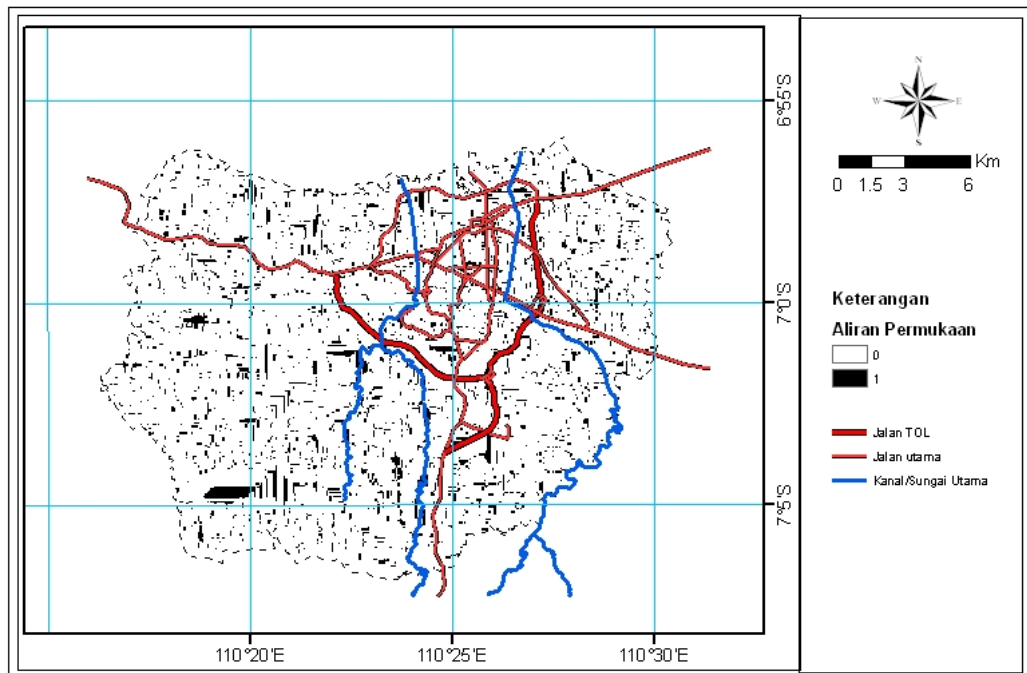
Gambar 3.11 Peta *Flow Direction*

Warna-warna pixel pada peta Flow Direction, seperti pada Gambar 3.11, menunjukkan arah aliran air pada pixel tersebut. Pixel yang berwarna jingga, misalnya, mengindikasikan bahwa titik tersebut akan mengalirkan air ke arah utara. Data *flow direction* kemudian digunakan sebagai input untuk menghasilkan peta baru, yaitu peta *flow accumulation*. Bila pada peta *flow direction*, aliran air masih dinyatakan dalam area-area tangkapan, maka pada peta *flow accumulation*, aliran air sudah direpresentasikan menyerupai aliran sungai yang linear dan bercabang-cabang.

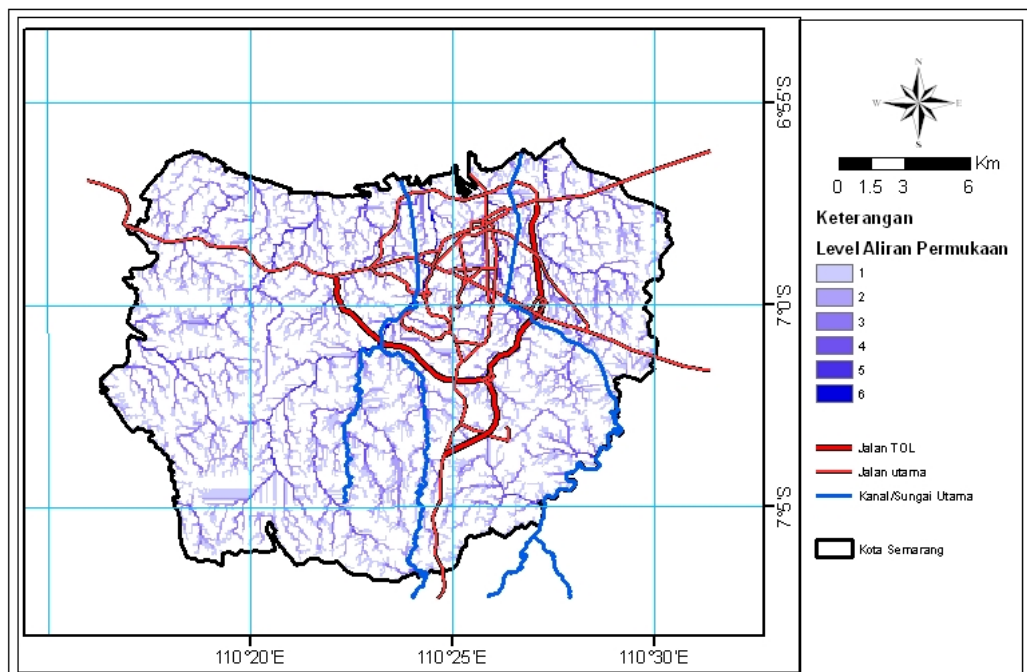


Gambar 3.12 Peta *Flow Accumulation*

Pada Gambar 3.12 tampak bahwa rentang nilai pixel dari peta *flow accumulation* sangat besar hingga 4.639.178, sehingga menyulitkan proses analisis. Nilai suatu pixel yang dipilih merupakan akumulasi dari seluruh pixel atau air yang mengisi titik tersebut, dimana nilai maksimum pada daerah studi ini adalah 4.639.178. Untuk mempermudah proses selanjutnya, maka peta raster tersebut kemudian dikonversi menjadi peta dengan dua nilai saja. Proses binerisasi ini dilakukan dengan menggunakan *tools Map Algebra* pada ArcGIS 9.2 untuk menghasilkan peta raster dalam bentuk biner seperti pada Gambar 3.13. Peta *flow accumulation* dalam bentuk biner selanjutnya digunakan untuk membuat *stream line* definitive dalam bentuk vector seperti ditunjukkan pada Gambar 3.14.



Gambar 3.13 Peta *Flow accumulation* dengan data biner



Gambar 3.14 Peta aliran permukaan berdasarkan pemodelan *stream line*

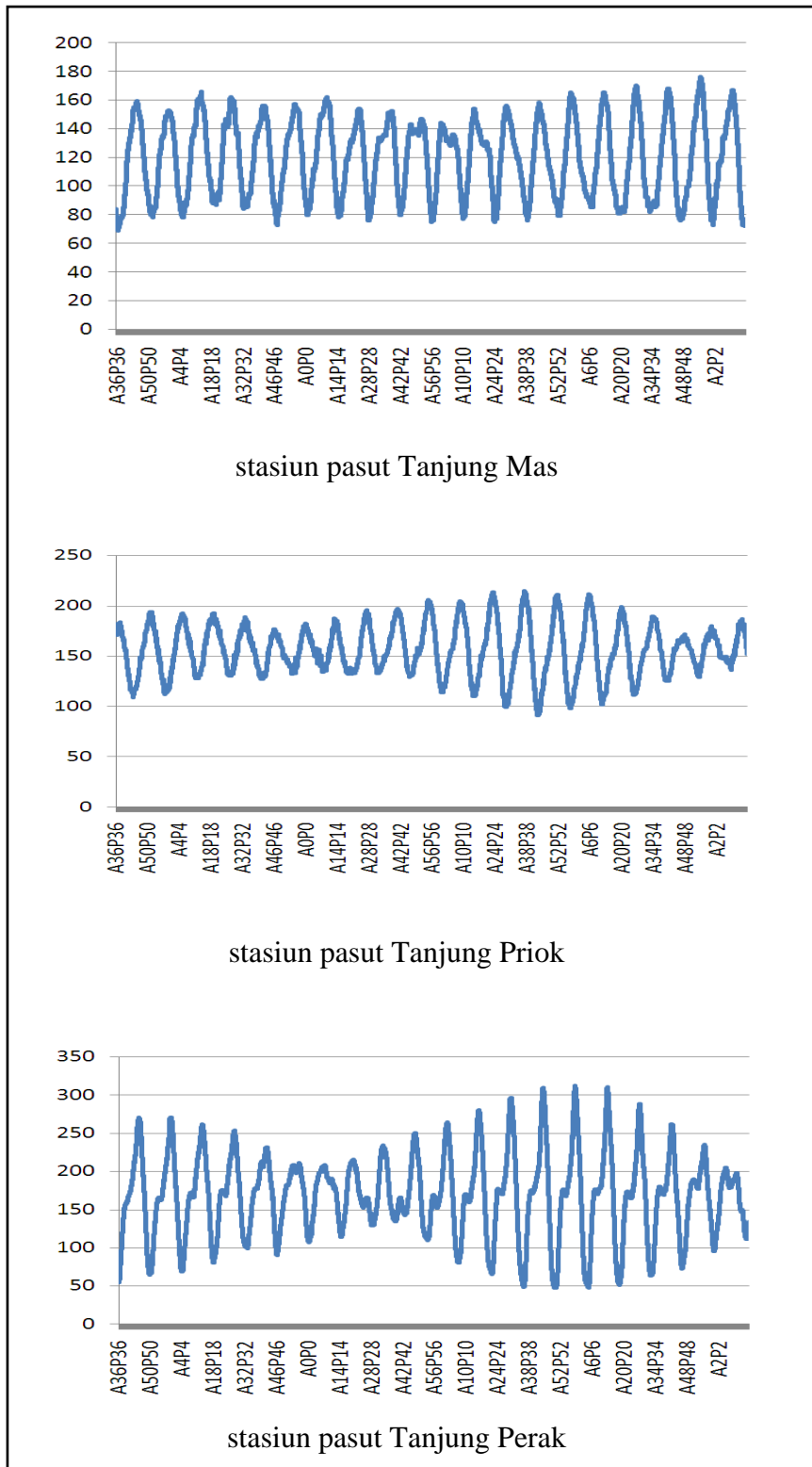
3.3 Reduksi *Mean Sea Level*

Sebagaimana tertera pada keterangan peta topografi skala 1 : 5.000 milik Dinas Pekerjaan Umum Kota Semarang, ketinggian setiap obyek pada peta tersebut mengacu TTG 447 dan TTG 449. Titik Tinggi Geodesi (TTG) tersebut merupakan bagian dari jaring kontrol vertikal nasional yang menggunakan datum vertikal hasil pengamatan pasang surut di Tanjung Priok dan Tanjung Perak.

Perilaku pasang surut laut di Semarang tentu akan berbeda dengan pasang surut di Tanjung Priok dan Tanjung Perak. Perbedaan tersebut berimplikasi pada perbedaan nilai MSL, LLWL dan HHWL. Pada Gambar 3.15 terlihat bahwa perilaku pasut di Tanjung Mas cenderung datar, sementara di kedua stasion yang lain terjadi fluktuasi yang cukup signifikan dalam satu bulan pengamatan. Berdasarkan data catatan pasut Bulan Juni 2009 pada Tabel 3.2 diperoleh nilai MSL rata-rata Pulau Jawa yang dihitung dari data pasut Tanjung Priok dan Tanjung Perak, yaitu: sebesar 163 cm. Pada tabel tersebut juga terlihat bahwa *chart datum* Semarang berada 22 cm di atas Tanjung Perak dan 22 cm di bawah Tanjung Priok.

Tabel 3.2 Resume Bacaan Pasut pada Bulan Juni 2009

	Tanjung Perak	Tanjung Mas	Tanjung Priok
Highest High Water Level	313 cm	176 cm	215 cm
Mean Sea Level	169 cm	120 cm	156 cm
Lowest Low Water Level	47 cm	69 cm	91 cm



Gambar 3.15 Fluktuasi pasang surut pada Bulan Juni 2009

Setiap pengukuran beda tinggi yang diikatkan terhadap patok-patok tersebut akan menghasilkan ketinggian yang berreferensi pada titik 0 meter di Jakarta dan di Surabaya. Pengukuran elevasi di sekitar stasiun pasut tersebut akan menghasilkan ketinggian yang relatif mendekati MSL setempat, sedangkan daerah yang jauh dari kedua stasiun pasut tersebut akan menemui masalah dengan adanya perbedaan titik nol meter pada peta dan nol meter berdasarkan MSL setempat.

Cara yang paling tepat untuk mengetahui secara pasti perbedaan titik nol pada peta dan titik nol lokal Semarang adalah dengan mengukur kembali ketinggian patok ikatan pasut di Semarang. Mekanisme pengukurannya adalah dengan mengukur patok tersebut dari dua arah, yaitu:

- Pengukuran ketinggian patok terhadap TTG 447 atau TTG 449
- pengukuran ketinggian patok terhadap BM pengamatan pasut di Stasiun Tanjung Mas

Pada penelitian ini, survey pengukuran dengan menggunakan waterpass untuk menghitung selisih posisi nol peta dan nol faktual tidak dilakukan. Penyebab utamanya adalah kerusakan alat pencatat pasut milik Bakosurtanal di Tanjung Mas Semarang sejak November 2009. Meskipun pengukuran ketinggian BM ikatan pasut sebenarnya masih dapat dilakukan dengan menggunakan data prediksi pasut 2009 yang dikeluarkan oleh Bakosurtanal, namun dengan simpangan baku ± 20 cm dikhawatirkan akan memberikan hasil hitungan yang tidak akurat.

Selisih ketinggian nol meter peta dan nol meter Semarang dapat dilihat dalam Master Plan Drainase Semarang Tahun 2007 yang merujuk pada hasil

pengukuran Tahun 1997. Berdasarkan penelitian tersebut ternyata titik nol faktual Semarang berada 23 cm di bawah nol peta atau nol Jakarta, sehingga ketinggian seluruh fitur dalam peta topografi Dinas PU Semarang pun harus disesuaikan dengan MSL setempat bila hendak digunakan untuk keperluan analisis rob.

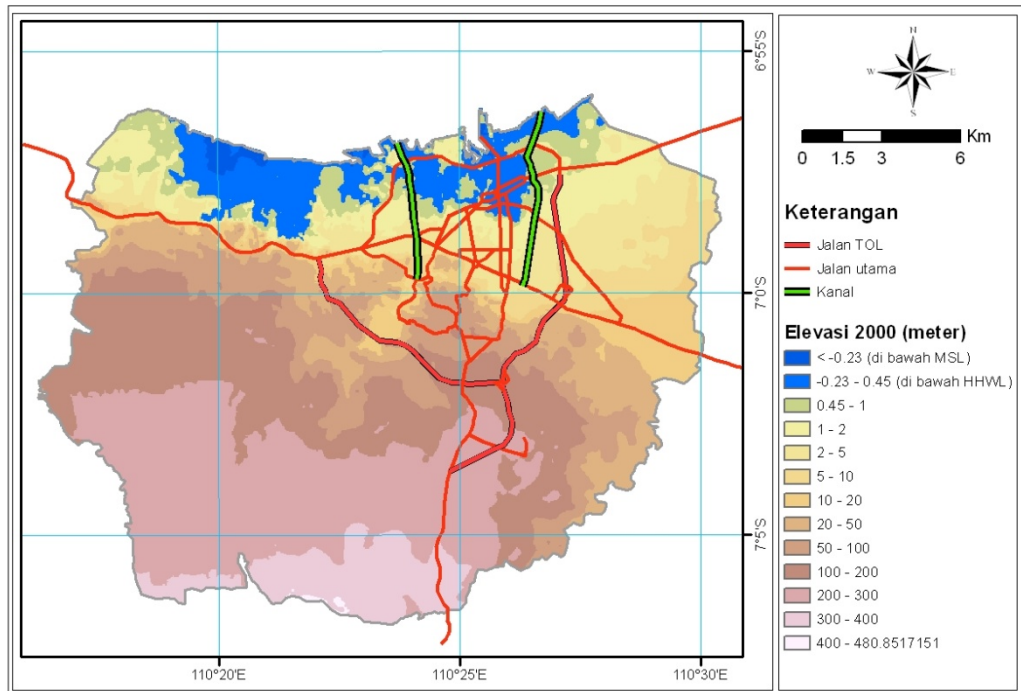
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

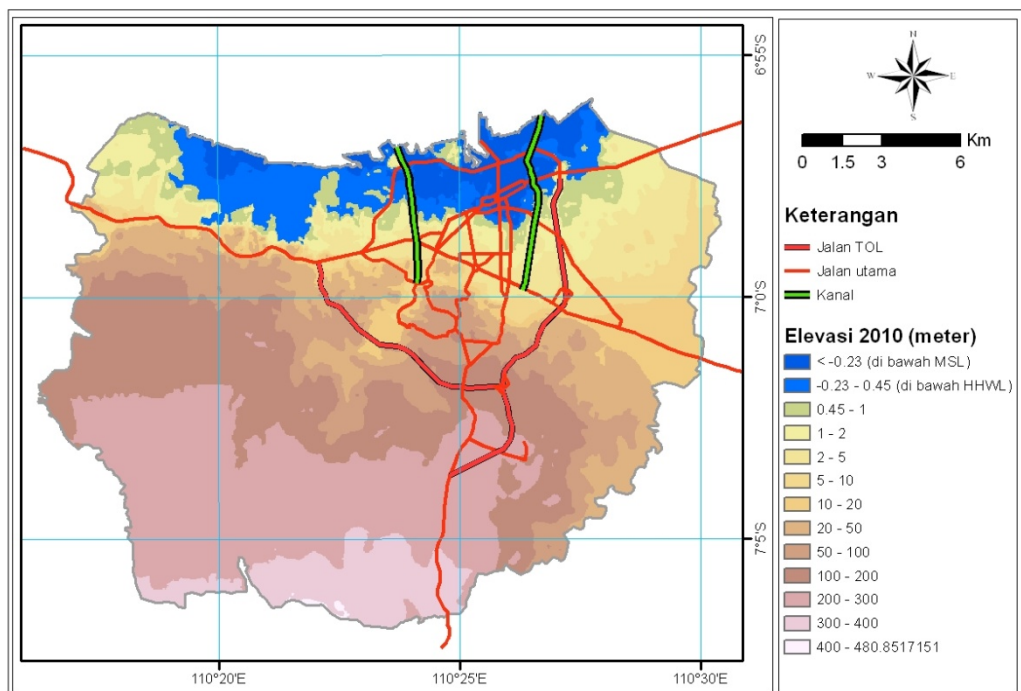
4.1 Hasil

4.1.1 Peta genangan banjir pasang surut

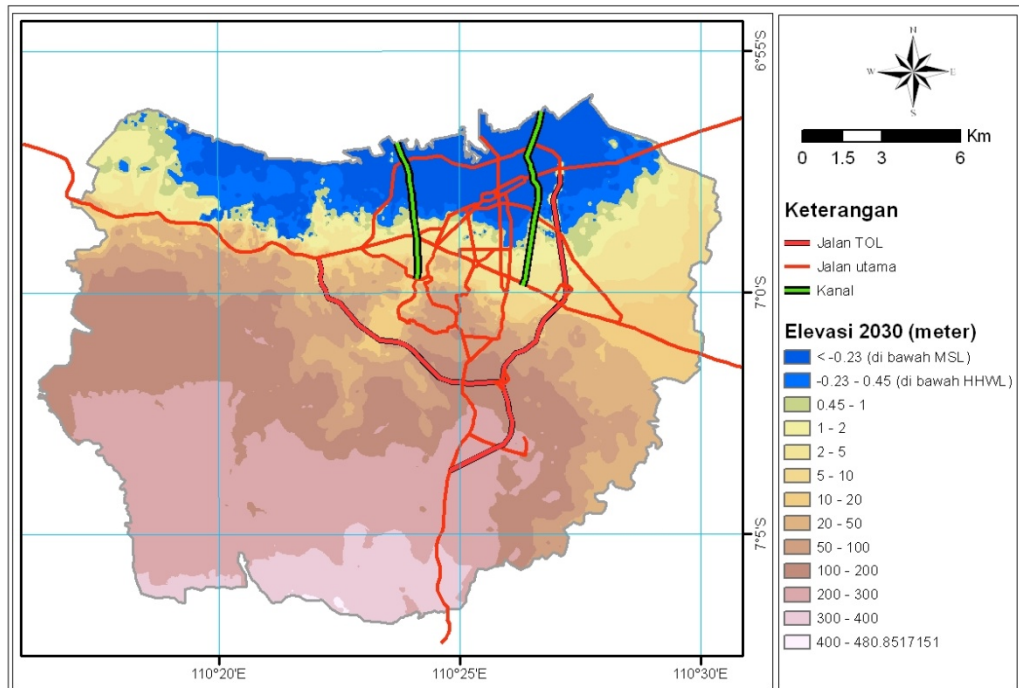
Ketinggian pasang tinggi tertinggi (HHWL) terhadap MSL Kota Semarang berdasarkan data pasut dalam dokumen Masterplan Drainase Kota Semarang Tahun 2007 adalah 68 cm. Karena posisi MSL Kota Semarang berada 23 cm di bawah MSL Pulau Jawa, maka posisi HHWL Semarang berada 45 cm di atas MSL Semarang. Daratan sekitar pantai yang memiliki ketinggian di bawah +45 cm diperkirakan akan terendam rob. Peta perkembangan rob secara berturut-turut diilustrasikan pada Gambar 4.1, Gambar 4.2, dan Gambar 4.3.



Gambar 4.1 Peta genangan banjir pasang surut Tahun 2000



Gambar 4.2 Peta genangan banjir pasang surut Tahun 2010



Gambar 4.3 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 $4.109.844 \text{ m}^3$. 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 $17.029.219 \text{ m}^3$. Berdasarkan analisis DEM diperkirakan pada Tahun 2030, bila tanpa adanya usaha penanggulangan, maka rob akan merendam daratan seluas 4.846 hektar dengan volume mencapai $59.110.917 \text{ m}^3$.

Tabel 4.1 Prediksi Luas dan Volume genangan banjir pasang surut

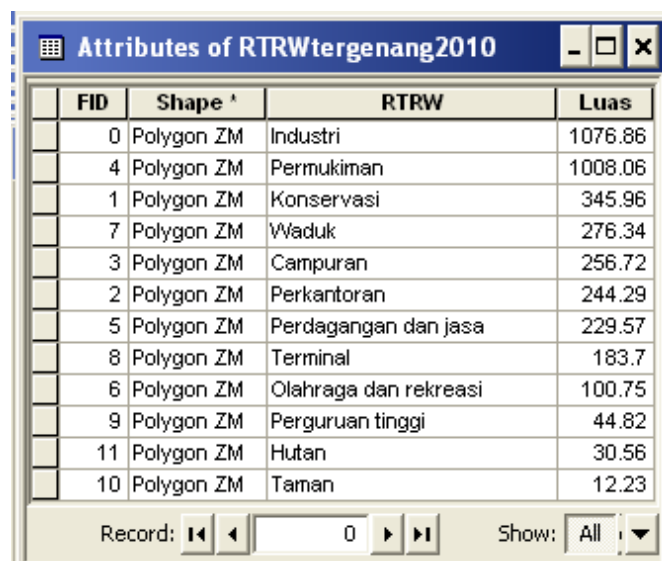
Peta Prediksi Genangan	Luas (hektar)	Volume (m^3)
Peta Tahun 2000	1.752	4.109.844
Peta Tahun 2010	3.438	17.029.219
Peta Tahun 2030	4.846	59.110.917

4.1.2 Evaluasi RTRW 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 4.2 Alokasi ruang yang tergenang oleh rob pada Tahun 2010

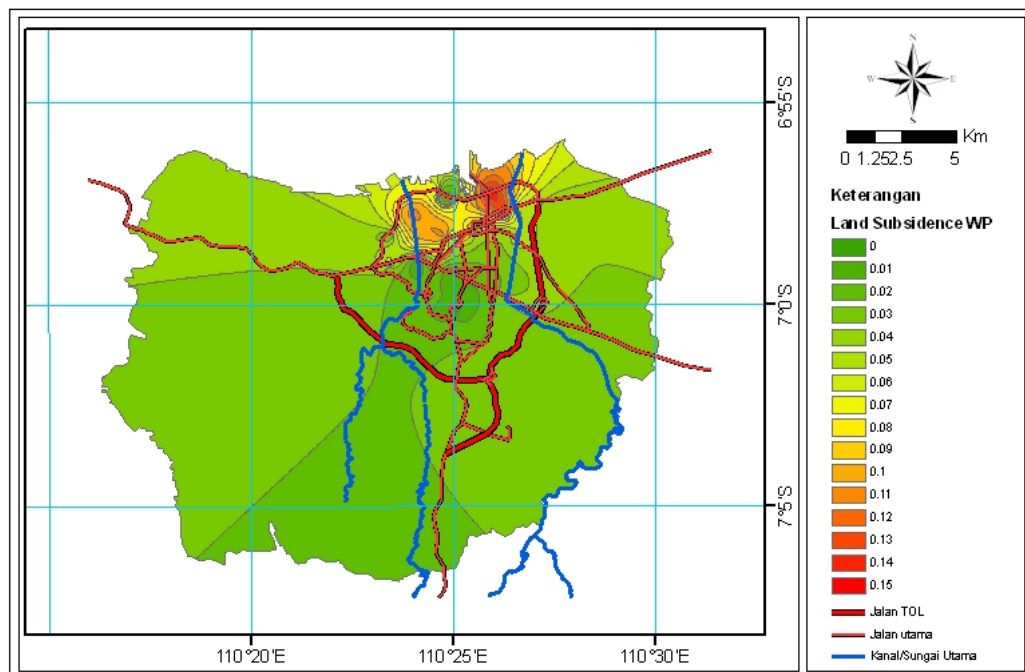


FID	Shape *	RTRW	Luas
0	Polygon ZM	Industri	1076.86
4	Polygon ZM	Permukiman	1008.06
1	Polygon ZM	Konservasi	345.96
7	Polygon ZM	Waduk	276.34
3	Polygon ZM	Campuran	256.72
2	Polygon ZM	Perkantoran	244.29
5	Polygon ZM	Perdagangan dan jasa	229.57
8	Polygon ZM	Terminal	183.7
6	Polygon ZM	Olahraga dan rekreasi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

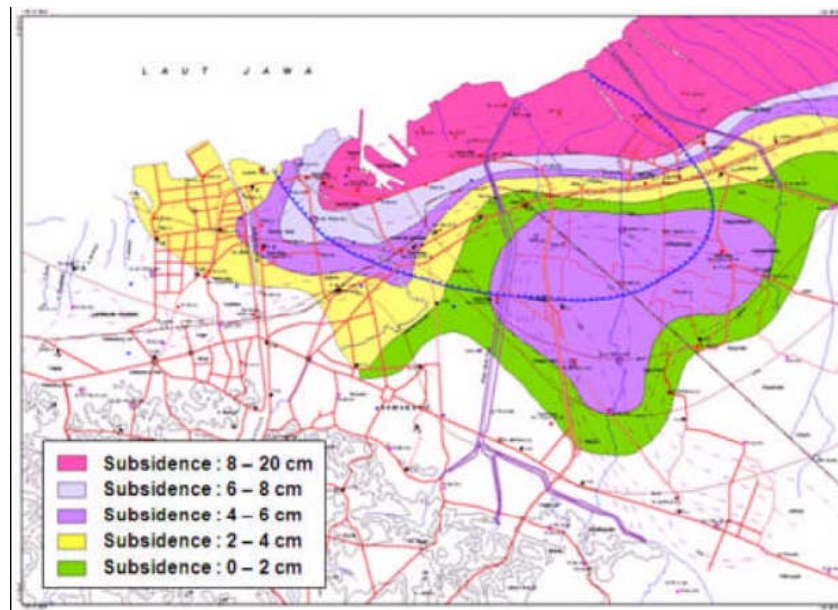
4.2 Pembahasan

4.2.1 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 Wirasatriya (2005) dan Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (2007).



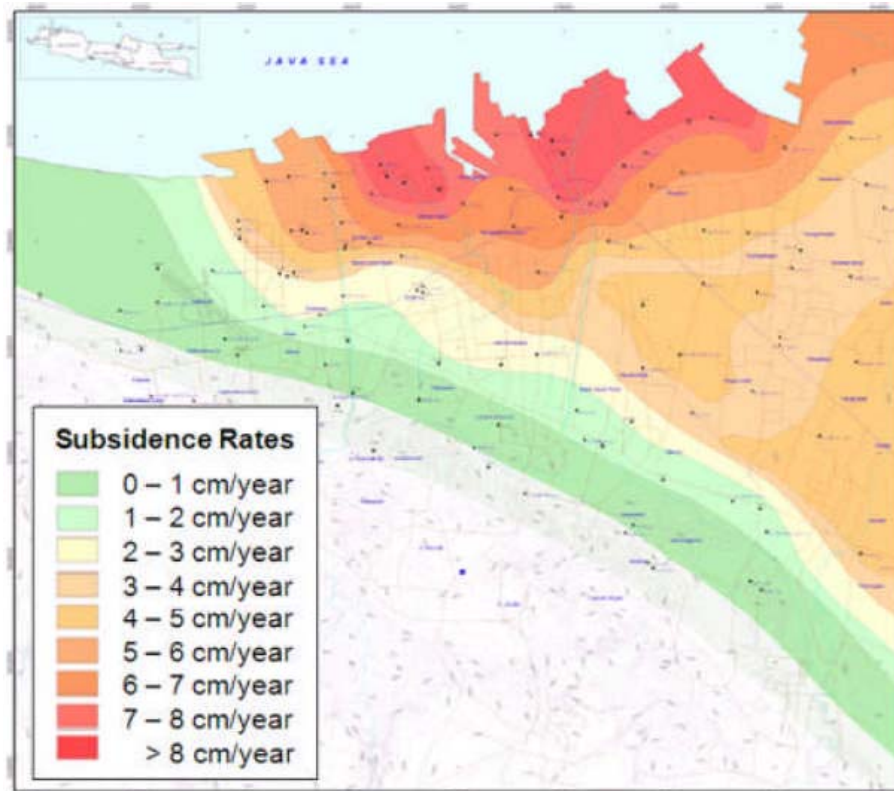
Gambar 4.4 Laju penurunan muka tanah Kota Semarang hasil pengukuran dengan sipat datar oleh FPIK UNDIP
(Sumber: Wirasatriya, 2005)



Gambar 4.5 Laju Penurunan muka tanah Kota Semarang hasil pengukuran dengan sipat datar oleh Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana

(Sumber: Departemen ESDM, 2007)

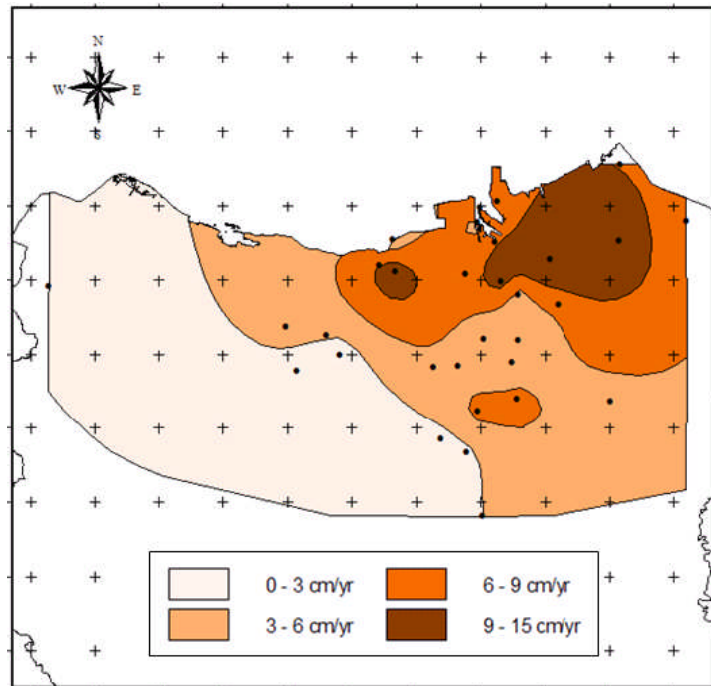
Pengukuran laju penurunan muka tanah dengan menggunakan metode sipat datar membutuhkan waktu pengukuran yang lama dan sebaran titik pengamatannya tidak merata di seluruh wilayah studi. Salah satu metode yang dapat mengakuisisi data elevasi secara periodik dan mencakup wilayah yang luas adalah dengan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



Gambar 4.6 Laju penurunan muka tanah Kota Semarang hasil PS InSAR

(Sumber: Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana, 2007)

Metode lain yang cukup efektif untuk mengukur kecepatan penurunan muka tanah adalah pengukuran GPS Geodetik. Metode ini meskipun menghasilkan data ketinggian yang sangat akurat, namun masih terbatas pada titik-titik yang tertentu saja.



Gambar 4.7 Peta penurunan muka tanah hasil pengukuran GPS Geodetik
(Sumber : Hasanuddin *et al.*, 2010)

4.2.2 Analisis data pasang surut

Kendala utama dalam memodelkan ketinggian air pasang di Kota Semarang adalah masalah tingkat keakurasian pembacaan nilai pasang surut. Meskipun pembacaan skalanya telah digital, namun terdapat kejanggalan dengan terdeteksinya kenaikan angka bacaan pasang surut. Kenaikan bacaan pasang surut yang mencapai angka hingga 10 cm per tahun harus diperhitungkan.

Wirasatriya (2005) memodelkan perilaku pasang surut di Semarang dengan menggunakan data pasang surut tahun 1985 sampai 2004. Data tersebut kemudian dianalisis untuk mendapatkan MSL bulanan dan MSL tahunan. Dari pengolahannya, Wirasatriya (2005) menyimpulkan bahwa kenaikan muka laut rata-rata tahunan mendekati pola linier, yaitu:

$$Y = 4.8961x - 9644.7 \quad (4.1)$$

Notasi x pada persamaan tersebut menyatakan Tahun yang pasutnya akan diprediksi, sedangkan notasi y menyatakan ketinggian MSL pada tahun yang bersangkutan.

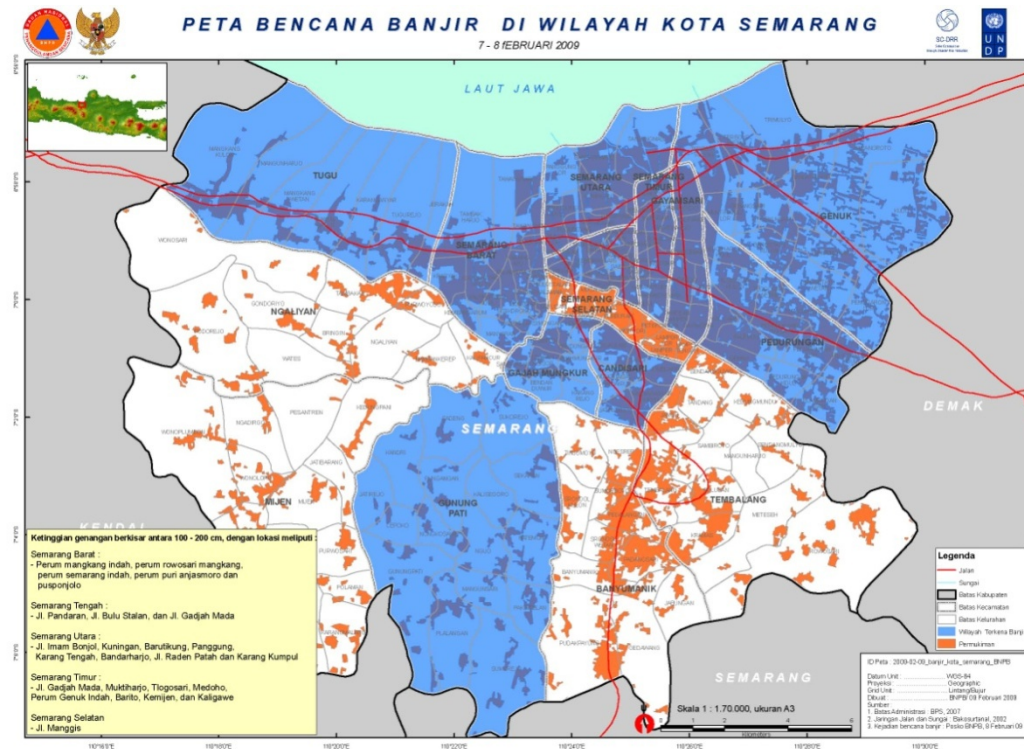
Asumsi bahwa peningkatan dipicu oleh pemanasan global ataupun perubahan perilaku oceanografi juga masih perlu diteliti. Bila melihat pada lokasi stasiun pasut yang berada di daerah yang senantiasa mengalami penurunan, maka diduga peningkatan nilai bacaan rambu pasang surut lebih dikarenakan oleh turut turunnya stasiun pasang surut.

4.2.3 Validasi peta prediksi genangan rob

Untuk dapat memberikan arahan yang benar, maka peta prediksi genangan rob Semarang Tahun 2000, 2010, dan 2030 harus diverifikasi dan validasi terlebih dahulu. Pemeriksaan kebenaran dari prediksi genangan Tahun 2000 cukup sulit untuk dilakukan, karena ketiadaan catatan data banjir yang representatif pada Tahun 2000 tersebut. Validasi peta genangan hanya dapat diuji dengan pengamatan terkini Tahun 2010 dan pengamatan pada Tahun 2030 mendatang.

Pengujian peta genangan rob dengan menggunakan peta delineasi banjir yang dibuat oleh BNPB (Badan Nasional Penanggulangan Bencana) yang dirilis pada bulan Februari 2009 tidak memberikan hasil yang optimal. Peta yang dibuat sebagai hasil kerjasama Pemerintah Republik Indonesia dan UNDP tersebut tidak memberikan gambaran yang rasional. Pada Gambar 4.8 tampak bahwa tidak

kurang dari 50% wilayah Semarang merupakan daerah rawan banjir, termasuk diantaranya adalah kawasan Semarang Selatan.

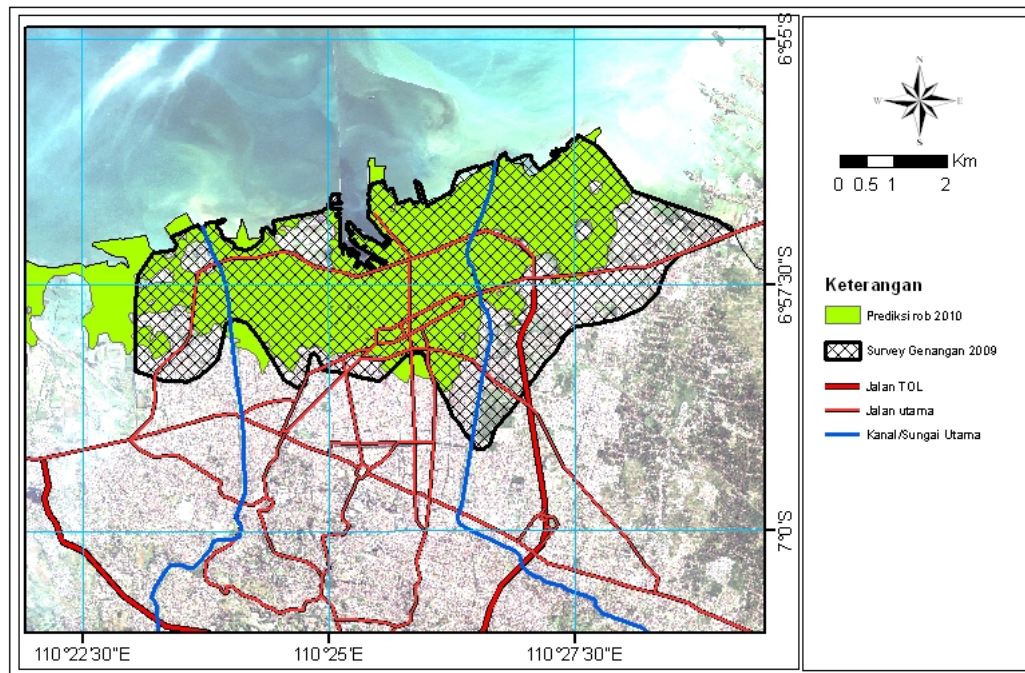


Gambar 4.8 Peta bencana banjir di Wilayah Kota Semarang

(Sumber : Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2009)

Data sebaran banjir yang terdekat adalah peta sebaran rob yang telah disurvei oleh Harimurti (2009). Batas genangan rob pada studi tersebut merupakan hasil wawancara dengan masyarakat setempat. Pada Gambar 4.9 tampak bahwa peta genangan hasil wawancara Tahun 2009 menunjukkan penyimpangan terhadap kecenderungan elevasi permukaan bumi. Deviasi terbesar terjadi di sisi timur dimulai dari sekitar Banjir Kanal Timur hingga ke perbatasan Semarang – Demak. *Overlay* polygon prediksi rob Tahun 2010 terhadap titik-titik terluar rob hasil wawancara Tahun 2009 menunjukkan bahwa pada daerah yang

sama peta prediksi rob Tahun 2010 berkesesuaian dengan kondisi eksisting sebesar 63%.

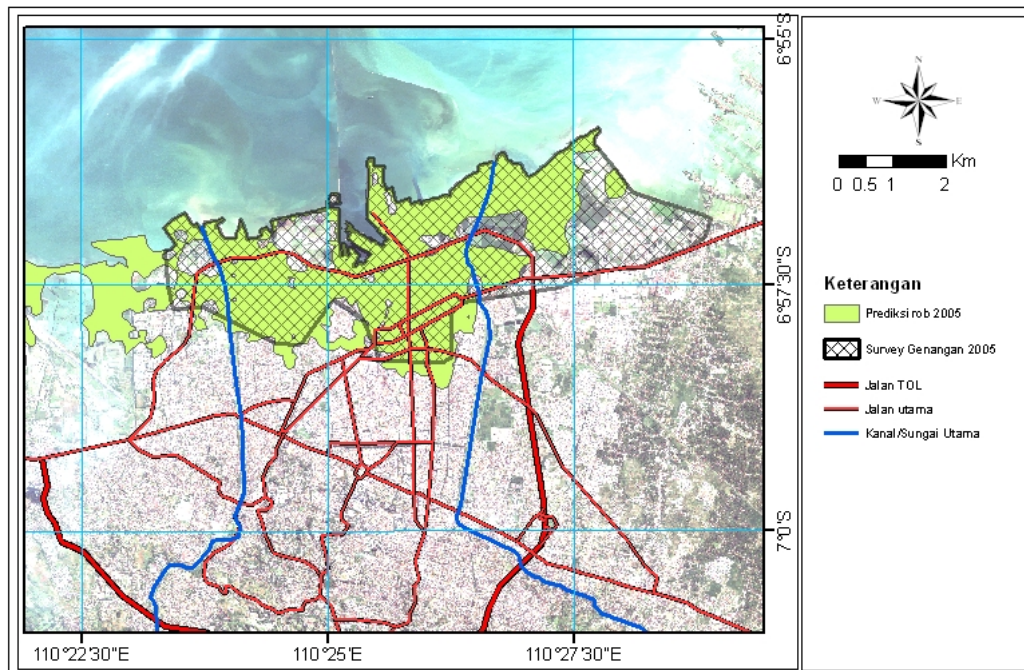


Gambar 4.9 Overlay prediksi rob 2010 dengan pemetaan titik-titik terluar rob hasil wawancara Tahun 2009

Berdasarkan hasil survey pada Bulan Januari 2010, banjir yang terjadi pada titik terluar di sekitar Banjir Kanal Timur, yang berjarak 1,5 km dari Jalan Majapahit, diduga disebabkan oleh rembesan air yang berasal dari kanal yang meluap pada musim hujan. Diduga air sungai terbendung oleh sedimen yang mengendap di muara kanal, sehingga mengakibatkan naiknya ketinggian air sungai. Elevasi air sungai akan semakin meninggi dan masuk lebih jauh lagi ke arah daratan pada saat terjadi pasang.

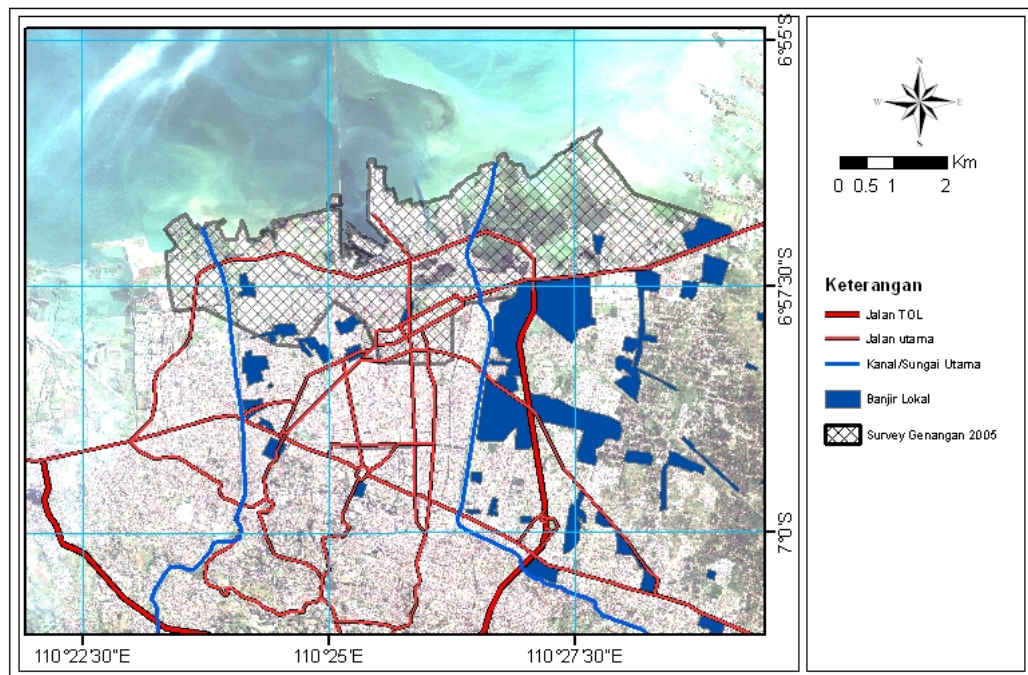
Peta lain yang dapat digunakan untuk menguji keakuratan algoritma prediksi rob pada penelitian ini adalah peta hasil survey lapangan yang dilakukan

Wirasatriya (2005). Untuk menyamakan epoch pengamatan, peta hasil survey genangan Tahun 2005 di-*overlay*-kan dengan peta prediksi genangan Tahun 2005. Hasil tumpang-susun kedua peta tersebut menunjukkan bahwa algoritma DEM dan *land subsidence* memiliki tingkat ketepatan sebesar 61%.



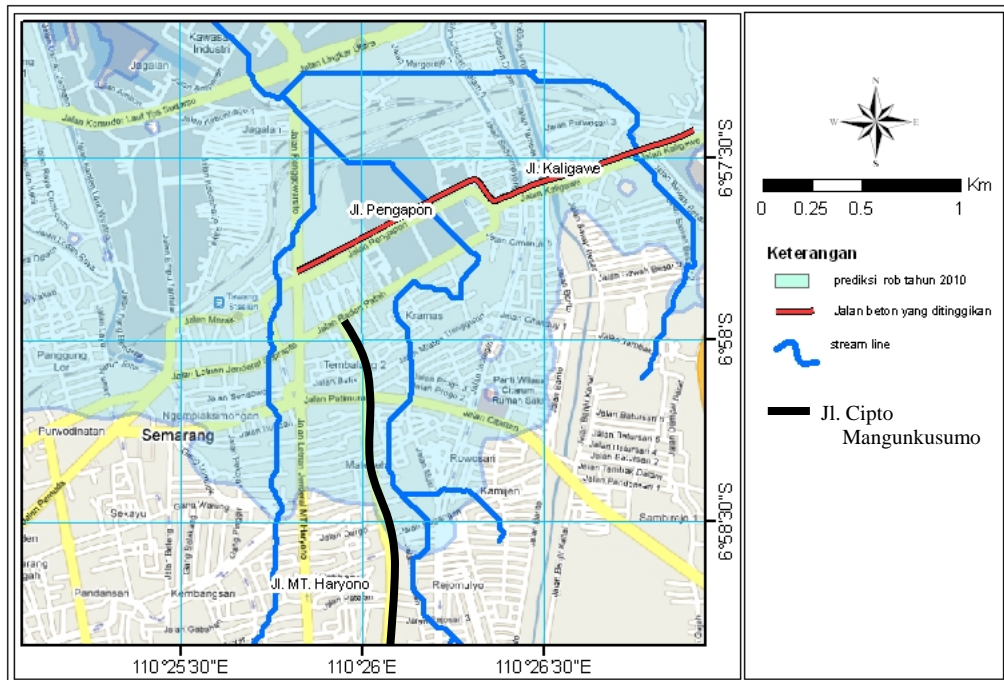
Gambar 4.10 Overlay Genangan hasil survey 2005 terhadap DEM 2005

Perbedaan yang cukup mencolok antara peta genangan hasil survey Tahun 2005 dan peta prediksi rob Tahun 2005 terlihat pada bagian paling timur peta genangan. Pada bagian tersebut diduga terjadi kesalahan interpretasi oleh pengamat pada saat survey Tahun 2005. Genangan banjir yang terlihat pada saat survey Tahun 2005 tersebut diduga merupakan genangan banjir lokal, seperti yang ditunjukkan pada Peta Genangan Banjir Lokal yang dibuat oleh Bappeda Semarang pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Overlay Genangan hasil survey 2005 terhadap genangan banjir lokal

Berdasarkan hasil survey pada Bulan Januari Tahun 2010, genangan rob aktual cenderung konform dengan peta prediksi genangan rob. Perbedaan yang signifikan ditemukan di Jl. Cipto Mangunkusumo. Pada peta prediksi tampak bahwa Jl. Cipto Mangunkusumo tergenang hingga sejauh 1 km dari persimpangan Jl. Raden Fatah, sementara berdasarkan hasil peninjauan langsung di lapangan tidak ditemukan genangan maupun bekas genangannya. Genangan hanya terjadi di Jalan Patimura yang diapit oleh Jl. MT. Haryono dan Jl. Cipto Mangunkusumo.



Gambar 4.12 Overlay peta sebaran rob 2010, peta Jalan, dan stream line

Fenomena tersebut dapat terjawab setelah melakukan overlay peta jalan dengan peta *stream line*. Pada Gambar 4.12 tampak bahwa Jl. Cipto Mangunkusumo secara teoritis akan terendam mengingat posisinya yang cukup dekat dengan *stream line*. *Stream line* yang seharusnya menjadi alur bagi masuknya air laut ternyata terputus oleh Jl. Pengapon dan Jl. Kaligawe yang menggunakan material beton dan telah ditinggikan hingga melewati elevasi tanggap pasut. Pemutusan *stream line* ini secara otomatis akan menjadi tanggul yang menghalangi masuknya air laut maupun keluarnya *run off* air hujan ke laut. Peninggian Jl. Pengapon akan melokalisasi rob di Jl Ronggo Warsito, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.13.

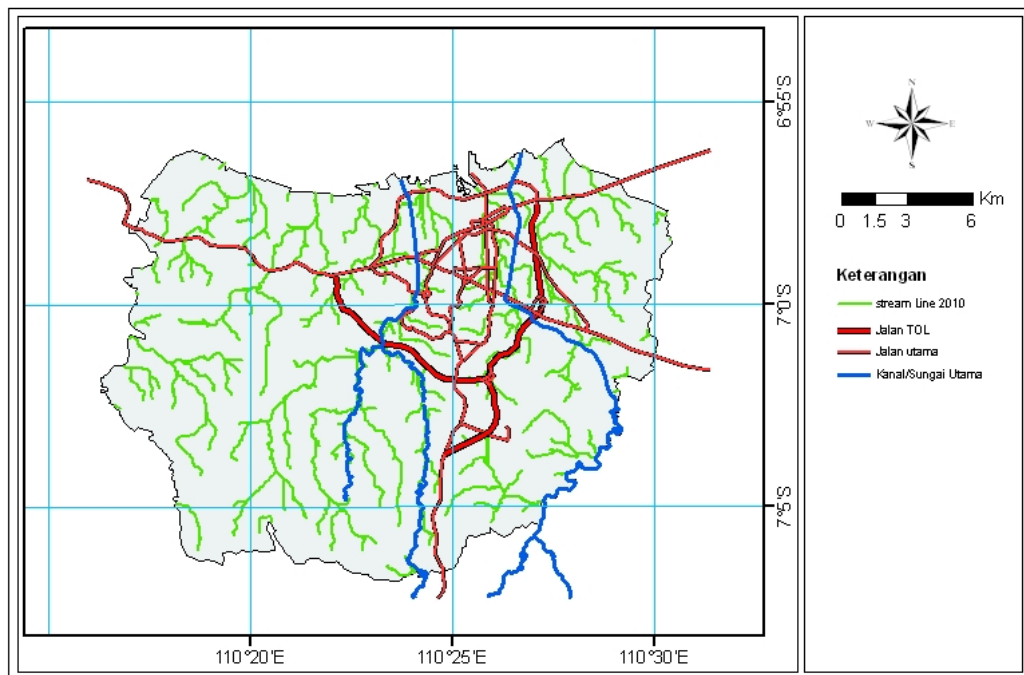


Gambar 4.13 Genangan di Jl. Ronggo Warsito yang alirannya tertahan oleh Jl. Pengapon yang ditinggikan

4.2.4 Analisis inlet dan outlet banjir pasang surut

Stream line yang diturunkan dari DEM harus diverifikasi terlebih dahulu sebelum diterapkan untuk mencari titik inlet/outlet rob. Pengujian akurasi *stream line* dilakukan dengan meng-*overlay*-kan *layer stream line* terhadap aliran sungai eksisting. Secara teoritis, *stream line* yang dibuat dari DEM dengan ketelitian tinggi akan *coincidence* dengan aliran sungai-sungai alami. Perbedaan alur mulai terjadi pada *stream line* yang melalui kawasan pemukiman atau perkotaan yang membatasi dinamika aliran sungai. Secara alamiah, alur aliran sungai akan mengalami pergeseran, penyempitan, atau perluasan aliran. Pergeseran alur dapat disebabkan fluktuasi debit, sedimentasi di dasar sungai, longsor, atau bahkan oleh penurunan muka tanah.

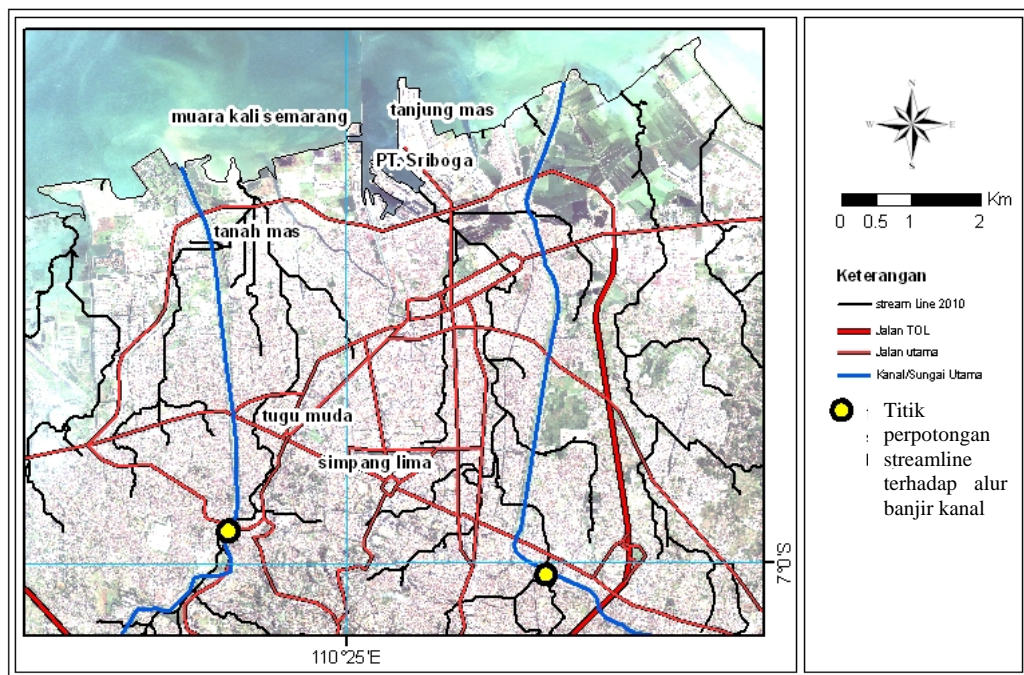
Berdasarkan *overlay stream line* dan aliran sungai banjir kanal timur dan barat terlihat bahwa streamline berhimpit dengan saluran alami Kali Garang sebelum memasuki Banjir Kanal Barat, seperti ditunjukkan oleh Gambar 4.14. Penyimpangan arah aliran secara ekstrim terlihat pada *stream line* yang melewati kawasan pemukiman padat, terutama daerah yang diapit oleh Banjir Kanal Timur dan Banjir Kanal Barat. Pada daerah tersebut *stream line* menyimpang cukup jauh dari saluran kanal dan drainase eksisting, misalnya: *stream line* di kawasan Tanah Mas tidak berhimpit dengan aliran Kali Semarang.



Gambar 4.14 *Overlay stream line* dan banjir kanal di Semarang

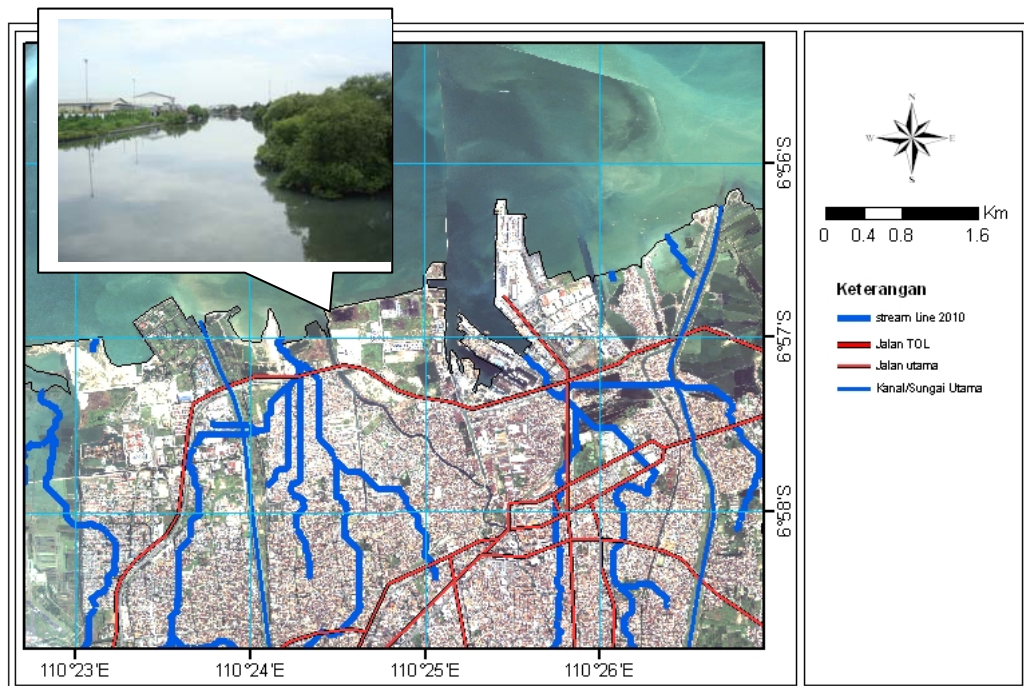
Analisis *stream line* dengan menggunakan data topografi dan mengabaikan saluran-saluran drainase sangat bermanfaat untuk mengidentifikasi arah penjalaran genangan rob yang melimpas di atas permukaan tanah. Banjir

yang setiap hari menjadi masalah bagi warga di Tanah Mas, selain disebabkan oleh elevasi yang berada di bawah tinggi muka air laut saat pasang, masalah tersebut kemungkinan besar diakibatkan oleh penyimpangan stream line terhadap aliran Kali Semarang. Pengamatan *stream line* sangat membantu dalam mengevaluasi beban kerja saluran drainase eksisting, karena arah *stream line* menunjukkan kecenderungan aliran di permukaan tanah mengikuti kontur lahan dari tempat yang lebih tinggi ke tempat yang lebih rendah. *Stream line*, seperti ditunjukkan oleh Gambar 4.15, juga dapat digunakan dalam menentukan posisi yang paling optimal untuk menempatkan pompa-pompa pengendali rob dan lokasi kolam-kolam retensi.



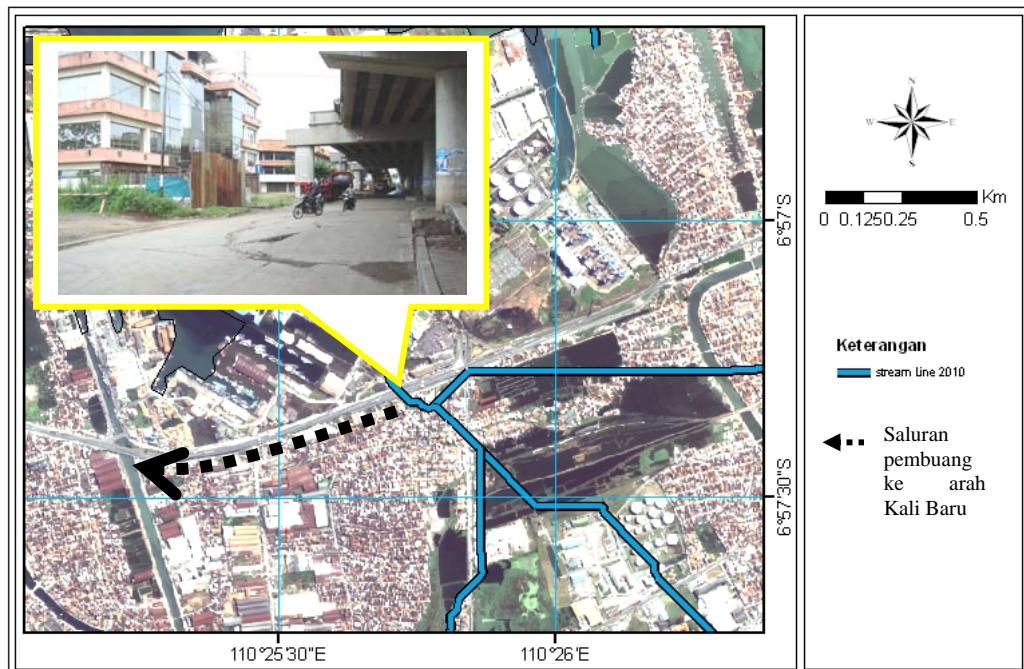
Gambar 4.15 *Stream line* pusat kota Semarang

Banjir Kanal Barat berhasil menangkap aliran air alamiah (*stream line*) hingga sejauh 5.3 km dari muara kanal. Adapun untuk banjir Kanal Timur, berhasil menangkap aliran air alamiah (*stream line*) hingga sejauh 5.5 km dari muara kanal. Aliran sungai (*stream line*) setelah berpotongan dengan banjir kanal sisi barat akan terakumulasi di sekitar muara Kali Semarang, sementara limpasan dari Banjir Kanal Timur akan keluar melalui kawasan Tanjung Mas. Titik akhir dari aliran sungai (*stream line*) tersebut merupakan outlet dari seluruh *run off* yang terjadi dalam sub-das yang dibatasi oleh banjir Kanal Timur dan barat. Titik tersebut selanjutnya diidentifikasi sebagai inlet utama masuknya air laut. Air yang masuk melalui inlet tersebut akan memberikan dampak banjir pada area yang sangat luas. Berdasarkan Gambar 4.16 tampak bahwa Kali Semarang dan Sudetan Kali Baru tidak bertampalan dengan *stream line* hasil prediksi Tahun 2010.



Gambar 4.16 Verifikasi inlet/outlet rob di muara Kali Semarang

Kejanggalan *stream line* hasil prediksi Tahun 2010 terlihat pada saat melakukan survey pada outlet streamline yang masuk ke kawasan pelabuhan Tanjung Mas. Pada lokasi tersebut tidak ditemukan aliran sungai alami maupun buatan yang mengalirkan genangan di belakang Station kereta api Tawang. Pada Gambar 4.17 tampak bahwa pada jarak ± 800 meter ke arah Timur Laut dari titik inlet/outlet terdapat saluran pembuang yang diduga merupakan saluran yang digunakan untuk membuang air yang terhalang oleh jalan arteri utara tersebut.



Gambar 4.17 Lokasi survey outlet Tanjung Mas - Semarang

4.2.5 Usulan bangunan air pengendali rob

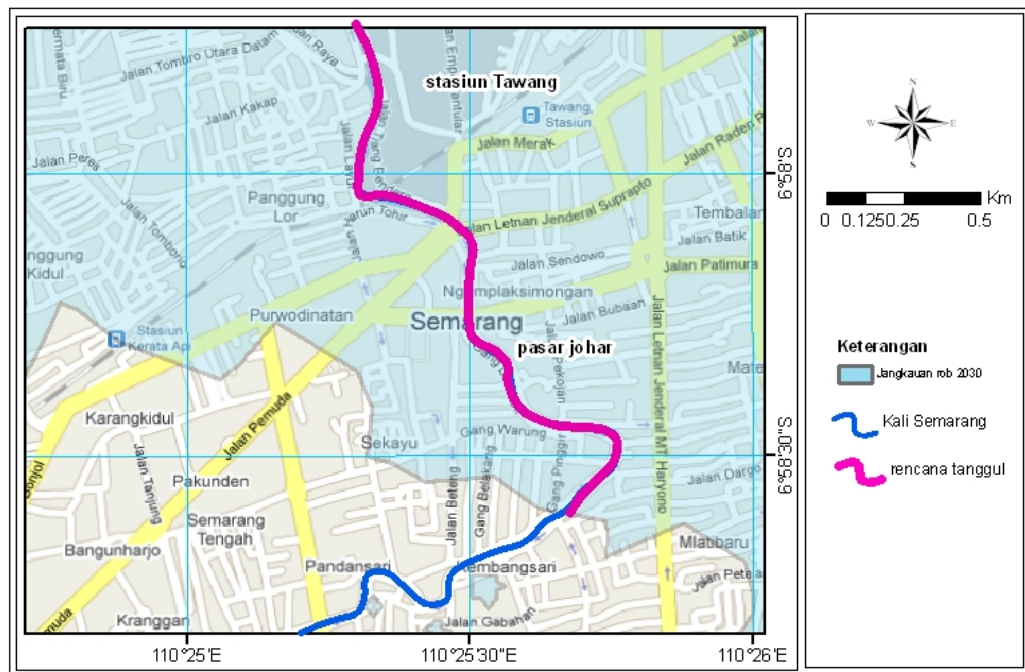
Berdasarkan hasil operasi SIG diperoleh informasi bahwa genangan banjir pasang surut yang terbesar terjadi di pusat kota yang diapit oleh Kanal Barat dan Kanal Timur. Daerah tersebut didominasi oleh permukiman, kawasan

perdagangan, perindustrian, dan obyek-obyek strategis bagi pemerintahan dan perekonomian Semarang. Solusi terbaik untuk mengatasi masalah banjir rob pada kota yang elevasi lebih rendah dari permukaan laut adalah menutup pintu masuk air laut pada saat air pasang. Bangunan pelabuhan dan tanggul yang dibuat oleh kawasan industri di sepanjang pantai Semarang merupakan penahan banjir yang cukup efektif, sehingga Pemerintah Kota selayaknya memberikan dorongan, insentif, atau apresiasi yang tinggi kepada kalangan industri yang memiliki komitmen untuk meninggikan tanggul-tanggul yang mampu menahan air pasang.

Untuk memastikan air pasang tidak masuk melalui garis pantai, maka harus dilakukan penanggulangan di bibir jalan lingkaran utara. Tinggi tanggul harus melebihi HHWL atau 0,68 m di atas MSL setempat. Jika mengacu pada peta topografi dan patok TTG Bakosurtanal, maka tinggi tanggul harus lebih dari +0,25 m. Bila diasumsikan laju penurunan tanggul rata-rata adalah 10 cm/tahun, maka tinggi tanggul tersebut harus ditambah tinggi jagaan 2,5 meter untuk umur rencana 25 tahun. Penentuan elevasi dan jenis konstruksi tanggul yang paling efektif dan efisien tentu memerlukan penelitian lanjutan yang lebih detail.

Langkah berikutnya adalah meninggikan tanggul sungai untuk mencegah meluapnya air sungai pada saat pasang termasuk untuk mengantisipasi meluapnya sungai akibat debit banjir kiriman dari hulu. Berdasarkan model *stream line*, Kali Semarang sudah tidak berfungsi secara optimal untuk mengalirkan air, sehingga perlu dilakukan normalisasi dengan pengerukan dan penanggulangan. Penanggulangan dimaksudkan untuk mentransformasi fungsi Kali Semarang dari sekedar alur pengaliran air menjadi tempat penampungan air atau *long storage*. Untuk

perencanaan pencegahan rob hingga Tahun 2030, maka tanggul Kali Semarang yang *water resistant* harus dibangun melewati kawasan Pasar Johar hingga daerah Kembang Sari, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.18.

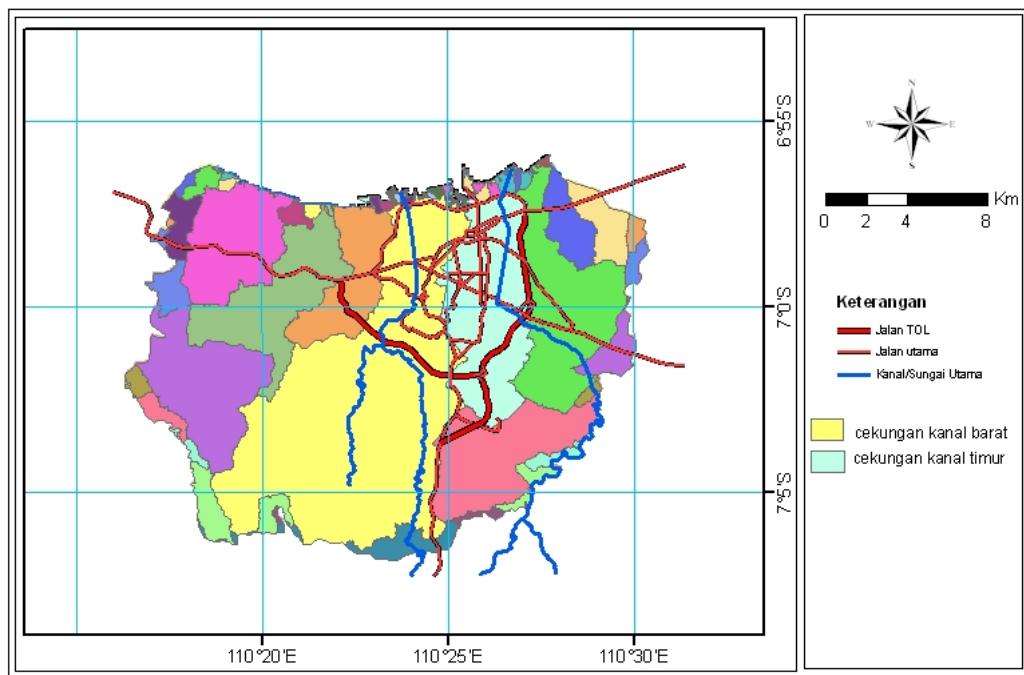


Gambar 4.18 Rencana penanggulangan Kali Semarang

Kali Baru yang merupakan sudetan dari Kali Semarang berdasarkan analisis SIG juga sudah tidak optimal lagi. Muara Kali Baru sebaiknya ditutup untuk mengalihfungsikan kali tersebut sebagai salah satu *long storage* yang terhubung dengan Kali Semarang. Konversi ini juga dimaksudkan untuk mengeliminasi sedimentasi di pelabuhan PT. Sriboga yang juga menjadi muara Kali Baru tersebut.

Gagasan untuk membuat pintu air di muara sungai harus memperhitungkan volume air yang dapat tertampung. Semakin lama pintu tertutup, maka volume air yang tertahan akan semakin besar dan dapat

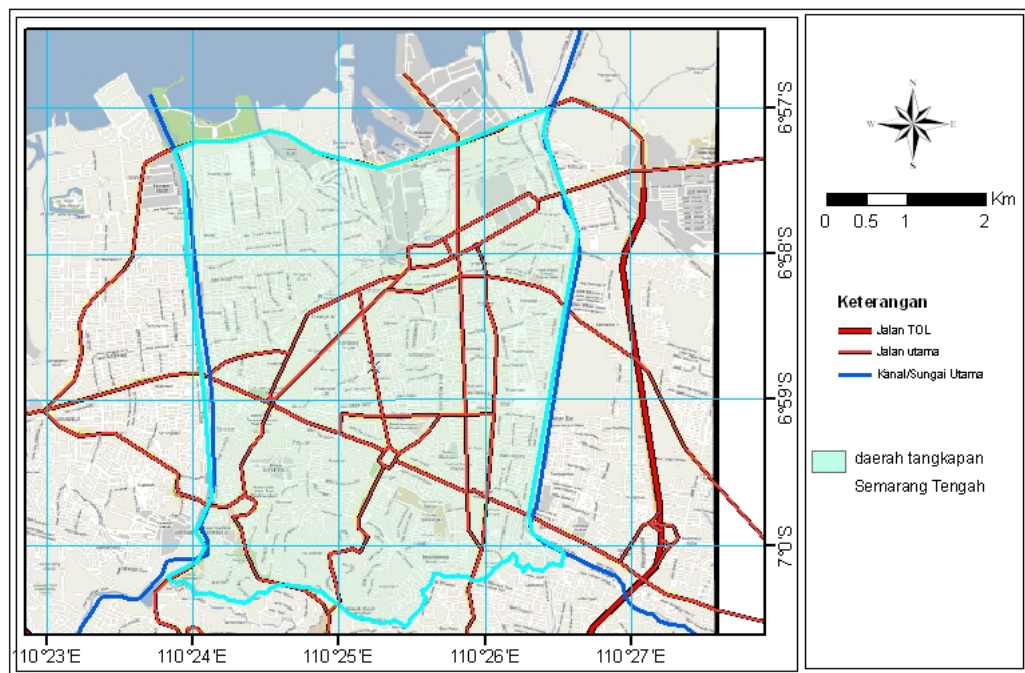
mengakibatkan masalah tersendiri. Prediksi potensi banjir yang dikontribusi oleh hujan dapat dihitung dengan mendelineasi daerah tangkapan saluran yang dimaksud. Pada gambar 4.19 tampak bahwa daerah yang dibatasi oleh Kanal Barat dan Kanal Timur memiliki *catchment area* terluas.



Gambar 4.19 Peta pembagian cekungan banjir kanal

Meskipun pembuatan DAS (Daerah Aliran Sungai) dapat dibuat secara otomatis pada ArcGIS 9.2, namun daerah tangkapan untuk suatu lokasi yang sempit yang dibatasi oleh aliran eksisting dan aliran prediksi harus dilakukan secara manual. Tidak semua air permukaan pada DAS tersebut akan masuk ke Semarang Tengah. Daerah tangkapan untuk kawasan yang diapit oleh Kanal Barat dan Kanal Timur adalah daerah yang dibatasi oleh banjir Kanal Timur dan titik potong antara model *stream line* dan aliran kanal eksisting. Sebelum tertampung

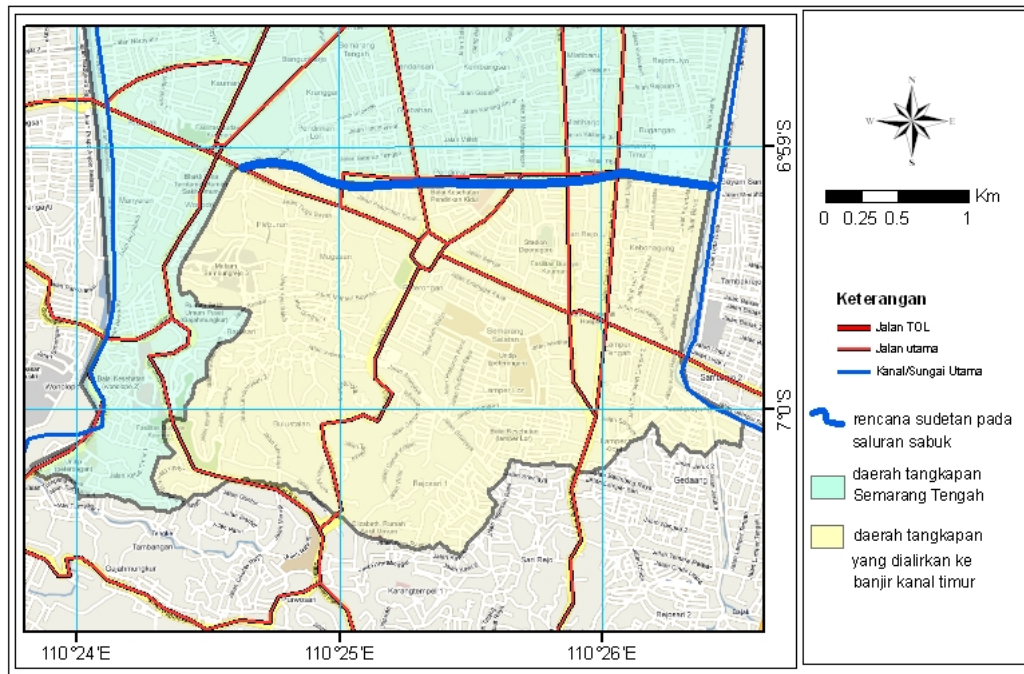
di muara sungai, sebagian air sungai atau air permukaan telah tertangkap oleh Kanal Barat dan Kanal Timur, sehingga air yang akan melewati atau menggenangi Semarang bagian tengah adalah sisa dari tangkapan tersebut.



Gambar 4.20 Peta sub das Semarang tengah

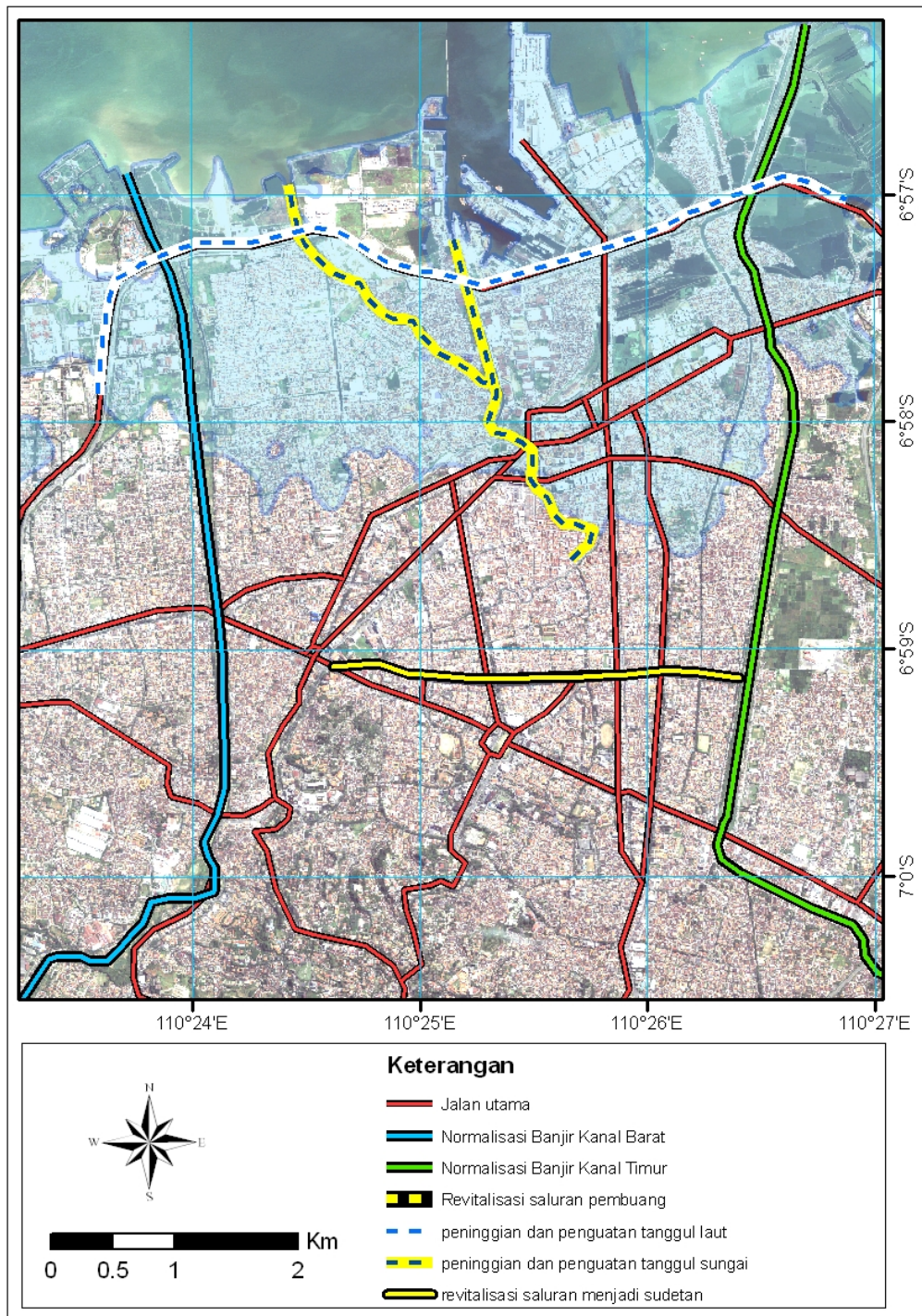
Luas daerah tangkapan untuk wilayah yang dibatasi oleh banjir Kanal Barat dan timur, seperti ditampilkan pada Gambar 4.20, adalah 2.562 hektar. Dengan menggunakan data curah hujan ekstrim pada satu hari dalam bulan Desember 2009 yang dipublikasikan oleh BMKG Semarang, yaitu: sebesar 75 mm, maka didapatkan debit hujan sebesar $1.921.500 \text{ m}^3$. Bila tanpa pengaliran air hujan ke laut, maka dibutuhkan kolam atau *long storage* sedalam 2 meter dengan luas sekitar 100 hektar. Volume genangan yang dikontribusi oleh *run off* akan semakin besar bila menggunakan debit banjir per 25 tahunan atau 100 tahunan. Bila data yang digunakan adalah debit banjir 25 tahunan sebesar 165 mm

per hari [Suripin, 2000], maka diperkirakan akumulasi air hujan di pusat kota akan mencapai sekitar 4.227.300 m³.



Gambar 4.21 Identifikasi titik akhir sudetan Tugu Muda – Kanal Timur

Volume air hujan yang tertampung dalam sub das Semarang Tengah dapat direduksi dengan membuat sudetan. Lokasi sudetan yang paling memungkinkan adalah dengan mengoptimalkan saluran sabuk yang memotong dari Tugu Muda menuju Kanal Timur, seperti disketsakan oleh Gambar 4.21. Meskipun kondisi eksisting saluran relatif kecil, namun saluran tersebut masih dapat diperluas dengan memanfaatkan tanah negara yang saat ini difungsikan sebagai jalur hijau tersebut. Bila melihat pada posisinya di peta, sudetan dari arah Tugu Muda ke arah Kanal Timur dan Kanal Barat seharusnya dapat mereduksi beban volume air hujan hingga 30%.



Gambar 4.22 Usulan penanggulangan rob Kota Semarang

Penanganan banjir pasang surut Semarang bersinergi dengan perencanaan drainase Kota. Pada Gambar 4.22 ditampilkan usulan untuk menanggulangi rob di Kota Semarang yang meliputi pembuatan membuat sudetan baru, penanggulan laut, penanggulan sungai (*long storage*) dan pembuatan pintu air.

4.2.6 Arahan penanggulangan rob untuk RTRW Semarang 2010-2030

Rencana Tata Ruang Wilayah merupakan pedoman bagi Kota Semarang dalam melaksanakan pembangunan secara fisik. Aktivitas pembangunan dan perencanaan kota harus disesuaikan dengan yang telah ditetapkan di dalam RTRW Kota Semarang, yang secara detail dijabarkan dalam RDTR Kota Semarang.

Kota Semarang bagian bawah dapat dipastikan akan selalu terendam banjir di setiap tahunnya, baik saat musim hujan maupun saat laut pasang. Hampir setiap tahunnya beberapa fasilitas umum dan jalan raya di Kota Semarang tergenang air dan tidak dapat berfungsi secara optimal. Stasiun Kereta Api Tawang sebagai transit utara bagi jalur kereta api di sisi utara sudah sejak lama bermasalah dengan rob. Demikian pula halnya dengan prasarana perhubungan lainnya, seperti Stasiun Poncol, Bandara Ahmad Yani, Terminal Terboyo, bahkan Pelabuhan Tanjung Mas pun tidak pernah benar-benar bebas dari banjir akibat hujan maupun pasang surut. Banjir yang terjadi di kawasan pelabuhan dan stasiun kereta api merupakan hambatan tersendiri bagi perkembangan kota.

Pemerintah Kota Semarang sebenarnya telah melakukan berbagai upaya penanganan permasalahan tersebut, namun dari tahun ke tahun banjir masih saja menjadi masalah klasik yang tak kunjung tuntas. Peristiwa banjir di Kota Semarang bila dikaji lebih jauh diantaranya disebabkan oleh :

1. Penurunan permukaan tanah
2. Kondisi drainase kota yang buruk, baik yang disebabkan oleh kerusakan fisik maupun turunnya fungsionalitasnya yang diakibatkan sedimentasi dan sampah
3. Tidak adanya arahan yang jelas tentang penanggulangan banjir dalam RTRW
4. Semakin luasnya lahan pemukiman di daerah Semarang bagian atas yang berakibat berkurangnya daerah resapan air

Beberapa langkah penanggulangan yang pernah ditempuh Pemerintah Kota Semarang untuk mengatasi banjir, antara lain:

1. Normalisasi dan pengerukan sedimen sungai-sungai utama
2. Instalasi pompa air di beberapa lokasi untuk memperlancar aliran air,
3. Pembuatan embung-embung penampung air di beberapa lokasi
4. Pembuatan Waduk Jatibarang dan Polder Tawang;
5. Penyusunan Master plan drainase Kota Semarang pada Tahun 2007.

Inisiatif tersebut hingga kini masih belum dapat menyelesaikan permasalahan banjir, bahkan jangkauan banjir justru terlihat semakin meluas dan frekuensinya pun makin meningkat.

Penanganan banjir di Kota Semarang membutuhkan biaya yang sangat besar, baik untuk kegiatan pembangunan maupun pemeliharaan. Pembiayaan

prasarana drainase kota tentu akan berasal dari masyarakat juga melalui pembayaran pajak. Pada daerah Semarang bawah yang menikmati fasilitas “bebas banjir”, masyarakatnya berkewajiban untuk membayar pajak lebih tinggi. Kebijakan tersebut tentu saja memberatkan bagi masyarakat ekonomi lemah yang berasal dari golongan pekerja.

Proses “seleksi alam” akibat banjir rob sebenarnya sudah terlihat selama bertahun-tahun. Di kawasan Tanah Mas, pemukim yang tidak dapat menaikkan elevasi bangunan dan pekarangannya akan memilih untuk pindah. Hal yang sama juga berlaku bagi warga yang tidak sanggup membayar sumbangan bulanan untuk pengoperasian pompa atau *maintenance* jalan dan saluran. Di sektor perdagangan dan jasa, banjir rob secara perlahan telah mereduksi geliat ekonomi di Semarang bawah yang ditandai dengan banyak toko, ruko, atau pabrik yang tidak beroperasi.



Gambar 4.23 Rumah pompa di Kawasan Tanah Mas yang beroperasi setiap hari dan membutuhkan biaya pemeliharaan yang cukup besar

Untuk menyasati tingginya biaya akibat rob dan penanggulangnya, maka diperlukan penataan ruang yang tepat. Kota Semarang bagian bawah yang selalu menjadi langganan banjir sebaiknya dialokasikan sebagai kawasan industri, perdagangan dan jasa, serta pemukiman elit saja. Konsep tersebut tentu saja hanya dapat dijalankan bila masalah banjir telah terselesaikan dengan tuntas.

BAB V

P E N U T U P

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan Sistem Informasi Geografik disimpulkan bahwa:

- 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-up date* pada Peta Topografi Tahun 2000.
- 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.
- Alokasi ruang kota Semarang yang dituangkan dalam RTRW 2000-2010 tidak memberikan arahan yang tepat tentangantisipasi 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.

- 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.
- 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.
- 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

- 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.
- Perlu penelitian lebih lanjut yang melibatkan hitungan debit banjir secara detail dan prediksi komponen pasut yang teliti untuk mendapatkan peta genangan rob yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Aronoff, Stan. 1991. *Geographic Information System: Management Perspective*. WDL Publication. Ottawa
- Bappeda Kota Semarang, 2007. *Laporan Akhir Pekerjaan Masterplan Drainase Kota Semarang*. Semarang.
- Bappeda Kota Semarang dan Lemlit Undip, 2009. *Studi kebijakan pembangunan dan kontribusinya pada perubahan tata ruang Kota Semarang*. Semarang
- Haining, Robert. 2004. *Spatial Data analyst: Teory and Practice*. Cambridge University Press. Cambridge
- Klein,R.J.T. and R.J. Nicholls, 1999. *Assesment of Coastal Vulnerability to Climate Change*. *Ambio*, 28 (2), 182-187
- Kodoatie, Robert J, Nur Yuwono, Ramli Djohan, Asman Sembiring, Andi Sudirman, 2007. *Pengelolaan Pantai Terpadu*. Penerbit Andi. Semarang.
- Kodoatie, Robert J, dan Rustam Syarif, 2004. *Pengelolaan Sumber Daya Air Terpadu*. Penerbit Andi. Yogyakarta.
- Marfai, M. A. and L. King. 2007, *Monitoring Land Subsidence in Semarang Indonesia*, *Environ Geol* (2007) 53 : 651 - 659
- Malczewski, Jacek. 1999. *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. John Willey & Sons. New York
- Prasetyo, Yudho. 2009. *Aplikasi PS INSAR untuk studi pengurunan muka tanah di Kota Semarang*. FIT ISI. Semarang

- Republik Indonesia, 2004. *Undang-undang No. 7 Tahun 2007 tentang Sumber Daya Air*, Sekretariat Negara, Jakarta.
- Republik Indonesia, 2007. *Undang-undang No. 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang*, Sekretariat Negara, Jakarta.
- Sosrodarsono, Suyono; Masayoshi Takasaki, 1997, *Pengukuran Topografi dan Teknik Pemetaan*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta
- Suripin, 2006, *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*, Penerbit Andi, Jogjakarta
- Triatmodjo, Bambang., 1999. *Teknik Pantai*, Bea Offset, Yogyakarta
- Undip, 2004, *Kajian Teknik Reklamasi Kawasan Pantai Kota Semarang dan Kabupaten Kendal*, Jurusan Teknik Sipil Undip, Semarang
- Wibowo, D. A. 2006. *Analisis Spasial Daerah Rawan Genangan Akibat Kenaikan Pasang Surut (Rob) di Kota Semarang*. Program Pasca Sarjana, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Wheeler, Stephen. 2004. *Planing for sustainability*. Routledge. New York
- Wirasatriya A. 2005. *Kajian Kenaikan Muka Laut Sebagai Landasan Penanggulangan Rob di Pesisir Kota Semarang*. Program Pasca Sarjana, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Wirjomartono, Sri Hardjoko, dkk, 2004, *Revitalisasi Pesisir Utara Pulau Jawa sebagai Model Pembangunan Wilayah Pesisir Indonesia*
- Wolf, Paul R., 2000. *Element of Photogrammetry with Application in GIS*. McGraw Hill. New York

Yuwono, Nur. dan Robert J Kodoatie, 2004, *Pedoman Pengembangan Reklamasi Pantai Dan Perencanaan Bangunan Pengamanannya*, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (Departemen Pekerjaan Umum), Jakarta.