

**KAJIAN KENAIKAN MUKA LAUT SEBAGAI LANDASAN
PENANGGULANGAN ROB DI PESISIR KOTA SEMARANG**

T E S I S

**Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Guna Mencapai Derajat Magister (S-2)**

Program Studi Magister Manajemen Sumber Daya Pantai



Oleh :

Anindya Wirasatriya

K4A002004

**PROGRAM PASCA SARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**

2005

**KAJIAN KENAIKAN MUKA LAUT SEBAGAI LANDASAN
PENANGGULANGAN ROB DI PESISIR KOTA SEMARANG**


NAMA PENULIS : ANINDYA WIRASATRIYA
NIM : K4A002004

Tesis telah disetujui :
Tanggal : 9 September 2005

Pembimbing I


(Dr. Ir. Agus Hartoko, MSc)

Pembimbing II


(Dr. Ir. Suripin, MEng)



ii

UPT-PUSTAK-UNDIP	
No. Daft:	4294/T/MSOP/c
Tgl.	1/6/06

**KAJIAN KENAIKAN MUKA LAUT SEBAGAI LANDASAN
PENANGGULANGAN ROB DI PESISIR KOTA SEMARANG**

Dipersiapkan dan disusun oleh


NAMA PENULIS : ANINDYA WIRASATRIYA
NIM : K4A002004

Tesis telah dipertahankan di depan Tim Penguji :
Tanggal : 26 Agustus 2005


Ketua Tim Penguji,


(Dr. Ir. Agus Hartoko, MSc)

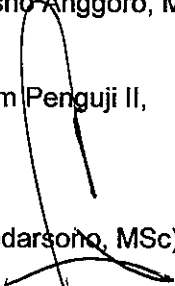
Sekretaris Tim Penguji,


(Dr. Ir. Suripin, MEng)

Anggota Tim Penguji I,


(Prof. Dr. Ir. Sutrisno Anggoro, MS)

Anggota Tim Penguji II,


(Ir. Prijadi Soedarsono, MSc)



ABSTRAK

Pemanasan global merupakan fenomena meningkatnya suhu rata-rata bumi yang menyebabkan terjadinya kenaikan muka laut yang mengancam keberlangsungan daerah pesisir di seluruh dunia. Semarang sebagai salah satu kota yang memiliki wilayah pesisir di bagian utara jelas sangat terkena dampak kenaikan muka laut tersebut. Adanya kenaikan muka laut tersebut juga diperparah dengan terjadinya penurunan muka tanah di Semarang sehingga dalam kurun waktu ± 25 tahun terakhir, kawasan pesisir Semarang sering terjadi banjir rob saat air laut pasang akibat dari naiknya muka air laut tersebut yang menggenangi daerah-daerah yang lebih rendah dari muka air laut saat pasang tertinggi (HWL). Kenaikan muka laut yang diduga menjadi salah satu penyebab banjir rob di Semarang merupakan suatu permasalahan yang sangat sulit untuk dipecahkan. Sampai sekarangpun angka pasti mengenai kenaikan muka laut di Semarang masih belum jelas karena dari beberapa penelitian ternyata menunjukkan hasil yang berbeda-beda. Adanya kesimpangsiuran data tersebut diduga karena data time series pasang surut yang digunakan untuk menentukan kenaikan muka laut di Semarang tersebut hanya dalam kurun waktu yang singkat yaitu $< 18,6$ tahun. Selain itu diduga karena faktor penurunan tanah yang belum diperhitungkan dalam penghitungan kenaikan muka laut. Oleh karena masalah kenaikan muka laut yang terjadi di Semarang ini perlu diketahui penyebabnya. Apakah oleh "global warming" atau adanya penurunan tanah.

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah mengkaji komponen dan tipe pasang surut, menganalisis perkembangan kedudukan muka laut di Perairan Semarang dalam 20 tahun terakhir, mengkaji nilai kenaikan muka laut Semarang akibat pemanasan global, menganalisis nilai penurunan tanah di stasiun pasut dan mengkaji laju penurunan tanah di wilayah Semarang serta mengkaji daerah genangan rob di Semarang sehingga hasil penelitian ini diharapkan bisa menjadi dasar dalam penanggulangan rob.

Penelitian ini bersifat deskriptif dengan desain studi kasus. Data utama yang dikumpulkan pada penelitian ini antara lain data pasang surut, data penurunan muka tanah di stasiun pasut, data sebaran titik genangan rob di Semarang dan data penurunan tanah di beberapa lokasi di Semarang. Data-data tersebut kemudian dianalisa secara deskriptif, dijabarkan dalam bentuk tabel, grafik dan peta kemudian dicari keterkaitan antar data-data tersebut

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tipe pasang surut di perairan Semarang adalah campuran condong ke ganda, perkembangan kedudukan muka laut di Perairan Semarang yang tercatat di stasiun Pasut Semarang mengikuti pola liner dengan persamaan $Y = 4,8967 X - 9645,9$ ($R^2 = 0,9636$) dan laju kenaikan sebesar 5,43 cm/tahun, kenaikan muka laut global mengakibatkan kenaikan muka laut di Perairan Semarang sebesar 2,65 mm/tahun, laju penurunan tanah yang terjadi di Stasiun Pasut Semarang sebesar 5,165 cm/tahun, laju penurunan tanah di beberapa lokasi di wilayah Semarang bervariasi, dimana semakin mendekati laut semakin besar laju penurunannya dan laju penurunan terbesar adalah di kawasan Pelabuhan Tanjung Emas dengan laju penurunan mencapai 14,8 cm/tahun dan luas daerah yang tergenang rob diperkirakan sekitar 2.418 Ha, yang meliputi 4 Kecamatan dan 14 Kelurahan.

Kata-kata Kunci : kenaikan muka laut, penurunan tanah, rob, Semarang

ABSTRACT

Global warming represents the phenomena of increasing of earth mean temperature causes the rising of sea level, called "sea level rise" and threaten coastal area in all around the world. Semarang as one of the city that has coastal region in the north has to experience the impact of sea level rise . Existence of sea level rise also is worsened by land subsidence in Semarang and has caused flood at coastal area in Semarang during high tide rising for the last \pm 25 years. This flood is called "rob". Sea level rise that cause flood rob in Semarang is a problem that very difficult to be solved. Even until now, the rate of sea level rise is still unknown, because several researches shown the different results. The variation of the value of Sea Level Rise may be caused by the time series tide data that used in determining sea level rise in Semarang was only in short range. It was < 18,6 year. Beside that, the land subsidence factor has not been reckognized yet in enumeration of increase of sea level. Because of that, this is important to study sea level rise problem in Semarang generated by both global warming and land subsidence at tidal station.

The purpose of this research is to study type and component of tide, to analyse the growth of mean sea level in territorial water of Semarang for the last 20 years, to study the value of sea level rise in Semarang that caused by global warming effect, to analyse the value of land degradation in tide station, to study the value of land subsidence in Semarang and also to study the inundated area that caused by rob flood.

The character of this research is decreptive with case study desain. The main data that collected in this research is tide data, the land degradation data in tide station, data of rob location that spreaded in Semarang and data of land subsidence in some location in Semarang. Then the data are analysed descriptively, formulated in the tables, maps and graphs and also search the relation between those data.

This research found that tide type in territorial water of Semarang was mixed tide prevailing semi diurnal, growth of mean sea level in Semarang water that been noted in tide station Semarang followed linear patern with the equation was $Y = 4,8967 X - 9645,9$ ($R^2 = 0,9636$) and the rate of increasing was equal to 5,43 cm / year, the value of sea level rise in Semarang water that caused by global warming was equal to 2,65 mm / year, rate of land degradation in Semarang tide Station was equal to 5,165 cm / year, rate of land subsidence in some location in Semarang was varying, where the closer to sea the faster rate of land subsidence and the fastest rate was in Tanjung Emas Port area with the maximum rate was 14,8 cm / year and the wide area that inundated by rob flood was about 2.418 Ha, covering 4 District and 14 Sub-District.

Key Words : sea level rise, land subsidence, rob flood, Semarang

KATA PENGANTAR

Puji syukur Kehadirat Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini dengan baik.

Bersamaan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Direktur Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro.
2. Ketua Program Studi Magister Manajemen Sumber Daya Pantai Universitas Diponegoro.
3. Dr. Ir. Agus Hartoko, MSc dan Dr. Ir. Suripin, MEng, selaku dosen pembimbing atas saran, arahan dan bimbingannya, sehingga laporan ini bisa terselesaikan dengan baik
4. Prof.Dr.Ir. Sutrisno Anggoro, MS dan Ir. Prijadi Soedarsono, MSc selaku dosen penguji atas saran dan kritiknya, sehingga laporan penelitian ini menjadi lebih baik.
5. Bapak Siswantoro selaku Civil Supervisor di PT Sriboga Ratu Raya atas kesediaannya untuk bekerja sama dalam penelitian ini.
6. Bapak Sumanan, selaku staff teknik di PT PELINDO III cabang Tanjung Emas atas kerja samanya selama penelitian ini berlangsung
7. Bapak Witoyo selaku surveyor yang telah membantu dalam pelaksanaan pengukuran leveling
8. Kedua orang tua yang senantiasa membantu, memberi semangat dan mendoakan penulis dalam penyelesaian tesis ini.
9. Cintya Safitri, si Kura-kura kecilku yang menjadi semangat dalam pelaksanaan penelitian ini.
10. Kedua saudaraku, Oktana Wahyu Perdana dan Triyoga Agung Wibowo

atas doa dan bantuannya.

11. Keluarga Abah Saiful Anwar atas doanya.
12. Teman-teman MSDP UNDIP angkatan 2002 terutama Mas Andin, Mbak Lilik, Pak Slamet dan Mas Ari atas kekompakannya selama ini
13. Teman-teman Staff Pengajar Ilmu Kelautan UNDIP serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari pembaca sekalian.

Akhir kata semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi penanggulangan rob yang terjadi di Semarang.

Semarang, Agustus 2005

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL -----	i
LEMBAR PENGESAHAN -----	ii
ABSTRAK -----	iv
ABSTRACT -----	v
KATA PENGANTAR -----	vi
DAFTAR ISI -----	vii
DAFTAR GAMBAR -----	x
DAFTAR TABEL -----	xi
DAFTAR LAMPIRAN -----	xii
I. PENDAHULUAN -----	1
1.1. Latar Belakang -----	1
1.2. Masalah Penelitian -----	3
1.3. Pendekatan Masalah -----	4
1.4. Tujuan Penelitian -----	5
1.5. Kegunaan Penelitian -----	5
1.6. Waktu dan Tempat Penelitian -----	5
II. TINJAUAN PUSTAKA -----	7
2.1. Pasang -----	7
2.1.1. Pengertian Pasang -----	7
2.1.2. Tenaga Pembangkit Pasang -----	8
2.1.3. Faktor-faktor Alam Yang Mempengaruhi Pasang Surut -----	10
2.1.4. Tipe Pasang -----	10
2.1.5. Komponen Harmonik Pasang -----	11

2.2. Kenaikan Muka Laut-----	13
2.2.1. Pengertian Muka Air Laut-----	13
2.2.2. Faktor Penyebab Kenaikan Muka Laut-----	14
2.2.3. Dampak Kenaikan Muka Laut-----	23
2.2.4. Pengukuran Kenaikan Muka laut-----	25
2.2.5. Pengukuran Kedudukan Muka Tanah-----	27
2.3. Banjir Rob-----	29
2.3.1. Pengertian-----	29
2.3.2. Banjir Rob di Semarang-----	30
III. METODE PENELITIAN	
3.1. Materi Penelitian-----	34
3.2. Metode-----	34
3.3. Pelaksanaan Penelitian-----	35
3.3.1. Pengumpulan Data-----	35
3.3.2. Analisis Data-----	43
3.4. Jadwal Penelitian-----	52
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN-----	53
4.1. Hasil-----	53
4.1.1. Pasang Surut-----	53
4.1.2. Perkembangan Muka Air Laut Rata-rata (MSL) di Perairan Semarang-----	53
4.1.3. Penurunan Tanah di Wilayah Semarang-----	59
4.1.4. Kenaikan Muka Laut Akibat Global Warming-----	71
4.1.5. Sebaran Titik Genangan Rob di Wilayah Semarang-----	72
4.2. Pembahasan-----	75
4.2.1. Pasang Surut-----	75

4.2.2. Perkembangan Rerata Muka Air Laut Semarang -----	76
4.2.3. Kenaikan Muka Air Laut Global -----	77
4.2.4. Penurunan Tanah di Lokasi Stasiun Pasut -----	83
4.2.5. Koreksi Terhadap Data Pelindo III Cabang Tanjung Emas	85
4.2.6. Penurunan Tanah di Wilayah Semarang -----	88
4.2.7. Daerah Genangan Rob di Semarang -----	93
4.2.8. Faktor Lain Penyebab Rob di Semarang -----	94
4.2.9. Usaha Penanggulangan Rob di Semarang -----	98
 V. KESIMPULAN DAN SARAN -----	 102
5.1. Kesimpulan -----	102
5.2. Saran -----	103
 DAFTAR PUSTAKA -----	 105
LAMPIRAN-LAMPIRAN -----	109

DAFTAR GAMBAR

No	Halaman
1. Skema Pendekatan Masalah -----	6
2. peningkatan Konsentrasi gas CO ₂ di Bumi Tahun 1994-2000-----	16
3. Kenaikan Suhu Global-----	17
4. Hubungan Konsentrasi Gas CO ₂ dengan Kenaikan Suhu Global-----	17
5. Proyeksi Kenaikan Muka Air Laut Terendah, Menengah dan Tertinggi dalam Kurun waktu 100 Tahun -----	18
6. Skema Alat Pengukur Muka Laut Otomatis -----	26
7. Posisi Alat Pengukuran Water Pas -----	27
8. Rangkaian Sipat Datar Memanjang -----	28
9. Peta Sebaran Rob di Semarang -----	30
10. Posisi Ketinggian Stasiun Pasut pada Bulan Mei 1985 -----	39
11. Lokasi Penelitian di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang-----	40
12. Denah Lokasi PT Sriboga Ratu Raya -----	41
13. Skema Analisa Pasut Metode Admiralty-----	44
14. Grafik MSL Bulanan Perairan Semarang Bulan Mei 1985-Mei 2005 ---	56
15. Grafik MSL Tahunan Perairan Semarang tahun 1982-2004-----	56
16. Grafik MSL Bulanan Perairan Semarang Mei 1985-Desember 1997---	57
17. Grafik MSL Tahunan Perairan Semarang 1983-1997 -----	58
18. Peta Kontur Penurunan Tanah di Semarang -----	67
19. Hasil Perhitungan Elevasi BM DTK 340 – BM 6 Pelabuhan -----	68
20. Hasil Perhitungan Elevasi BM 1 SPP II-1, BM Pasut dan BM Jembatan Sriboga Ratu Raya -----	69
21. Diagram Perhitungan Elevasi Beberapa Titik di Semarang 1999-2005	70
22. Daerah Genangan Rob di Semarang -----	74

DAFTAR TABEL

No	Halaman
1. Komponen Harmonik Pasut-----	12
2. Peralatan Penelitian-----	34
3. Perhitungan Pasang Surut Perairan Semarang Periode September 2004-Januari 2005 dengan Metode Admiralty 29 hari-----	53
4. MSL Bulanan di Perairan Semarang Bulan Mei 1985-Mei 2005 -----	54
5. MSL Tahunan di Perairan Semarang Tahun 1982-2004-----	55
6. Kenaikan Muka Air Laut Pertahun di Perairan Semarang -----	59
7. Rekapitulasi Data Ketinggian (dalam m dari MSL) di Wilayah Semarang	63
8. Rekapitulasi Nilai Penurunan Tanah di Semarang -----	65
9. Hasil Pengukuran Beda Tinggi dan Toleransi Ukuran Beda Tinggi-----	68
10. Perbedaan Elevasi BM 1 SPP II-1 dari Beberapa Sumber-----	71
11. Titik-titik Genangan Rob di Semarang -----	72

DAFTAR LAMPIRAN

No	Halaman
1. AwLR di Pelabuhan Tanjung Mas Semarang -----	109
2. BM baru di Work Shop TPKS Pelabuhan Tanjung Mas -----	110
3. GPS yang digunakan dalam penelitian -----	111
4. Perubahan Rata-rata Temperatur Global -----	112
5. Variasi Muka Air Laut Rata-rata di Belahan Bumi Utara dan Selatan ----	113
6. Trend Kenaikan Muka Air Laut Berdasarkan Data Altimeter TOPEX ----	114
7. Hubungan antara Kenaikan Muka Laut Global dengan Kenaikan Suhu Permukaan Laut Global -----	115
8. Trend Kenaikan Muka Laut Berdasarkan Kombinasi Data Satelit Altimeter	116
9. Sebaran Perubahan Nilai MSL di Asia Bagian Timur Tahun 1951-1991	117
10. Grafik Perubahan Nilai MSL di Beberapa Lokasi di Asia bagian timur-	118
11. Sebaran Nilai Perubahan MSL di Indonesia Tahun 1925-1931-----	119
12. Proyeksi Perubahan Suhu dan Permukaan Laut rata-rata di Indonesia Dibandingkan dengan Tahun 1990-----	120
13. Grafik Penurunan Bulanan di Beberapa Titik di Area PT Sriboga -----	121
14. Stratifikasi Sifat Di Wilayah Semarang dan Pelabuhan -----	122
15. Perubahan Luas Rawa Tambak di Kec. Semarang Utara-----	123
16. Perubahan Luas Rawa Tambak Bakau di Kec. Semarang Utara -----	124
17. Perkembangan Volume Reklamasi di Kec. Semarang Utara-----	125
18. Pengurangan di Jl Arteri yang Menyebabkan Meluapnya Air Rob ke Jalan Raya-----	126
19. Grafik Tinggi Muka air Rob di Kali Semarang -----	127
20. Area Rawa Tambak di Kec. Genuk (Diarsir)-----	128

21. Area Rawa Tambak di Kec. Tugu (diarsir) -----	129
22. Kapasitas Tampung Rawa Tambak Di Kec Tugu dan Genuk-----	130
23. Kondisi beberapa Sungai di Semarang yang Tersumbat Sampah-----	131
24. Grafik Penimbunan VS Land Subsidence-----	132
25. Grafik Pengurangan Air Bawah Tanah VS Land Subsidence -----	133
26. Pengambilan Air bawah Tanah di Semarang-----	134
27. Prediksi Elevasi Pesisir Semarang-----	135
28. Peta Sebaran Rob di Semarang-----	137
29. Elevasi Beberapa Kelurahan di Semarang-----	138
30. Genangan Rob di Jl. Kaligawe-----	139
31. Genangan Rob di Terminal Terboyo -----	140
32. Genangan Rob di Jl Raden Patah -----	141
33. Genangan Rob di Jl Citarum dan Jl Senjoyo -----	142
34. Genangan Rob di Johar -----	143
35. Genangan Rob di Jl Ronggowarsito dan Jl Mpu Tantular-----	144
36. Genangan Rob di Pelabuhan Tanjung Mas-----	145
37. Genangan Rob di Bandar Harjo -----	146
38. Genangan Rob di Tanah Mas dan Jl Hasanudin -----	147
39. Genangan Rob di Perumahan Indraprasta-----	148
40. Genangan Rob di Jl Arteri dan Jl Madukoro-----	150
41. Genangan Rob di Kompleks PRPP-----	151
42. Foto Kegiatan leveling -----	152
43. Contoh Grafik Pasut Harian Perairan Semarang -----	153
44. Contoh Grafik Pasang Sûrut Bulanan Perairan Semarang-----	154
45. Analisis Statistik dengan Menggunakan SPSS 10.0 terhadap Perkembangan Kedudukan Muka Laut Rata-rata Semarang-----	155

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Wilayah pesisir adalah daerah pertemuan antara darat dan laut. Ke arah darat wilayah pesisir meliputi bagian daratan, baik kering maupun terendam air, yang masih dipengaruhi oleh sifat-sifat laut seperti pasang surut, angin laut dan perembesan air asin. Sedangkan ke arah laut, wilayah pesisir mencakup bagian laut yang masih dipengaruhi oleh proses alami yang terjadi di darat seperti sedimentasi, dan aliran air tawar maupun yang disebabkan karena kegiatan manusia di darat seperti penggundulan hutan dan pencemaran (Supriharyono, 2002). Karena itu wilayah pesisir sangat rentan terhadap tekanan lingkungan baik yang berasal dari darat maupun dari laut. Salah satu tekanan yang akhir-akhir ini mengancam keberlangsungan wilayah pesisir di seluruh belahan dunia adalah adanya kenaikan muka air laut.

Secara umum, kenaikan muka air laut merupakan dampak dari pemanasan global (global warming) yang melanda seluruh belahan bumi ini. Pemanasan global pada dasarnya merupakan suatu perubahan fenomena iklim global yaitu dengan peningkatan temperatur rata-rata permukaan bumi dari tahun ke tahun. Berdasarkan laporan IPCC (International Panel On Climate Change) bahwa rata-rata suhu permukaan global meningkat 0,3 - 0,6 °C sejak akhir abad 19 dan sampai tahun 2100 suhu bumi diperkirakan akan naik sekitar 1,4 - 5,8°C (Dahuri, 2002 dan Bratasida, 2002). Menurut Mustain (2002) pemanasan global tersebut disebabkan oleh adanya efek rumah kaca dan menipisnya lapisan ozon di atmosfer bumi. Naiknya suhu permukaan global menyebabkan mencairnya es di kutub utara dan selatan bumi sehingga terjadilah kenaikan muka laut (Sea Level Rise). Diperkirakan dari tahun 1999-

2100 mendatang kenaikan muka air laut sekitar 1,4-5,8 m (IPCC dalam Dahuri, 2002). Sedangkan menurut situs National Climatic Data Center (<http://lwf.ncdc.noaa.gov>, April 2005) kenaikan muka laut dalam 100 tahun terakhir ini mencapai 1-2 mm/ tahun, dan dari tahun 1990 sampai tahun 2100 kenaikan muka laut diperkirakan mencapai 0,09-0,88 m.

Kota Semarang sebagai salah satu metropolitan yang memiliki wilayah pesisir di bagian utara dengan garis pantai sepanjang \pm 13 km jelas sangat terkena dampak kenaikan muka laut tersebut. Adanya kenaikan muka laut tersebut juga diperparah dengan terjadinya penurunan muka tanah di Semarang. Penurunan tanah tersebut terjadi akibat peristiwa konsolidasi (pemampatan) dan pengambilan air bawah tanah yang berlebihan yaitu mencapai $35,639 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{tahun}$ (Dinas Geologi dan Tata Lingkungan, 1999 dalam Sarbidi, 2002). Daerah pesisir Semarang merupakan daerah dengan lapisan tanah muda yang lunak sehingga masih terus mengalami pemampatan (BAPPEDA Semarang, 2000 dan Sarbidi, 2002). Lebih lanjut menurut Sarbidi (2002) penurunan muka tanah di wilayah pantai Semarang mencapai 2 - 20 cm / tahun.

Dalam kurun waktu \pm 25 tahun terakhir, kawasan pesisir Semarang sering terjadi banjir saat air laut pasang akibat dari naiknya muka air laut tersebut. Banjir yang terkenal dengan sebutan banjir rob tersebut menggenangi daerah-daerah yang lebih rendah dari muka air laut saat pasang tertinggi (HWL). Menurut Sarbidi (2002) kedalaman air akibat banjir rob bisa mencapai 20-60 cm dengan luas genangan diperkirakan mencapai $32,6 \text{ km}^2$.

Adanya banjir rob ini jelas mengganggu aktivitas manusia yang menghuni kawasan pesisir Semarang, mengingat menurut Sarbidi (2002) pada kawasan ini banyak dimanfaatkan untuk kegiatan pemukiman, pelabuhan, industri, pariwisata,

maupun pertanian dan perikanan. Lebih lanjut Sutarip (2002) menyatakan bahwa dampak terjadinya banjir rob bagi masyarakat dan lingkungan kota Semarang antara lain :

- Mengganggu aktivitas perekonomian kota
- Merusak infrastruktur kota (jalan raya, rel kereta api, jaringan drainase, jaringan kabel)
- Timbulnya penderita penyakit kulit dan diare pada masyarakat di sekitar genangan
- Rusaknya sebagian habitat di Kawasan pesisir (mangrove, terumbu karang, perikanan tambak)

1.2. Masalah Penelitian

Kenaikan muka laut yang diduga menjadi salah satu penyebab banjir rob di Semarang merupakan suatu permasalahan yang sangat sulit untuk dipecahkan. Sampai sekarangpun angka pasti mengenai kenaikan muka laut di Semarang masih belum jelas karena dari beberapa penelitian ternyata menunjukkan hasil yang berbeda-beda. Menurut Wirakusumah dan Lubis (2002) sejak tahun 1950 sampai tahun 2003 diduga akan terjadi kenaikan muka laut sebesar 39 cm di perairan Semarang akibat pemanasan global. Hal ini berarti kenaikan muka laut di Semarang mencapai 7,36 mm/ tahun. Menurut Tim Peneliti ITB (1990) dalam Abdurachim (2002) kenaikan muka air laut di Semarang mencapai 9,27 mm pertahun. Kemudian menurut Manurung *et al* (2002) kenaikan muka laut di Semarang mencapai 6 mm/tahun. Suripin (2002) dalam laporan penelitiannya menyatakan bahwa kenaikan muka laut di Semarang mencapai 5,01 cm / tahun. Sedangkan berdasarkan penelitian Adhitya (2003) dari mulai tahun 1991 hingga tahun 1997 muka air laut rata-rata tahunan

di Semarang mengalami kenaikan berkisar antara 1,5 – 6,7 cm. akan tetapi pada tahun berikutnya sampai tahun 2000 permukaan air laut justru mengalami penurunan sebesar 1,31- 39,9 cm.

Adanya kesimpangsiuran data tersebut diduga karena data time series pasang surut yang digunakan untuk menentukan kenaikan muka laut di Semarang tersebut hanya dalam kurun waktu yang singkat yaitu kurang dari 18,6 tahun dimana menurut Ali *et al* (1994) untuk mengamati kedudukan muka laut diperlukan periode waktu pengamatan yang panjang yaitu 18,6 tahun. Selain itu diduga karena faktor penurunan tanah yang belum diperhitungkan dalam penghitungan kenaikan muka laut. Hal ini sesuai dengan pendapat Suripin (2002) yang menduga bahwa patok tetap (Bench Mark) yang menjadi acuan pengukuran pasut (pasang surut) di Semarang mengalami penurunan seiring dengan terjadinya penurunan tanah. Karena itu pada penelitian ini, masalah kenaikan muka laut yang terjadi di Semarang ini akan dibahas secara mendalam baik yang disebabkan oleh "global warming" maupun adanya penurunan tanah di lokasi stasiun pasut sehingga hasil penelitian ini diharapkan bisa menjadi dasar dalam penanggulangan rob.

1.3. Pendekatan Masalah

Untuk memecahkan masalah tersebut, maka dilakukan suatu pendekatan dengan melihat beberapa aspek yaitu :

1. Berapakah nilai komponen-komponen pasang surut dan apa tipe pasang surut di Perairan Semarang
2. Bagaimanakah perkembangan data kedudukan muka laut rata-rata di Perairan Semarang dalam 20 tahun terakhir; berapakah nilai kenaikan muka laut Semarang akibat pemanasan global dan berapakah nilai penurunan

tanah di stasiun pasut

3. Bagaimanakah laju penurunan muka tanah di wilayah Semarang
4. Dimana saja daerah yang tergenang rob di Semarang

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah

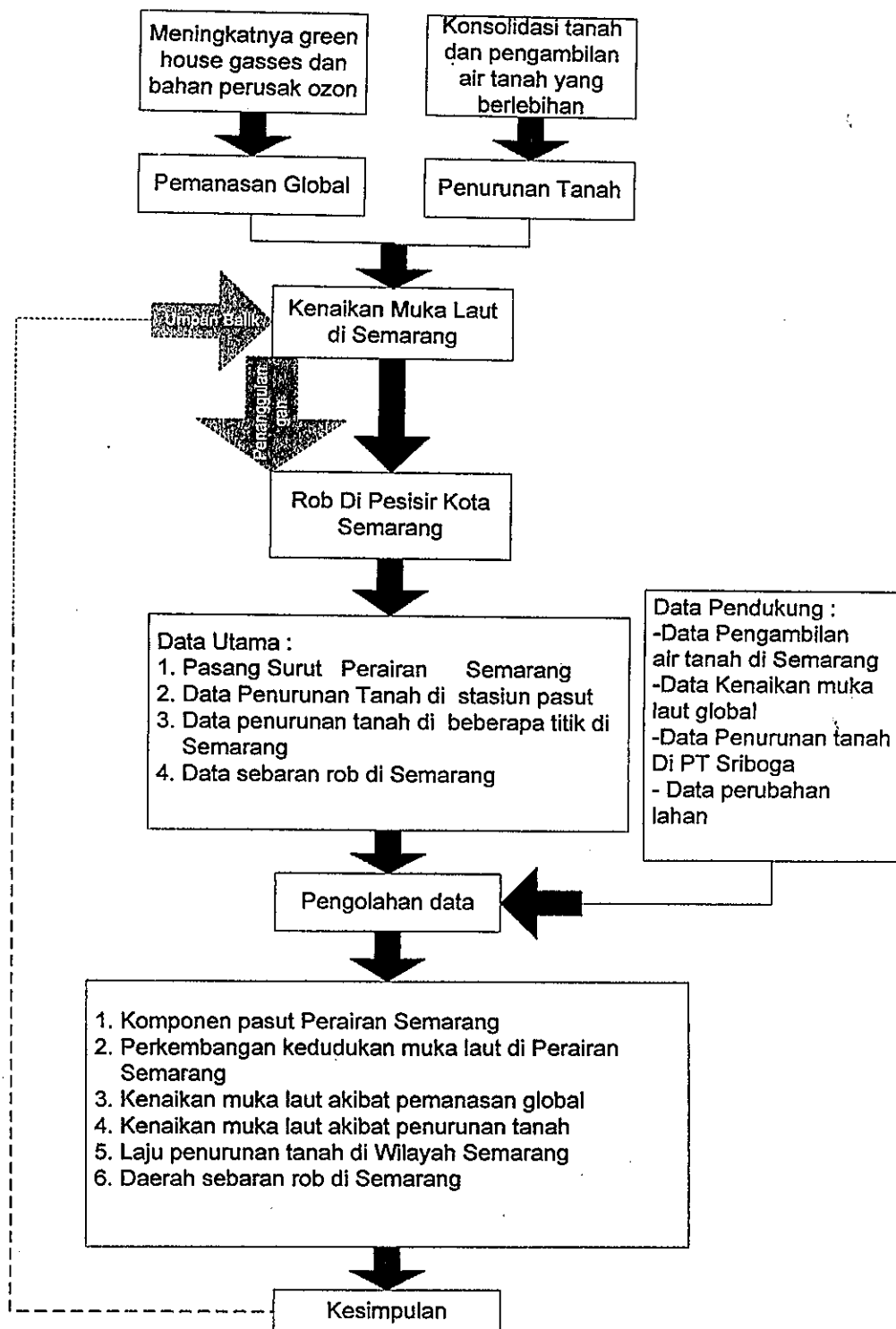
1. Mengkaji komponen dan tipe pasang surut serta menganalisis perkembangan kedudukan rerata muka laut di Perairan Semarang dalam 20 tahun terakhir
2. Mengkaji nilai kenaikan muka laut Semarang akibat pemanasan global
3. Menganalisis nilai penurunan tanah di stasiun pasut dan mengkaji laju penurunan tanah di wilayah Semarang
4. Mengkaji daerah genangan rob di Semarang

1.5. Kegunaan Penelitian

Secara ilmiah hasil penelitian ini dapat menjadi informasi terbaru mengenai kenaikan muka laut di Semarang dan bagi pemerintah kota Semarang ataupun dinas-dinas yang terkait dengan penanganan banjir rob kota Semarang hasil penelitian ini merupakan suatu informasi yang akurat, aktual dan bermanfaat dalam upaya penanggulangan rob.

1.6. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan Februari-Juli 2005 di Pesisir Semarang.



Gambar 1. Skema Pendekatan Masalah

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pasang

2.1.1. Pengertian Pasang

Permukaan laut dari waktu ke waktu, walaupun angin atau topan tidak ada, selalu bergerak ke bawah dan ke atas secara berkala. Gerakan vertikal ini juga disertai gerakan horizontal secara berkala pula. Fenomena ini dikenal sebagai pasang atau pasang surut (Sidjabat, 1973). Sedangkan menurut Ali *et al* (1994) gejala pasang surut merupakan gejala naik turunnya permukaan air laut secara teratur.

Pasang merupakan suatu gelombang yang frekwensinya rendah dan pada umumnya frekwensi ini lebih kecil dari 2 kali sehari. Gerakan pasang di laut ditimbulkan oleh adanya gaya tarik menarik dari benda-benda angkasa seperti matahari dan bulan terhadap massa air di bumi. Gerakan ini juga dipengaruhi oleh rotasi bumi sendiri serta letak pulau dan benua. Tinggi rendahnya gerakan pasang di bumi terutama ditentukan jarak atau letak ke dua benda tadi terhadap bumi (Sidjabat, 1973). Menurut Hutabarat dan Evans (1987) Gaya ini lebih kuat di daerah-daerah yang letaknya lebih dekat dengan bulan sehingga gaya yang terbesar terdapat pada bagian bumi yang terdekat dengan bulan dan gaya yang paling lemah terdapat pada bagian bumi yang letaknya paling jauh dari bulan.

Sedangkan menurut Ilahude (1999) gerakan pasang surut ini akan ditentukan oleh faktor-faktor keadaan sebagai berikut:

1. Edaran bulan (moon revolution) menurut orbit ekliptik sekeliling bumi dalam jangka $29\frac{1}{2}$ hari.

2. Edaran bumi (earth revolution) menurut orbit ekliptik sekeliling matahari dalam jangka 365 1/4 hari.
3. Putaran bumi (earth rotation) pada sumbunya dalam jangka 24 jam atau satu hari

Kita ketahui bahwa ketiga jenis gerakan dari ketiga benda angkasa ini terjadi secara serentak. Apabila gerakan-gerakan tersebut berlangsung pada bidang khatulistiwa bumi yang diperluas, maka peristiwa pasang surut akan tidak sekompleks seperti sekarang ini, dan ramalan-ramalannya pun menjadi lebih sederhana. Akan tetapi karena sumbu bumi membentuk sudut $66,5^{\circ}$ dengan ekliptik (bidang lintasannya mengelilingi matahari) sedangkan bidang orbit bulan membentuk sudut $\pm 5^{\circ}$ dengan ekliptik, maka peristiwa pasang surut menjadi benar-benar kompleks. Keadaan yang pertama menyebabkan deklinasi matahari berubah-ubah pada posisi $23,5^{\circ}$ LU sampai $23,5^{\circ}$ LS, yaitu saat matahari tepat di atas kepala di garis balik utara pada tengah hari, pada musim panas utara (21 Juni) sampai saat keadaan yang sama dialami atau terjadi pada garis balik selatan pada musim dingin utara (21 Desember). Dan karena orbit bulan membentuk 5° dengan ekliptik, maka ada saat-saat tertentu deklinasi bulan terhadap bumi mencapai maksimum $28,5^{\circ}$ U ataupun S. Keadaan ini akan terjadi secara periodik setiap 18,6 tahun sekali yang dikenal oleh orang-orang Yunani purba sebagai saros atau metonik.

2.1.2. Tenaga Pembangkit Pasang

Menurut Sidjabat (1973) untuk melihat proses pembentukan pasang ini, pertama-tama kita ambil suatu sistem bulan-bumi saja (matahari untuk sementara diabaikan). Pada sistem ini bumi dianggap tidak berputar pada porosnya, tetapi bulan tetap mengadakan revolusi terhadap bumi. Anggapan

selanjutnya, permukaan bumi datar dan ditutupi lapisan air yang cukup tebal (dalam) Sistem bulan-bumi seperti ini akan mempunyai suatu sumbu bersama (common axis) terhadap mana bulan dan bumi berrevolusi.

Menurut Hukum gravitasi Newton, gaya tarik antara bulan dan bumi dari sistem ini diberikan oleh (Sidjabat, 1973):

$$F = \frac{Gm_e m_m}{r^2}$$

dimana : F : gaya tarik

G : Konstanta gravitasi

M_e : Massa bumi

M_m : Massa bulan

r : jarak antara bumi dan bulan

Tetapi karena bumi dan bulan selalu berada dalam keseimbangan gaya, nyatanya bulan dan bumi tidak bertubrukan, maka pastilah ada gaya lain yang mengimbangi gaya tarik tadi. Gaya ini ialah gaya sentrifugal yang timbul dari revolusi bumi dan bulan terhadap sumbu bersama tadi.

Secara keseluruhan, resultante gaya pada sistem bumi-bulan ini sama dengan nol. Namun demikian tiap individu partikel yang ada di permukaan bumi mengalami gaya yang berbeda-beda karena posisi titik yang berbeda-beda terhadap bulan. Titik-titik yang lebih dekat ke bulan akan mengalami gaya tarik lebih besar. Demikian pula halnya dengan gaya sentrifugal yang dialami titik pada permukaan bumi akan berbeda-beda walaupun perbedaan ini tidak sebesar perbedaan gaya tarik tadi. Akibatnya resultante gaya-gaya ini berbeda-beda pada tiap titik di bumi. Gaya ini dikenal sebagai gaya pembangkit pasang (tide generating forces).

2.1.3. Faktor-faktor Alam yang Mempengaruhi Pasang Surut

Pasang di laut lebih kompleks dari pasang model yang ideal di laut. Pengaruh dasar, letak pulau serta pengaruh gaya Coriolis mempunyai peranan penting terhadap pasang.

- Dasar perairan, terutama pada perairan yang dangkal memperlambat perambatan gerakan pasang, sehingga suatu tempat dapat mempunyai interval pasang yang besar. Tahanan dasar dapat juga meredam energi pasang sehingga di perairan tertentu pasang sangat kecil sekali
- Pantai atau pulau dapat menyebabkan pematahan (refraksi) atau pemantulan (refleksi) gelombang pasang. Demikian pula gaya Coriolis dapat merubah perambatan pasang.

Karena faktor-faktor tersebut, keadaan pasang di dunia sangat berbeda satu sama lain. Akibat adanya fenomena peredaman, pematahan dan pemantulan, komponen pasang mengalami perubahan-perubahan yang tidak sama. Oleh karena itu di bumi ini terdapat berbagai macam tipe pasang sedangkan pasang di Indonesia terbagi menjadi 4 tipe.

2.1.4. Tipe Pasang

Menurut Djaja (1989) dalam Ongkosongo dan Suyarso (1989) mengatakan bahwa dilihat dari pola pergerakan muka air lautnya, pasang di Indonesia di bagi menjadi 4 tipe yaitu :

1. Pasang harian tunggal (diurnal tide)

Pada pasang jenis ini hanya terjadi satu kali pasang dan satu kali surut yang besarnya kurang lebih hampir sama. Contoh perairan Indonesia yang mengalami pasang jenis ini adalah perairan di sekitar Selat Karimata dan perairan antara Sumatera dan Kalimantan.

2. Pasang harian ganda (semi diurnal tide)

Pada pasang harian ganda, setiap harinya terjadi dua kali pasang dan dua kali surut yang tingginya masing-masing hampir sama. Contoh perairan yang mengalami pasang jenis ini adalah perairan selat Malaka.

3. Pasang campuran yang condong ke harian ganda (mixed tide prevailing semi diurnal)

Terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dalam sehari tetapi berbeda dalam tinggi dan waktunya. Perairan yang mengalami pasang jenis ini adalah perairan di Indonesia bagian timur.

4. Pasang campuran yang condong ke harian tunggal (mixed tide prevailing diurnal)

Pada pasang jenis ini setiap harinya terjadi 1 kali pasang dan satu kali surut tetapi terkadang terjadi dua kali pasang dan surut yang berbeda dalam tinggi dan waktunya.

2.1.5. Komponen Harmonik Pasang.

Rawi (1989) komponen harmonik pasang merupakan komponen yang menyebabkan terjadinya pasang di laut, karena sifatnya yang harmonik terhadap waktu maka komponen tersebut dinamakan konstanta harmoni, hal ini sesuai dengan penyebabnya yang periodik pula.

Komponen pasang dibagi menjadi tiga kelompok dimana setiap kelompok memiliki bagian masing-masing, yaitu :

1. Komponen pasang periode panjang (long periode tide).
2. Komponen pasang periode harian tunggal(diurnal periode tide).
3. Komponen pasang periode harian ganda (semi-diurnal periode tide).

Pada masing-masing kelompok komponen tersebut memiliki anggota yang dapat dilihat pada tabel 1 berikut:

Tabel 1. Komponen Harmonik Pasut (Ilahude, 1999)

Tipe Pasut	Komponen harmonik	Simbol	Periode (jam)	Gaya yang ditimbulkan
Ganda	> bulan utama)	M2	12,42	100
	> matahari utama)	S2	12,00	47
	> elip bulan besar)	N2	12,66	19
	> bulan-matahari)	K2	11,97	13
Tunggal	> bulan-matahari)	K1	23,93	58
	> bulan utama)	O1	26,87	41
	> matahari utama)	P1	24,07	19
Periode panjang	> bulan 2 mingguan)	Mf	327,86	17
	> bulan 4 mingguan)	Mm	661,30	8
	> matahari semesteran)	Ssa	4384,9	8
	> Bulan Matahari mingguan	Msf	354,36	9

Menurut Sidjabat (1973) dilihat dari perbandingan magnitudo komponen-komponen pasang berganda dan tunggal dari suatu perairan maka kita bisa mengetahui tipe pasang dari perairan tersebut. Indeks yang dipakai untuk membuat klasifikasi ini adalah perbandingan antara amplitudo komponen tunggal dengan komponen berganda yang dikenal sebagai bilangan Formzahl (F) :

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

Di mana :

F = bilangan Formzahl

O1 = Amplitudo komponen pasut tunggal utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan

K1 = Amplitudo komponen pasut tunggal utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan dan matahari

M2 = Amplitudo komponen pasut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan

S2 = Amplitudo komponen pasut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik matahari

Dengan demikian, jika nilai F:

- < 0,25 : Pasut bertipe harian ganda (semi diurnal)
- 0,26- 1,50 : Pasut tipe campuran condong ke harian ganda
- 1,50-3,00 : pasut tipe campuran condong ke harian tunggal
- >3,00 : Pasut bertipe harian tunggal (diurnal)

2.2. Kenaikan Muka Laut

2.2.1. Pengertian Muka Air Laut

Setiyono *et al* (1994) mendefinisikan paras laut atau sering disebut pula muka air laut atau Mean Sea Level (MSL) adalah rata-rata ketinggian permukaan laut untuk semua tingkatan pasang. Paras laut ditentukan dengan menghitung rata-rata pasang tinggi dan pasang rendah selama periode beberapa tahun. Sedangkan menurut Pugh (1987) Mean Sea Level didefinisikan sebagai permukaan laut setiap waktu ditambah komponen pasang dan gelombang.

Sedangkan menurut Ongkosongo dan Suyarso (1989) menyebutkan bahwa permukaan laut rata-rata merupakan air laut yang dianggap tidak dipengaruhi oleh keadaan pasut. Nilai kedudukan permukaan air laut tersebut biasanya digunakan sebagai referensi ketinggian titik-titik atas permukaan bumi. Kedudukan permukaan laut rata-rata setiap saat selalu berubah-ubah sesuai dengan perubahan dari posisi benda-benda langit serta kerapatan air laut

(densitas) di tempat tersebut sebagai akibat perubahan suhu air, salinitas dan tekanan atmosfer.

Permukaan air laut rata-rata biasanya ditentukan melalui pengamatan terus-menerus terhadap kedudukan permukaan air laut setiap jam, hari, bulan dan tahun. Macam kedudukan muka air laut rata-rata disesuaikan dengan lamanya pengamatan yang dipakai untuk menghitung kedudukannya seperti muka air laut rata-rata harian, bulanan dan tahunan. Dalam survey hidrografi dikenal istilah MSL sementara dan MSL sejati.

MSL sementara dibedakan menjadi MSL sementara harian dan MSL sementara bulanan. MSL sementara harian pada umumnya ditentukan melalui pengamatan terhadap kedudukan muka air laut setiap jam selama 1 hari dari jam 00.00 sampai dengan 23.00 waktu setempat, sehingga diperoleh 24 harga pengamatan. Sedangkan MSL bulanan ditentukan melalui nilai rata-rata MSL harian untuk waktu 1 bulan. Nilai MSL harian dan bulanan ini selalu berubah-ubah tergantung kondisi lokal perairan tersebut.

MSL sejati atau dikenal sebagai MSL tahunan besarnya ditentukan dari MSL untuk 1 tahun. Untuk mendapatkan nilai MSL sejati harus diadakan pengamatan kedudukan permukaan laut selama 18,6 tahun. Menurut Ali *et al* (1994) MSL merupakan muka laut rata-rata pada suatu periode pengamatan yang panjang, sebaiknya 18,6 tahun. Muka air laut setiap hari, bulan dan tahun selalu mengalami perubahan karena tergantung pada beberapa faktor baik klimatologi maupun oseanografi.

2.2.2. Faktor Penyebab Kenaikan Muka Laut

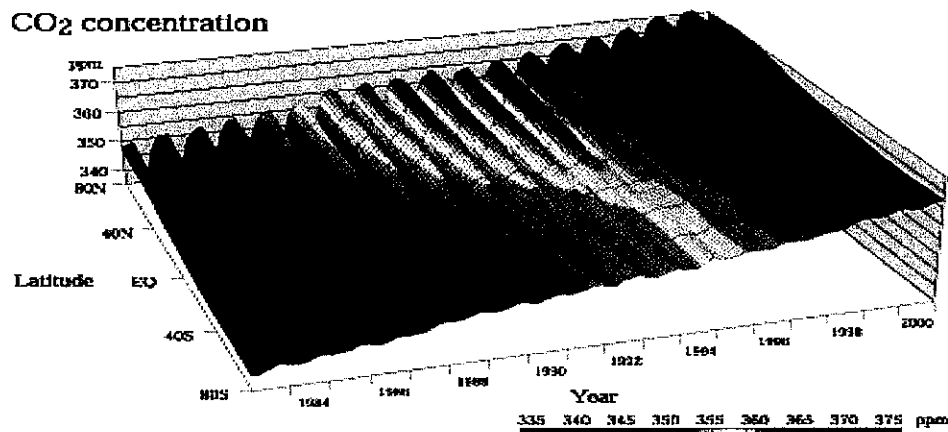
Menurut Sutisna dan Manurung (2002) kenaikan muka laut disebabkan oleh 3 faktor yaitu global, regional dan lokal.

1. Faktor global

Faktor global yang dimaksudkan di sini adalah akibat pemanasan global (global warming). Pemanasan global pada hakikatnya adalah perubahan variabel iklim global, khususnya suhu udara dan curah hujan yang terjadi secara berangsur-angsur dalam jangka waktu 50-100 tahun dimana perubahan tersebut disebabkan oleh kegiatan manusia (Soedjito, 2002). Menurut Mustain (2002) efek rumah kaca (green house effect) merupakan teori yang bisa menjelaskan bagaimana peran green house gases (aerosol, debu dan gas) di atmosfer yang bisa menahan panjang gelombang (panas) yang dipantulkan oleh bumi ke angkasa.

Menurut Bratasida *et al* (2002) komposisi lapisan gas-gas atmosfer menentukan kemampuan bumi untuk menyeimbangkan energi panas yang masuk dan energi yang dilepaskan. Gas-gas utama di udara kering yaitu nitrogen, oksigen dan argon, selain itu uap air merupakan gas utama yang bertanggung-jawab terhadap efek rumah kaca di bumi. Namun belakangan ini akibat dari aktivitas manusia, komposisi dan konsentrasi gas-gas penyebab rumah kaca di atmosfer tersebut terus meningkat, sehingga semakin menjebak energi panas yang seharusnya dipantulkan permukaan bumi ke angkasa, akibatnya temperatur bumi naik. Adapun gas-gas rumah kaca yang dimaksud adalah:

- CO₂ (Carbon dioxide) hasil dari aktifitas penggunaan bahan bakar kayu (biomass), minyak bumi, gas alam, batu bara. Peningkatan konsentrasi CO₂ di atmosfer dapat dilihat pada Gambar 2.

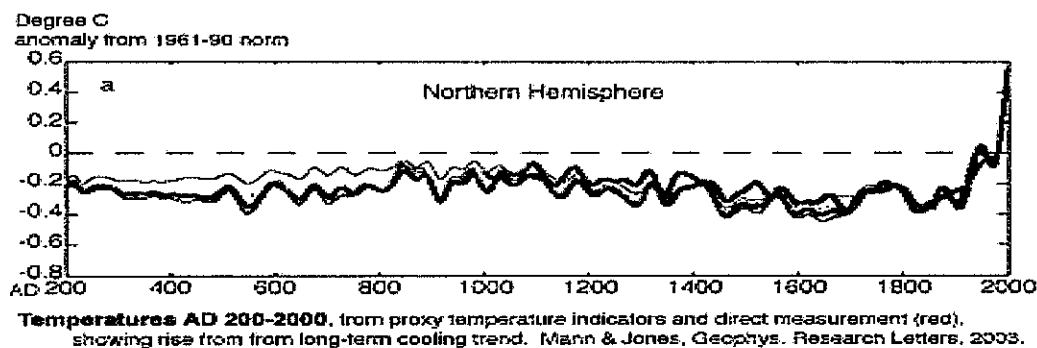


Gambar 2. Peningkatan Konsentrasi CO₂ di Bumi Tahun 1994-2000
(Sumber : www.gaw.kishou.go.jp, Juni 2004)

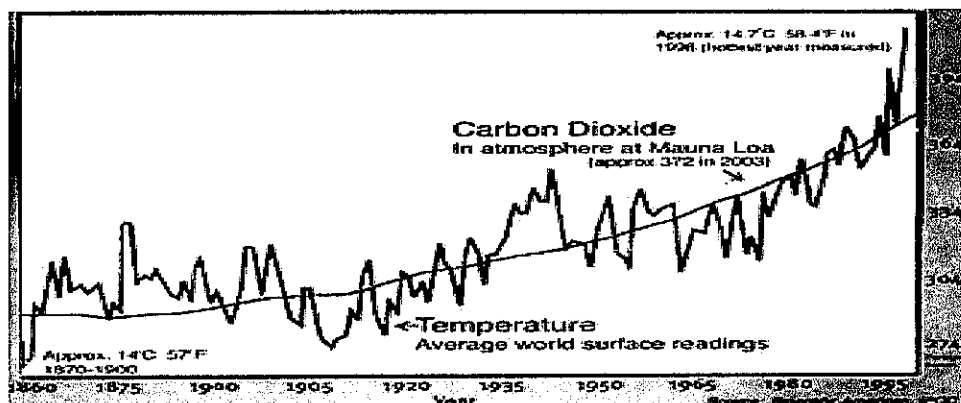
- CH (methane) : hasil dan aktifitas proses produksi dan pengangkutan batu bara, minyak bumi dan gas alam, tempat pembuangan sampah dan peternakan.
- N (Nitrousoxide) : hasil dari pertanian padi, aktifitas industri dengan menggunakan limbah padat sebagai bahan bakar alternatif dan penggunaan bahan bakar minyak bumi.
- HFCs (Hydroflourocarbons), PFCs (perflourocarbons)
- SF (sulfurhexaflouride)

Selain akibat efek rumah kaca, menipisnya lapisan ozon di atmosfer juga menjadi penyebab pemanasan global. Seperti yang kita ketahui, lapisan ozon berfungsi sebagai pelindung radiasi langsung dan sinar matahari (sinar ultra violet) ke permukaan bumi. Penggunaan bahan-bahan perusak ozon (BPO) seperti CFC, Halon, Aerosol di untuk kepentingan manusia menyebabkan makin tipisnya lapisan ozon tersebut. Menurut Mustain (2002) lapisan ozon berupa kumpulan molekul O₃ yang bersifat sangat labil karena bertangan ikatan bebas. Molekul ini bila bertemu molekul lain dan permukaan seperti CFC dan CO akan

bereaksi dan menghasilkan CO₂. Karena stabil, CO₂ akan turun dan meninggalkannya sehingga molekul ozon berkurang atau dengan kata lain molekul ozon menipis. Menipisnya lapisan ozon ini telah terdeteksi oleh NASA pada September 1986 di atas Antartika. Dengan menipisnya lapisan ozon tersebut maka akan melemahkan perlindungan terhadap radiasi energi matahari sehingga terjadilah pemanasan global. Menurut laporan IPCC tahun 2001 dalam situs www.ncdc.noaa.gov (April 2005), sejak akhir abad 19 telah terjadi kenaikan suhu global sampai 0,6° C (± 0,2°C) dan sekitar 0,4° F (0,2-0,3 °C) dalam 25 tahun terakhir (Gambar 3). Sedangkan hubungan antara kenaikan gas CO₂ dengan kenaikan suhu global bisa dilihat pada Gambar 4.

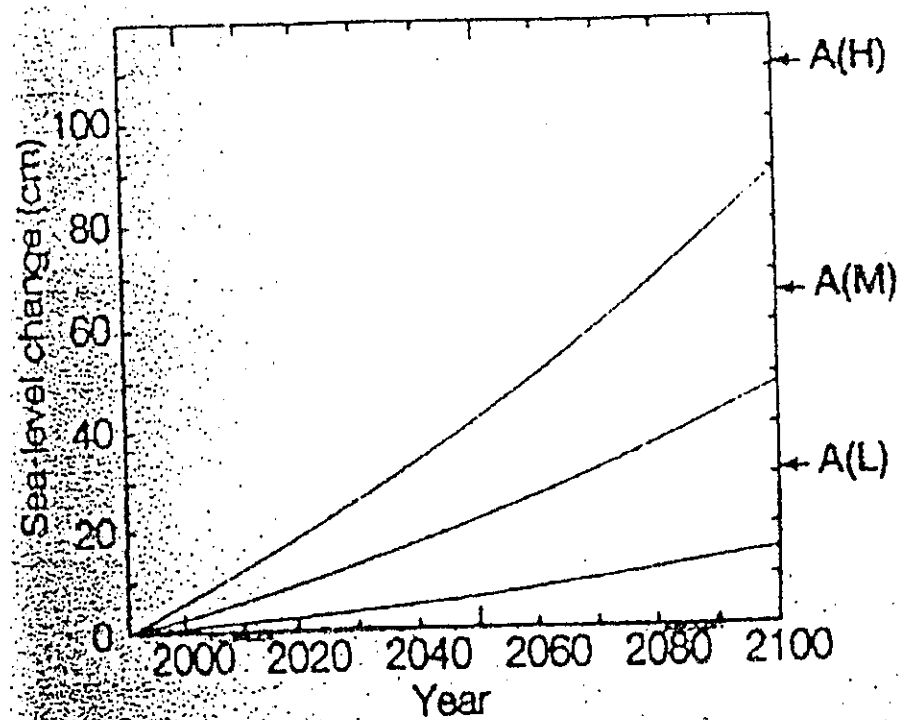


Gambar 3. Kenaikan Suhu Global
(Sumber : <http://www.worldviewofglobalwarming.org>, Juni 2004)



Gambar 4. Hubungan antara Kenaikan Konsentrasi Gas CO₂ dengan Kenaikan Suhu Global
(Sumber : <http://www.worldviewofglobalwarming.org>, Juni 2004)

Menurut Sampurno (2001) *dalam* Abdurachim (2002) secara garis besar, pemanasan global berpengaruh terhadap perubahan cyclone, perubahan suhu udara dan air perubahan pola hujan dan hidrologi serta kenaikan muka air laut. Beberapa hasil studi menunjukkan bahwa permukaan air laut cenderung meningkat dari tahun ke tahun seiring dengan naiknya temperatur udara secara global. Dalam 100 tahun terakhir kenaikan muka laut mencapai 1-2 mm/ tahun. Pada tahun 2100 kenaikan muka laut berkisar antara 0,3-2 m (National Academy of Science, 1989 *dalam* Abdurachim, 2002). Berdasarkan naiknya suhu permukaan air laut dan pencairan es di kutub, dalam kurun waktu 100 tahun dihitung mulai tahun 2000 muka air laut akan meningkat antara 15-90 cm dengan kepastian peningkatan 48 cm seperti yang ditunjukkan pada gambar 5 (IPCC, 1990 *dalam* Abdurachim, 2002).



Gambar 5. Proyeksi Kenaikan Muka Laut Terendah, menengah dan tertinggi. Dalam Kurun Waktu 100 tahun (Abdurachim, 2002)

Dari beberapa hasil penelitian, ternyata menunjukkan adanya kecenderungan kenaikan muka air laut di beberapa pantai di Indonesia lebih tinggi dan kondisi pantai secara global. Menurut Wirakusumah dan Lubis (2002) tingkat gejala kenaikan muka laut di Indonesia pada umumnya berkisar antara 1-3 cm/ tahun, sedangkan kenaikan suhu di Indonesia 0,03°C/ tahun. Secara regional data meteorologi maritim menyatakan bahwa kenaikan suhu di dunia yang diakibatkan oleh pemanasan global hanya mencapai 0,019°C/tahun.

Data pengamatan beberapa lokasi stasiun penelitian di Indonesia menunjukkan adanya variasi kenaikan muka laut pertahun sebagai berikut di Belawan 7,83 mm, Jakarta 4,38 mm, Semarang, 9,27 mm, Surabaya 5,47 mm (ITB 1990 *dalam* Abdurachim, 2002) dan Panjang-Lampung 4,15 mm (P30 LIPI, 1991 *dalam* Abdurachim, 2002). Sedangkan di Cilacap rata-rata kenaikan muka laut per tahun sekitar 1,3 mm (Hadikusumah, 1993 *dalam* Abdurachim, 2002).

2. Faktor Regional

Faktor regional yang dimaksud disini adalah pengaruh tektonik regional Indonesia yang aktif diduga dapat mempengaruhi kedudukan permukaan laut rata-rata. Posisi tektonik Indonesia yang berada pada lokasi subduksi aktif lempeng Australia, Asia dan Pasifik dengan kecepatan sekitar 75 mm/tahun menimbulkan aktifitas seismitas yang cukup tinggi. Hasil pengamatan GPS dari Proyek Riset kerja sama EC ASEAN Geodysea (1994-1996), menunjukkan adanya pergerakan horizontal aktif sekitar blok sundaland dimana Jawa termasuk di dalamnya dengan kecepatan rotasi 25 mm/tahun. (Chamoot-Rooke *et al* (1998) *dalam* Sutisna dan Manurung (2002).

Perubahan horizontal ini diduga mengindikasikan adanya perubahan vertikal, akan tetapi belum diperoleh hasil penelitian yang meyakinkan tentang berapa besar gerakan vertikal akibat rotasi regional yang dianggap sebagai blok Sundaland dalam penelitian tersebut (Sutisna dan Manurung, 2002).

3. Faktor Lokal

Faktor lokal terjadi terutama dipengaruhi oleh proses subsidensi (penurunan tanah). Subsidensi lokal ini masih belum dapat dipisahkan dengan efek dari distorsi yang sifatnya terbatas pada faktor berikut yaitu (Sutisna dan Manurung, 2002):

- a. Penurunan sangat lokal akibat ketidakstabilan tempat bench mark
- b. Rebound dari penambahan massa lokal seperti penambahan konstruksi bangunan massive dermaga di mana stasiun pasang surut ditempatkan

Secara umum ada 7 faktor yang menjadi penyebab penurunan tanah yaitu (Muhrozi *dkk*, 1997):

- Peristiwa tektonik
- Runtuhan vulkanik
- Runtuhan mekanik
- Gerakan tanah
- Erosi tanah
- konsolidasi akibat perubahan massa tanah sekitar
- dan perubahan fluida bawah tanah.

Untuk daerah pesisir Semarang sendiri, penurunan tanah yang terjadi disebabkan oleh konsolidasi dan perubahan air tanah.

Peristiwa konsolidasi sangat dipengaruhi oleh jenis tanah. Jenis tanah lempung relatif lebih mudah mengalami penurunan (pemampatan) dibandingkan

tanah pasir. Menurut Terzhagi dan Peck (1993) pasir bersifat tak kompresibel sedangkan lempung sangat kompresibel. Sehingga tanah lempung/liat akan sangat mudah mengalami pemampatan akibat adanya beban di atasnya sehingga terjadilah penurunan tanah (*land subsidence*).

Penurunan permukaan air bawah tanah akan berakibat pengurangan gaya angkat tanah sehingga terjadi peningkatan tegangan efektif tanah. Akibat meningkatnya tegangan efektif ini akan menyebabkan penyusunan butiran tanah kembali dan penurunan tanah. Disamping hal tersebut, kemungkinan adanya erosi bagian dalam tanah akibat terangkutnya butir tanah di bawah muka tanah oleh penyerapan air tanah melalui pemompaan sumur dalam secara berlebihan pada waktu yang lama (Muhrozi *dkk*, 1997)

Menurut BAPPEDA Semarang (2000) amblesan (*land subsidence*) merupakan suatu permasalahan yang sangat dipengaruhi oleh sifat fisik lapisan tanah penyusunnya. Amblesan dapat diakibatkan oleh bertambahnya beban atau berkurangnya tekanan hidraulik pada lapisan tanah. Penambahan beban dapat terjadi akibat beban bangunan di atasnya atau hilangnya bouyansi tanah akibat hilangnya air dalam ruang antar pori sehingga tekanan efektif menjadi bertambah. Berkurangnya tekanan hidraulik pada lapisan tanah dapat diakibatkan oleh hilangnya air tanah akibat pemompaan berlebihan. Pada lapisan lempung / lanau yang bersifat terkonsolidasi normal dengan kompresibilitas tinggi, penambahan beban di atasnya dapat menyebabkan air dalam pori akan terperas keluar dan menyebabkan terjadinya konsolidasi yang terus menerus sampai permukaan tanah dan mengakibatkan penurunan tanah.

Menurut Terzaghi dan Peck (1993) pemompaan air tanah pada tanah / yang mengandung lapisan lunak, lanau atau gambut maka akan mengakibatkan

penurunan yang besar. Misalnya di Mexico city, dimana tanahnya terdiri dari lempung yang sangat mampu mampat dengan lapisan-lapisan horizontal pasir yang mengandung air, pengambilan air dengan drainase dan pemompaan dari lapisan-lapisan pasir mengakibatkan penurunan tanah yang tak teratur dari keseluruhan daerah. Antara tahun 1900-1956, permukaan tanah di beberapa tempat mengalami penurunan lebih dari 20 kaki. Begitu pula di lembah Santa Clara California, pengoperasian 2000 buah sumur untuk keperluan irigasi mengawali proses penurunan yang terus berkelanjutan. Di bawah dasar lembah terdapat lapisan lempung laut yang tebal yang mengandung lapisan-lapisan kerikil, dan pasir yang mengandung air pada kedalaman 100-200 kaki. Pada tahun 1918 pengambilan air mulai melebihi cadangan alami yang tersedia dan pada tahun 1956 penurunan yang terjadi telah mencapai 8 kaki pada daerah tersebut. Untuk jenis tanah pasir, penurunan dapat terjadi jika mengalami getaran secara terus menerus.

Menurut Terzaghi dan Peck (1993) salah satu contoh yang dapat menimbulkan getaran adalah lalu lintas. Pengalaman menunjukkan bahwa pengaruh langsung yang kontinyu dari getaran semacam itu cenderung menghasilkan penurunan-penurunan yang sangat besar.

Di Belanda bangunan-bangunan baru di dekat jalan raya utama kebanyakan miring. Penyebab kemiringan itu merupakan kenyataan bahwa getaran-getaran lalu lintas telah memadatkan tanah di bawah dan di dekat jalan raya tersebut, sedangkan pasir yang menyangga bagian belakang bangunan masih berada dalam kondisi semula. Di Berlin beberapa pondasi jalan kereta api yang dibangun di atas pasir yang agak padat mengalami penurunan sedalam 14 inchi setelah 40 tahun beroperasi.

2.2.3. Dampak Kenaikan Muka Laut

Menurut Akil (2002) kenaikan muka laut secara umum akan mengakibatkan dampak sebagai berikut:

1. Meningkatnya frekwensi dan intensitas banjir/ genangan

Naiknya muka air laut dan adanya curah hujan yang tinggi mengakibatkan bahaya banjir pada daerah rendah. Jika air yang telah masuk ke suatu daerah dan tidak dapat mengalir lagi maka terjadilah genangan (Gerald,1992 *dalam* Adhitya 2003). Wilayah yang terkena dampak banjir dan genangan ini terbagi menjadi 2 yaitu wilayah dampak primer (WDP) yaitu wilayah yang langsung terkena dampak dan akan tergenang oleh kenaikan muka laut dan wilayah dampak sekunder (WDS) yaitu daerah yang terancam oleh penggenangan apabila permukaan laut terus naik. WDS (Wilayah Dampak Sekunder) ini akan mengalami tekanan seperti perpindahan penduduk dari WDP (Wilayah dampak Primer) dan intrusi air laut.

2. Perubahan arus laut dan meluasnya kerusakan mangrove terutama pada tanaman mangrove muda / propagule yang belum tahan terhadap perubahan gelombang dan arus serta bertambahnya kedalaman air akibat kenaikan muka laut tersebut.

3. Meluasnya intrusi air laut

Dalam kondisi normal aliran air tanah akan mengalir ke laut. Keseimbangan dapat berbalik menjadi air laut yang menyusup ke arah daratan dan menyuplai air tanah jika terjadi kenaikan muka air laut dan penurunan muka air tanah. Menurut Foley (1993) *dalam* Adhitya (2003)

peningkatan muka air laut sebesar 10 cm cenderung mengakibatkan penetrasi air laut sekitar satu kilometer jauhnya ke daratan dalam muara sungai yang datar, apalagi jika pemompaan air tanah terus berlangsung tak terkendali. Selain itu penghisapan air tanah secara berlebihan juga mengakibatkan intrusi air laut ke dalam akuifer dalam tanah. Pada daerah pantai yang pengambilan air tanahnya melampaui harga debit alami akan mengakibatkan penurunan muka air tanah. Muka air tanah yang lebih rendah dan muka air laut menyebabkan penyusupan air laut ke daratan atau terjadi intrusi air laut (BAPPEDA Kota Semarang, 2000). Sebagai contoh akibat tak terkendalinya penghisapan air tanah di Jakarta diperkirakan pada periode 2050 hingga 2070, intrusi air laut mencakup 50% dan luas wilayah Jakarta Utara.

4. Gangguan terhadap kondisi sosial ekonomi masyarakat

Gangguan-gangguan tersebut antara lain : gangguan terhadap jaringan lintas kereta api di pantura Jawa dan Timur-Selatan Sumatra, gangguan terhadap pemukiman penduduk pada kota-kota pesisir, hilangnya lahan-lahan budidaya seperti sawah, tambak, dan lain-lain

5. Berkurangnya luas daratan dan hilangnya pulau-pulau kecil

Berkurangnya luas daratan dan hilangnya pulau-pulau kecil ini sangat berkaitan dengan terjadinya erosi akibat kenaikan muka laut. Menurut dalil Bruun *dalam* Adhitya (2003) erosi pantai akan bertambah dengan rata-rata 1 meter untuk setiap kenaikan 1 cm permukaan air laut. Hal ini berarti dengan kenaikan muka laut sebesar 1 cm maka pantai akan mundur sejauh 1 meter. Hilangnya pulau-pulau kecil di Indonesia dapat mencapai 2000-4000 pulau tergantung dari kenaikan muka laut yang

terjadi. Dengan asumsi kemunduran garis pantai sejauh 25 m pada tahun 2100 maka lahan pesisir yang hilang mencapai 202. 500 ha.

2.2.5. Pengukuran Kenaikan Muka Air Laut

Kenaikan muka air laut setiap tahun relatif kecil hanya dalam orde milimeter. Untuk mengetahui kenaikan muka air laut tersebut perlu dilakukan penelitian jangka panjang dengan pemasangan alat ukur otomatis (Automatic Water Level Recorder = AWLR). AWLR harus dilengkapi dengan pemasangan patok tetap (Bench Mark = BM) yang tidak mengikuti penurunan tanah (Pangesti *et al*, 2002). Menurut Manurung *et al* (2002) pemisahan efek gerakan tanah yang sifatnya lokal terhadap vektor perubahan kedudukan MSL memerlukan pengikatan geodetik teliti dengan sistematika sebagai berikut:

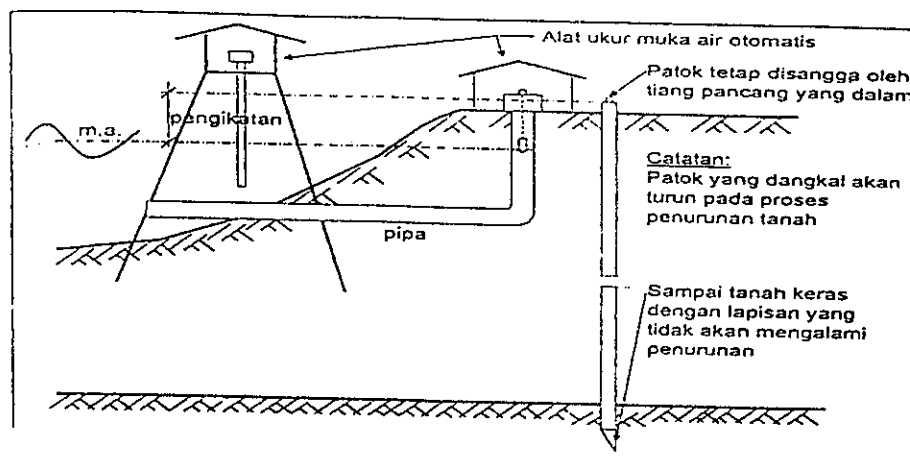
1. Pemasangan rambu palem teliti yang stabil (AWLR) untuk jangka panjang.
2. Sinkronisasi bacaan rekaman pasut dengan tinggi permukaan laut pada saat palem
3. Pengikatan palem ke BM dengan sifat datar teliti.
4. Pengikatan BM terhadap sistem jaringan sifat datar nasional

Patok tetap sebagai bidang persamaan itu dapat dibuat dengan pemasangan tiang pancang dengan kedalaman mencapai lapisan tanah yang tidak mengalami penurunan. Pada gambar 6 disajikan secara skematis pemasangan patok tetap untuk penelitian kenaikan muka laut. Untuk mendapatkan muka air laut yang tenang maka AWLR dapat ditempatkan di darat. Hubungan antara muka air laut di AWLR dan di laut dilakukan melalui pipa. Tiang pancang yang berfungsi sebagai patok tetap hendaknya dipasang tidak terlalu jauh dengan AWLR untuk menghilangkan kesalahan saat pengikatan

antara muka air dan patok tetap yang dilakukan secara periodik. Menurut Manurung *et al* (2002) pengikatan palem ke BM memiliki 2 tujuan yaitu menghubungkan kedudukan muka air laut dengan ke tanah yang stabil dan menghubungkan MSL ke sistem referensi eksternal terhadap peralatan pasut itu sendiri bilamana terjadi kerusakan pada stasiun pasut, perbaikan dermaga dan rekonstruksi stasiun terhadap kerusakan badai. Selain untuk mengetahui kenaikan muka air laut maka patok tetap tersebut juga dapat dimanfaatkan untuk memantau penurunan muka tanah (Pangesti *et al*, 2002).

Menurut Manurung *et al* (2002) untuk mendapatkan kestabilan pilar yang tinggi sehingga monitoring dapat terus dilaksanakan maka persyaratan pemilihan BM adalah sebagai berikut:

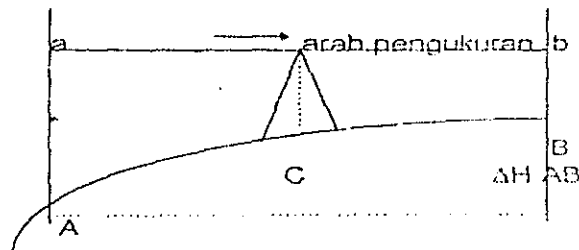
1. Struktur tanah yang stabil dan jauh dari akar pohon
2. Aman dari gangguan kendaraan dan vandalisme
3. Tidak akan ada rencana pembanraunan pada lokasi dalam jangka panjang
4. Mendapat ijin dari pemilik tanah



Gambar 6. Skema Alat Pengukuran Muka Laut Otomatis

2.2.6. Pengukuran Kedudukan Muka Tanah

Menurut Muhrozi *dkk* (1997) cara yang sering dilakukan untuk mengukur kedudukan muka tanah (levelling) adalah dengan pengukuran sipat datar. Alat yang digunakan adalah alat ukur Sipat Datar, dimana prinsip pengukuran ketinggian cara ini adalah mengukur beda tinggi antara dua titik dengan alat bantu rambu ukur. Dari pembacaan dua rambu ukur ini terdapat selisih beda tinggi. Adapun rumus dasar sipat datar akan diuraikan lebih lanjut dibawah ini. Dengan pertolongan water pass, maka garis visir dibuat horisontal. Garis visir horisontal tersebut diarahkan ke dua rambu yang telah ditempatkan pada titik yang akan ditentukan selisih tingginya secara vertikal (gambar . 7).



.Gambar: 7. Posisi Alat Pengukuran Waterpas

Apabila alat ukur waterpas ditempatkan di titik C, kemudian setelah diatur dibaca ke rambu belakang dengan bacaan a dan ke rambu muka dengan bacaan b, maka beda tinggi antara titik A dan B adalah :

$$\Delta H_{AB} = a - b$$

Dengan dasar tersebut diatas, maka untuk mengukur beda tinggi antara dua titik yang letaknya sangat jauh dapat dilakukan sebagai berikut:

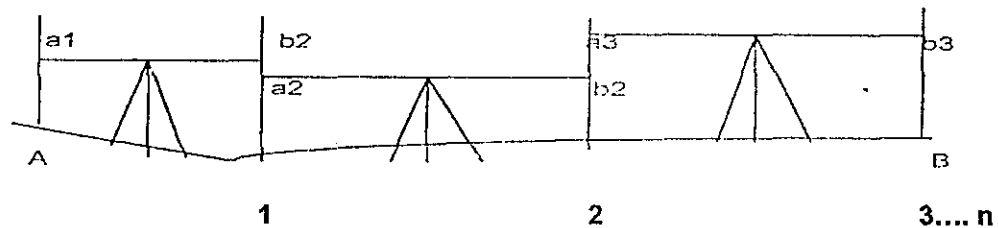
Untuk dua titik yang jauh letaknya dengan n x pengukuran, maka beda tinggi ΔH sebagai berikut;

$$\Delta H = \sum_{i=1}^n a_i - \sum_{i=1}^n b_i$$

Jika $a > b$ maka ΔH positif, artinya B lebih tinggi dari A (naik). Sebaliknya jika $a < b$, maka ΔH negatif artinya B lebih rendah dari A (turun). Bila titik A diketahui ketinggiannya diatas bidang referensi H_a dan selisih antara A dan B adalah ΔH_{ab} , maka tinggi titik B adalah :

$$H_b = H_a + \Delta H_{ab}$$

pengukuran antara dua rambu dinamakan satu slag, bilamana jarak antara titik A dan B yang jauh sehingga terpaksa dilakukan dengan beberapa kali memindahkan dan mendirikan instrument (terdiri dari beberapa slag), rangkaian pengukuran yang terdiri dari banyak slag dengan memakan waktu ± 1 hari dinamakan satu seksi.



Gambar: 8. Rangkaian sipat datar memanjang

Dengan mengadakan pengukuran demikian, maka dapat dicari beda tinggi masing-masing antara A1, 1-2, n - B. Dengan demikian akhirnya didapat beda tinggi antara titik A dan B dengan jalan menjumlahkan beda tinggi setiap slag. Pengukuran yang demikian ini disebut sipat datar memanjang.

Bila diketahui tinggi titik A = H_a , maka tinggi setiap titik-titik 1, 2, 3,n adalah sebagai berikut:

$$\text{titik (1)} = H_a + \Delta H_{a1}$$

$$(2) = H_a + \Delta H_{a1} + \Delta H_{12}$$

$$(3) = \dots$$

$$\text{titik (n)} = H_a + \Delta H_{a1} + \Delta H_{12} + \dots + \Delta H_n$$

2.3. Banjir Rob

2.3.1. Pengertian

Banjir rob adalah peristiwa masuknya air laut ke daratan yang terjadi pada waktu air pasang sehingga menggenangi wilayah darat (BAPPEDA Kota Semarang, 2000). Menurut Setiyono *et al* (1994) bentuk penggenangan akibat naiknya muka air laut dibedakan menjadi 3 macam yaitu:

1. Penggenangan permanen yaitu penggenangan rob yang disebabkan kenaikan muka air laut terhadap garis pantai bergeser ke arah daratan. Besarnya pergeseran garis pantai ke arah daratan tergantung pada topografi daerah setempat. Biasanya penggenangan ini akan dialami langsung oleh kawasan pesisir yang berbatasan dengan garis pantai di pinggiran-pinggiran sungai dekat muara sungai.
2. Penggenangan sesaat yaitu penggenangan yang dialami pada saat terjadi pasang tinggi tertinggi akan tetapi setelah surut kawasan tersebut terbebas lagi. Pada daerah ini berpotensi mengalami penggenangan permanen bila muka air laut terus mengalami kenaikan
3. Penggenangan semu yaitu bilamana suatu kawasan tersebut tidak terjadi penggenangan air laut tetapi terkena pengaruh penggenangan, yaitu melalui perembesan air laut yang masuk melalui pori-pori tanah ke arah daratan. Hal ini terlihat dan kawasan dimana permukaan tanahnya selalu lembab atau basah disebabkan pengaruh air laut yang bergerak melalui bagian bawah permukaan.

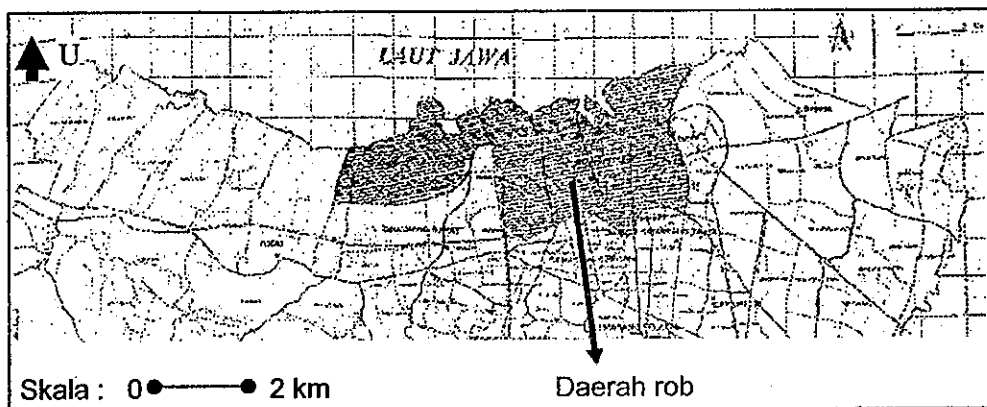
2.3.2. Banjir Rob Di Semarang

Pada saat ini di wilayah pantai Kota Semarang telah terjadi genangan air akibat banjir pasang surut (rob) dan akibat air hujan. Ke dalam air akibat banjir ini

bisa mencapai 20 - 60 cm. Menurut Sarbidi (2002) rob yang terjadi di Semarang tersebut disebabkan oleh beberapa faktor yaitu :

- perubahan penggunaan lahan di wilayah pantai : lahan tambak, rawa dan sawah yang dulu secara alami dapat menampung pasang air laut telah berubah menjadi lahan permukiman, kawasan industri dan pemanfaatan lainnya dengan cara menguruk lahan tersebut sehingga air pasang laut tidak dapat tertampung lagi dan akhirnya menggenangi kawasan yang lebih rendah lainnya. Dari sekitar 790,5 Ha lahan di Kecamatan Semarang Utara sudah tidak ada lagi lahan tambak, dan dari sekitar 585 Ha lahan di Kecamatan Semarang barat hanya terdapat 126,5 Ha lahan yang digunakan sebagai tambak (Bappeda Semarang, 2000)
- penurunan muka tanah dan
- kenaikan muka laut akibat efek pemanasan global .

Rob menggenangi Wilayah Semarang Utara 27,2 km² dan Semarang Barat 12,4 km² Berdasarkan data wilayah drainase kedua kecamatan tersebut diperkirakan luas genangan banjir rob \pm 32,6 km² (BAPPEDA, 2000). Untuk lebih jelasnya mengenai sebaran daerah rob di Semarang bisa dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Peta Sebaran Daerah Rob di Semarang (BAPPEDA, 2000)

Adanya banjir rob yang melanda pesisir Semarang jelas memberikan dampak buruk bagi kehidupan masyarakat kota Semarang. Menurut Sarbidi (2002) banjir rob yang melanda Semarang berpengaruh buruk terhadap kawasan kota, rumah dan bangunan, sarana dan prasarana serta kesehatan lingkungan.

1. Kawasan (pantai) kota

Banjir rob dan banjir kiriman telah menimbulkan pengaruh terhadap kawasan antara lain:

- Menyebabkan lahan tergenang secara rutin. Kedalaman banjir bervariasi, dan yang terendah hingga lebih dari 60 cm. Lama genangan dapat mencapai satu hari hingga selama satu minggu.
- Penanganan genangan terpaksa menggunakan drainase dengan sistem polder. Penyediaan sistem drainase sangat mahal, baik biaya konstruksi maupun biaya operasi-perawatannya.
- Memerlukan tanah dan luar lokasi untuk pengurugan lahan, yang ternyata memerlukan biaya yang relatif besar pula.
- Peninggian jalan lingkungan sampai di atas permukaan muka air laut maksimum.

2. Rumah dan bangunan

Pengaruh banjir rob terhadap bangunan, pada umumnya sebagai berikut:

- Lantai rumah / bangunan pada umumnya tergenang air banyak dijumpai pada rumah yang ditinggalkan atau tidak dihuni oleh pemiliknya.
- Rumah / bangunan rusak, seperti: retak, miring, tenggelam tanah urugan.
- Lantai rumah terpaksa harus ditinggikan setiap 5 tahun sekali. Rata-rata peninggian sebesar 10 - 50 cm.
- Rumah / bangunan diurug sampai habis, dan di atas lahan urugan dibangun rumah yang sama sekali baru.

- Pada bagian depan rumah dipasang bendung penahan air atau bagian teras rumah ditinggikan hingga di atas peil banjir.

3. Prasarana dan sarana

Pengaruh pada prasarana dan sarana perumahan sebagai berikut:

a. Jalan lingkungan.

- Jalan becek dan selalu tergenang air
- Peninggian peil jalan di atas genangan banjir.
- Mengganggu kelancaran lalu lintas
- Membutuhkan perawatan jalan, khusus untuk perumahan Tanah Mas, biaya perbaikan jalan Rp 180.000 / KK.

b. Air bersih

- Kedalaman pipa bertambah akibat pengurangan lahan.
- Air tanah asin/ payau, dan peralatan air bersih cepat rusak terkena korosi.

c. Septik Tank atau cubluk (SPAL).

- Penambahan ketinggian dinding tangki atau cubluk 1,5 m - 2,00 m. Hal itu untuk menghindarkan air dan tinja dalam melimpah ke atas.
- Dikuras setiap 2 tahun sekali.

d. Drainase rumah

- Peninggian saluran air hujan di sekitar rumah.
- Penanggulan sekeliling rumah, halaman dan pinggir sungai sekitar permukiman.
- Saluran tidak pernah kering dan kotor.
- Khusus untuk perumahan Tanah Mas, biaya operasional pompa Rp 15.000 /bln/KK

e. Pengelolaan sampah.

- Peninggian TPS pasangan bata.
- Perawatan gerobak / becak sampah.

4. Kesehatan lingkungan.

Pengaruh pada kesehatan lingkungan antara lain sebagai berikut:

- Mengganggu kesehatan lingkungan dan masyarakat, penduduk banyak yang terkena penyakit gatal-gatal pada kulit.
- Lingkungan becek dan berlumpur.
- Mengganggu mutu air baku (air sumur), rasanya asin/payau,
- Mengganggu mutu air permukaan.
- Estetika buruk

III. METODE PENELITIAN

3.1. Materi Penelitian

Materi yang dikaji dalam penelitian ini meliputi data pasang surut di perairan Semarang selama 20 tahun, data penurunan muka tanah di Semarang dan base map kota Semarang sebagai materi dasar pembuatan peta. Sedangkan peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

Tabel 2. Peralatan Penelitian

No	Alat	Jumlah	Kegunaan
1	Water Pas	1 buah	Pengukuran penurunan tanah
2	Rambu/bak ukur	2 buah	Pengukuran penurunan tanah
3	statip	1 buah	Pengukuran penurunan tanah
4	GPS	1 buah	Mengetahui posisi titik pengukuran
5	Seperangkat komputer	1 buah	Mengolah data
6	Soft ware admiralty	1 buah	Menghitung nilai komponen pasang
7	Soft ware surfer 7	1 buah	Membuat peta kontur dan rob
8	Soft ware Mapinfo 7.0	1 buah	Membuat peta sebaran rob

3.2. Metode

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif yang bersifat eksploratif, dimana menurut Arikunto (1993) penelitian deskriptif yang bersifat eksploratif bertujuan untuk menggambarkan keadaan atau status fenomena. Jadi hasil akhir pada penelitian ini akan memberi gambaran mengenai kenaikan muka laut di perairan Semarang.

Sedangkan desain penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi kasus. Menurut Hadi (1993) studi kasus merupakan metode penelitian terhadap suatu kasus secara mendalam yang berlaku pada waktu, tempat dan

populasi yang terbatas sehingga memberikan gambaran tentang situasi dan kondisi lokal dan hasilnya tidak dapat digeneralisasikan pada waktu dan tempat yang berbeda. Sedangkan menurut Surachmad (1978) studi kasus merupakan metode yang berlaku untuk jangka waktu tertentu. Jadi pada penelitian ini kasus kenaikan muka laut di Semarang yang akan dikaji secara mendalam.

3.3. Pelaksanaan Penelitian

3.3.1. Pengumpulan Data

Data utama yang dikumpulkan dalam penelitian ini adalah :

1. Data pasang surut
2. Data penurunan muka tanah di stasiun pasut,
3. Data sebaran titik genangan rob di Semarang
4. Penurunan tanah di beberapa lokasi di Semarang

Pengambilan data penurunan tanah di stasiun pasut bertujuan untuk mengetahui penurunan tanah di sekitar lokasi stasiun pengamatan pasut, sehingga data pasang surut yang didapatkan dapat dikoreksi dengan data penurunan tanah di lokasi stasiun pasang surut tersebut. Data penurunan tanah di stasiun pasut dikumpulkan secara sekunder dan primer. Data sekunder yang dikumpulkan antara lain sebagai berikut :

1. Data elevasi tanah pelabuhan dari PT Pelabuhan Indonesia III (Pelindo III) cabang Tanjung Mas Semarang tahun 1998 - 2000. Pada bulan November 1988 PT Pelindo III cabang Tanjung Mas Semarang membuat bench mark untuk pengukuran ketinggian, di kawasan pelabuhan sebanyak 5 titik yaitu BM 1 – 5 Pelabuhan dan di depan hotel Siranda 1 titik yaitu BM 6 Pelabuhan.

Pada bulan Desember 1999 PT Pelindo III cabang Tanjung Mas Semarang membuat bench mark (BM 1 SPP II-1) dengan kedalaman pondasi mencapai 100 m yang terletak di samping work shop TPKS dan ketinggiannya adalah LWS + 4,831 m dengan titik referensi BM 6 Pelabuhan di Hotel Siranda (LWS + 37,295 m). Kemudian pada bulan November 2000 dilakukan pengukuran ketinggian (levelling) terhadap BM 1 SPP II-1 ternyata BM tersebut masih stabil / tidak mengalami penurunan

2. Data elevasi tanah pelabuhan dari PT Pelabuhan Indonesia III Terminal Peti Kemas Semarang (TPKS) tahun 2004. Pada bulan November 2004 PT Terminal Peti Kemas Semarang melakukan pengukuran ketinggian BM 1 SPP II-1 dengan mengambil titik referensi dari TTG (Titik Tinggi Geodesi) 447 (MSL + 104,987 m) di Kaliwiru dan hasil pengukuran tersebut berbeda dengan hasil pengukuran tahun 1999 dan 2000 yaitu ketinggian BM 1 SPP II-1 adalah MSL + 2,785 m atau LWS +3.385. Perbedaan ini diduga disebabkan oleh perbedaan titik referensi yang digunakan dalam pengukuran.
3. Data penurunan tanah pelabuhan bulanan dari PT Sriboga. Dalam hal ini PT Sriboga telah melakukan pengukuran penurunan tanah di lokasi perusahaan tersebut yang terletak di kawasan Pelabuhan Tanjung Mas Semarang secara kontinu setiap bulan sejak tahun 1998 dengan mengambil titik referensi lokal, yaitu bench mark yang ada di lingkungan perusahaan tersebut. Untuk lebih jelasnya mengenai kegiatan levelling yang dilakukan oleh PT Sriboga Raturaya dapat kita lihat dalam keterangan berikut (Sriboga Raturaya, 2004):

- a. Saat pembangunan pabrik PT. Sriboga Raturaya th. 1995 referensi Elevasi yang digunakan, adalah dari BM PELINDO dengan nomor titik BPP - M2 nilainya = $LWS + 2.104$ m.
- b. Saat pabrik mulai operasional (TH. 1998) Pelindo melaksanakan pengecekan terhadap titik-titik referensi yang ada di sekitar pelabuhan termasuk titik BM BPP - M.2 (yang digunakan referensi pembangunan PT. Sriboga Raturaya). Hasil pengecekan BM BPP-M2 nilainya : $LWS + 1.258$ m sehingga ada penurunan sebesar = 84.6 CM.
- c. Pada bulan Mei 1998 dimana pembuatan 2 Bolard tambahan telah selesai (konstruksi Bolard ini menggunakan 12 tiang Pancang dengan kedalaman 45 m), sehingga dianggap aman untuk posisi titik referensi.
- d. Nilai referensi titik dari BM Pelindo (BPP-M.2) tersebut disimpan di titik yang posisinya diletakan di Pile Cape Bolard, yang dinamakan **Bolard-B & Bolard-T** dan titik-titik ini digunakan juga sebagai acuan (referensi awal) pelaksanaan monitoring settlement (sejak Mei 1998) untuk area pabrik PT. Sriboga Raturaya, dan pada saat itu titik-titik monitoring dianggap mempunyai nilai nol terhadap referensi titik yang di Bolard.
- e. Pada bulan Juli 2002 dilakukan penarikan elevasi dari titik referensi BM Titik Tinggi Geodesi (TTG) 449 yang posisinya di dataran tinggi Semarang Timur/Banyumanik (dianggap daerah Semarang yang tidak mengalami penurunan) ke titik BM Bolard-B & Bolard-T diperoleh nilai masing-masing sebesar $LWS + 2.130$ m dan $LWS + 2.206$ m. (ini akan digunakan sebagai

acuan untuk mengetahui seberapa besar penurunan titik BM Bolard tersebut nantinya).

- f. Sampai saat ini referensi (BM) untuk pelaksanaan Monitoring Settlement tetap menggunakan titik Bolard-T & Bolard-B yang dianggap penurunannya lebih kecil dibandingkan dengan area yang ada di sekitar PT. Sriboga Raturaya, dan pengecekan elevasi titik-titik Bolard dari BM TTG 449 belum dilakukan lagi, sehingga belum bisa diketahui penurunan titik-titik BM Bolard yang sebagai referensi untuk monitoring settlement.

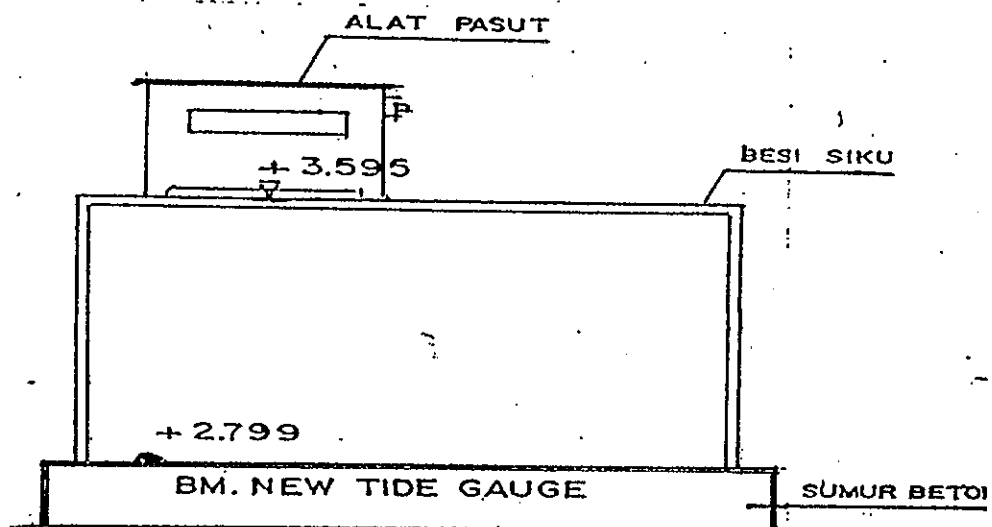
Sedangkan pengambilan data primer yang dilakukan antara lain :

1. Pengukuran beda tinggi antara TTG 447 Kaliwiru dengan BM 6 Pelabuhan di Hotel Siranda. Hal ini dilakukan untuk mencari nilai koreksi antara TTG 447 dengan BM 6 Pelabuhan mengingat adanya perbedaan nilai ketinggian BM 1 SPP II-1 jika diambil dari TTG 447 dan dari BM 6 Pelabuhan seperti yang telah dijelaskan di atas. Kegiatan pengukuran dilakukan dari DTK 340 Elisabet sampai BM 6 Pelabuhan Hotel Siranda dengan metode dua stand. Titik DTK 340 dipilih sebagai titik awal pengukuran karena jalur pengukuran antara TTG 447 sampai BM 1 SPP II-1 pada bulan November 2004 melewati DTK 340.
2. Pengukuran beda tinggi antara Bolard B dan T dengan BM 1 SPP II-1 yang bertujuan untuk mengetahui ada tidaknya penurunan Bolard T dan Bolard B.
3. Pengukuran beda tinggi antara BM stasiun pasut dengan BM 1 SPP II-1. Hal ini dilakukan untuk mengetahui nilai penurunan pada stasiun pasut Semarang karena sejak tahun 1985 sampai sekarang, BM stasiun pasut

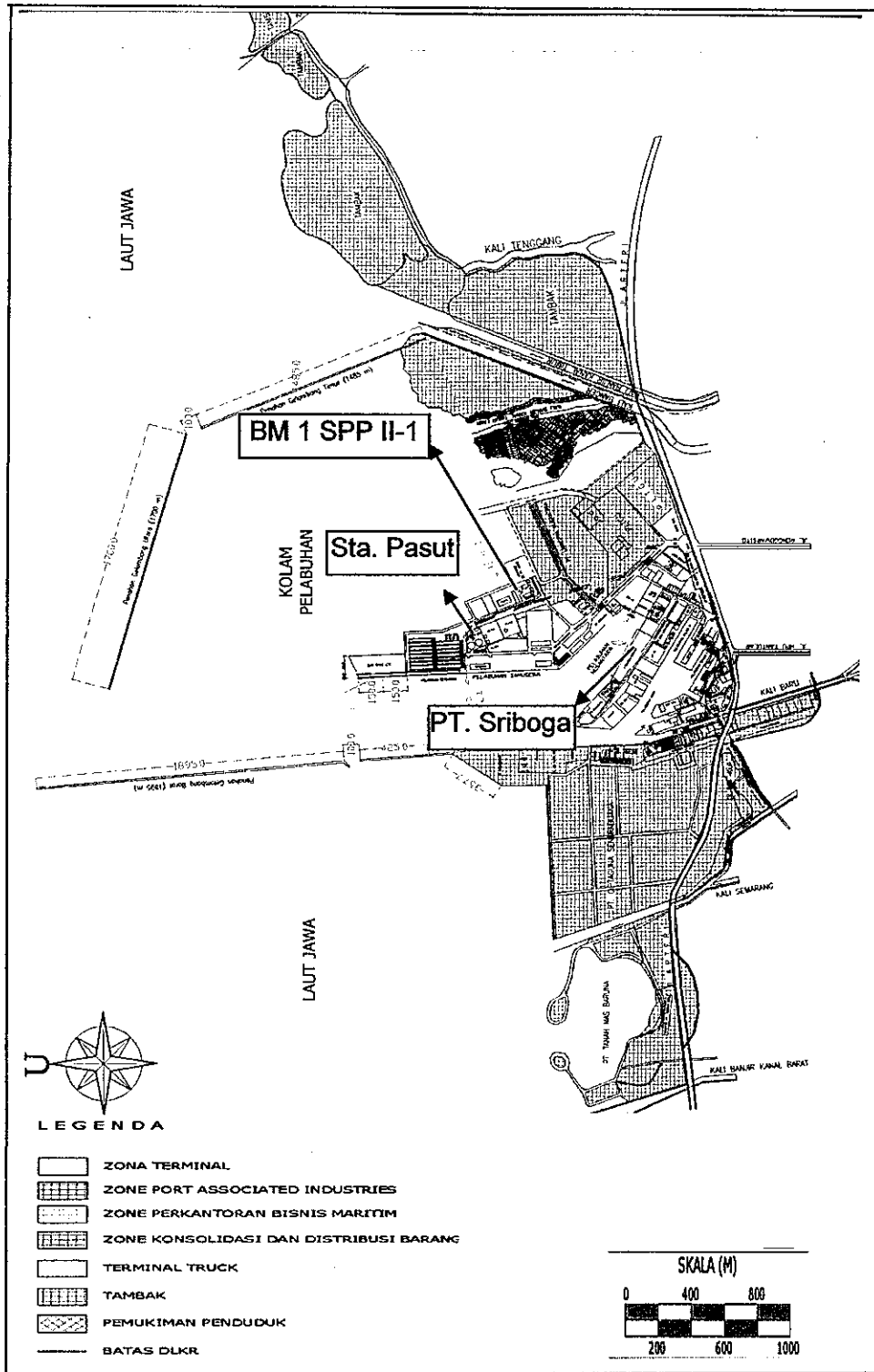
semarang yang diikat pada BPP-M2 ternyata juga mengalami penurunan (gambar 10) sehingga nilai pasang surut yang didapat menjadi tidak akurat. Dengan demikian, nilai penurunan stasiun pasut tersebut bisa menjadi koreksi data pasang surut yang selama ini diperoleh.

Pengukuran beda tinggi yang akan dilakukan, menggunakan metode pengukuran sipat datar dan setiap titik yang akan diukur ketinggiannya dicari letak lintangnya menggunakan GPS. Untuk lebih jelasnya mengenai denah lokasi pengambilan data ini dapat dilihat pada gambar 11 dan 12.

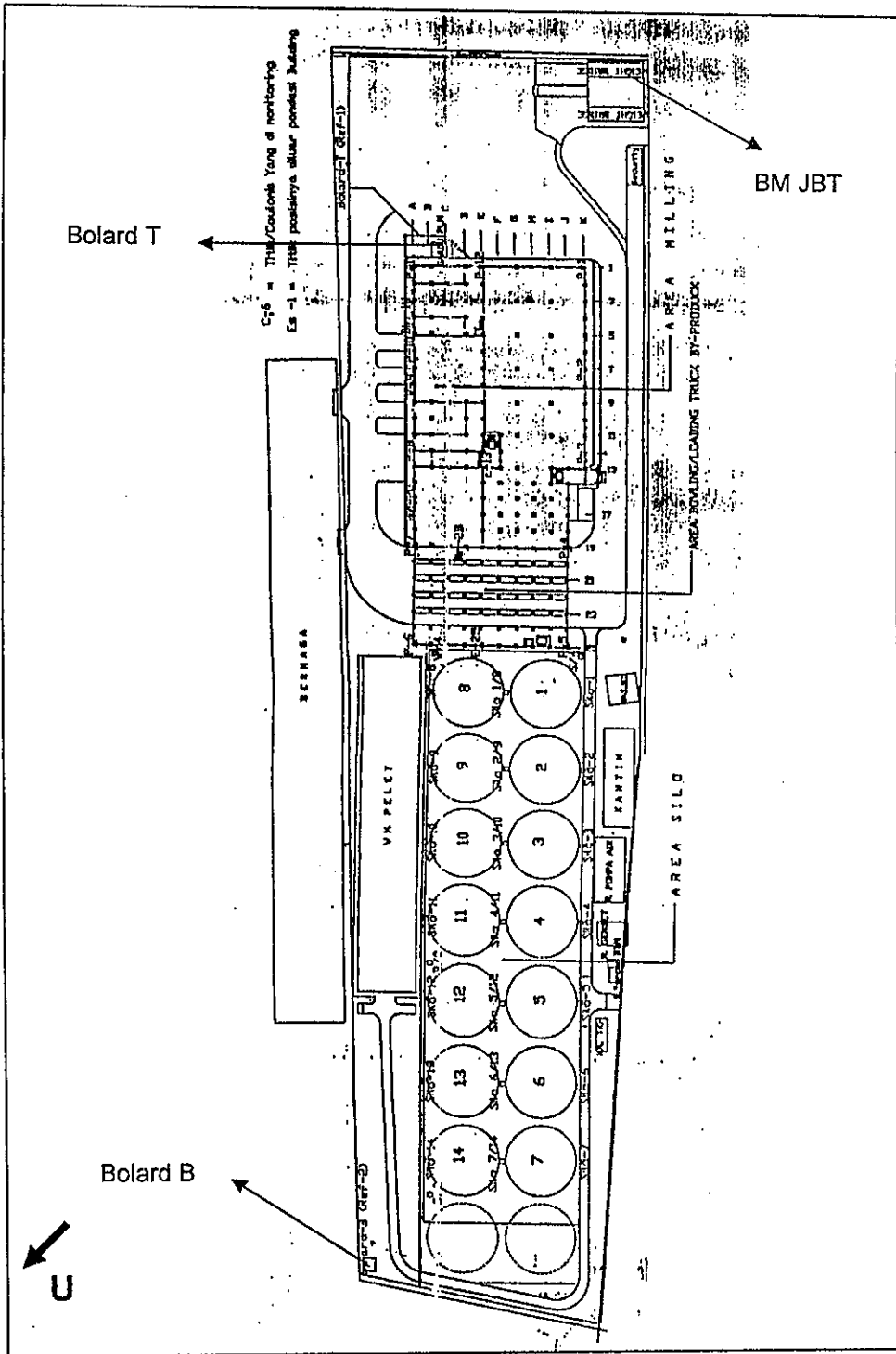
BM. M2 + 2.104



Keterangan : BM stasiun pasut pada ketinggian 2,799 m dari LWS
 Posisi : $06^{\circ}56'31,5''$ LS dan $110^{\circ}25'25,4''$ BT
 Gambar 10. Posisi Ketinggian Stasiun Pasut pada Bulan Mei 1985



Sumber : PT Pelindo III cabang Semarang (2000)
 Gambar 11. Lokasi Penelitian di Pelabuhan Tanjung Mas Semarang



Sumber : Sriboqa Ratu Raya (2004)
Gambar 12. Denah Lokasi PT Sriboqa Ratu Raya

Untuk mengetahui laju penurunan tanah di beberapa lokasi di Semarang digunakan berbagai data elevasi titik ketinggian yang berada di dalam wilayah Semarang dari berbagai sumber. Kemudian lokasi dari titik-titik tersebut dicari posisinya dengan menggunakan GPS.

Sedangkan pengambilan data pasang surut bertujuan untuk mendapatkan informasi mengenai perkembangan kedudukan muka laut rata-rata di perairan Semarang. Data pasang surut yang dikumpulkan merupakan data sekunder. Data tersebut antara lain :

1. Data pasang surut harian di perairan Semarang di bulan Oktober, November, Desember 2004 dan Januari, Februari, Maret 2005 selama 29 hari yang didapatkan dari PT Pelabuhan Indonesia Semarang
2. Data pasang surut bulanan selama 20 tahun terakhir yang didapatkan dari PT Pelabuhan Indonesia Semarang dan JICA

Selain data utama, untuk mendukung penelitian ini maka dilakukan pula pengumpulan data-data yang dilakukan secara primer maupun sekunder. Data sekunder yang dikumpulkan antara lain:

- data perubahan tata guna lahan di kawasan pesisir Semarang
- pengambilan air tanah
- data pasang surut di Perairan Jepara sebagai pembanding data pasang surut Semarang
- data kenaikan muka laut di beberapa tempat di Indonesia

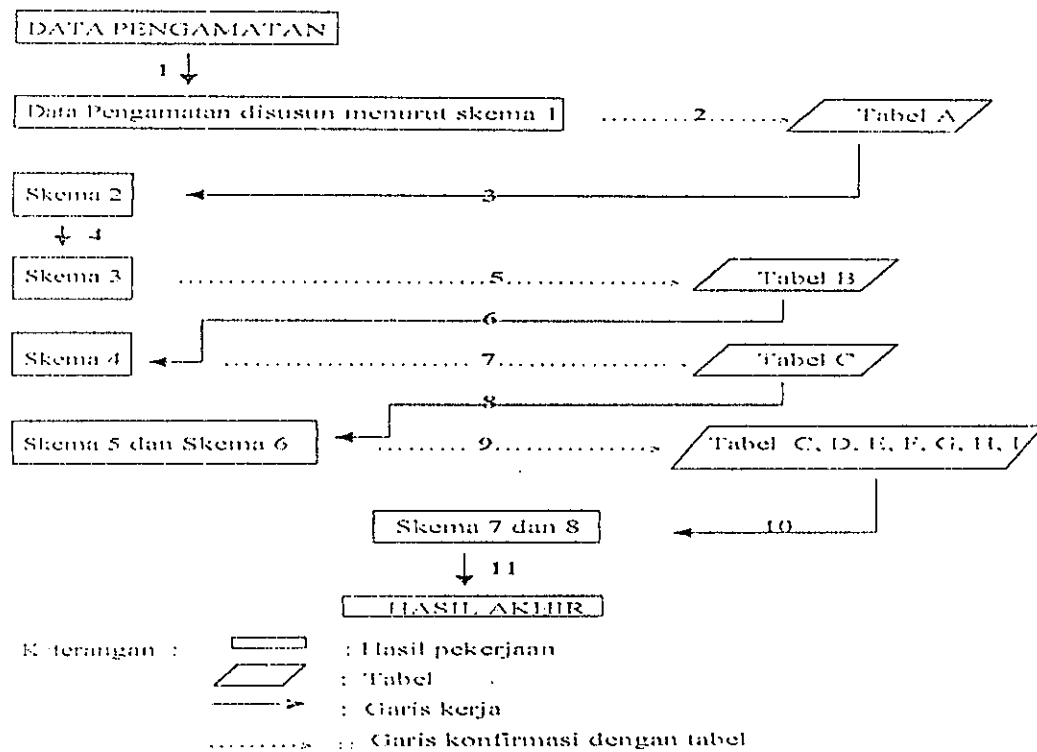
Data-data tersebut didapatkan dari BAPPEDA kota Semarang, DPU kota Semarang, Dinas Tata Kota Semarang dan instansi lain yang berkaitan dengan penanganan

Untuk data sebaran titik genangan rob, juga dilakukan pengambilan data primer yaitu dengan cara mencari titik-titik lokasi di Semarang yang terkena rob saat terjadi pasang tertinggi, kemudian dicatat posisinya dengan menggunakan GPS. Untuk dapat menentukan waktu pasang tertinggi, digunakan buku ramalan pasut yang diterbitkan oleh Dishidros

3.3.2. Analisa Data

1. Analisa data pasang surut harian

Data pasang surut harian bulan September, Oktober, November, Desember 2004, Januari, Februari dan Maret 2005 masing-masing dianalisa dengan menggunakan metode Admiralty 29 hari dan hasilnya dirata-rata sehingga hasil akhirnya akan diketahui komponen-komponen pembangkit pasang di perairan Semarang yang dapat digunakan untuk mengetahui nilai MSL, LLW, HHW dan tipe pasang surut. Skema perhitungan komponen pasang surut metode admiralty adalah sebagai berikut:



Gambar 13. Skema Analisa Pasut Metode Admiralty

Skema 1

Berisi data pasang yang telah dikoreksi, dimana ke kanan menunjukkan jam pengamatan dan ke bawah adalah tanggal pengamatan

Skema II

Untuk setiap kali pengukuran, ditentukan bacaan positif(+) dan negatif(-) untuk X_1 , Y_1 , X_2 , Y_2 , X_4 , dan Y_4 . Besaran positif (+) dan negatif (-) dari suatu komponen pada saat tertentu diperoleh dengan mengalikan besaran untuk komponen tersebut pada lampiran 1 (Tabel A) dengan pengukuran pada saat atau tanggal tersebut.

Skema III

X_0 diisi dengan menjumlahkan harga X_1+ dan X_1- baris ke-1 dari skema II tanpa

menghiraikan tandanya. Sebagai kontrol dilakukan hal serupa untuk Y1 yang mempunyai harga (+) dan (-) dan seterusnya. Untuk X1, Y1, X2, Y2, X4, dan Y4 di isi dengan menjumlahkan komponen pada skema II tapi dengan memperhatikan tandanya. Untuk menjaga agar harganya tidak negatif bisa ditambahkan angka tetap, yaitu 500, 1000, 2000 dan seterusnya. Sedangkan dalam perhitungan ini akan ditambahkan angka tetap 1000.

Skema IV

Di isi dengan bantuan lampiran 1 (tabel B). Arti indeks pada skema ini adalah:

- Indeks 00 untuk X berarti X₀₀. Indeks 00 untuk Y berarti Y₀₀. Dan seterusnya hingga indeks 4d.
- Harga X₀₀ adalah jumlah harga X₀ yang telah dikalikan dengan faktor pengali pada tabel B, demikian juga untuk harga Y₀₀, X₁₀, Y₁₀, X₁₂, X_{1b}, Y_{1b}, X₁₃, Y₁₃, X_{1c}, Y_{1c}, X₂₀, Y₂₀, X₂₂, X_{2b}, X₂₃, X_{2c}, Y_{2c}, X₄₂, Y₄₂, X_{4b}, X₄₄, Y₄₄, X_{4d}, Y_{4d}.

Skema V

Pada skema V ini berisi 9 kolom dan untuk menyelesaikan perhitungannya dengan cara mengalikan data pada skema IV dengan lampiran 1 (Tabel C).

a. Hitungan kolom 1

Merupakan harga dari data skema IV untuk komponen-komponen X₀₀, X₁₀, X₁₂, Y_{1b}, X₁₃-Y_{1c}, X₂₀, X₂₂-Y_{2b}, X₂₃-Y_{2c}, X₄₂-Y_{4b}, dan X₄₄-Y_{4d}.

b. Hitungan kolom 2 sampai dengan 9

Besaran-besaran yang terdapat pada kolom 1 dikalikan dengan besaran-besaran yang terdapat pada lampiran 1 (Tabel C) dengan urutan S₀, M₂, S₂,

N2,K1,01,M4,MS4.

Skema VI

Pada skema VI ini berisi 9 kolom dan untuk menyelesaikan perhitungannya dengan cara mengalikan data pada skema IV dengan lampiran 1 (Tabel C).

a. Hitungan kolom 1

Merupakan harga dari data skema IV untuk komponen-komponen Y_{10} , Y_{12} , X_{1b} , $Y_{13} + X_{1c}$, Y_{20} , $Y_{22} + X_{2b}$, $Y_{23} + X_{2c}$, $Y_{42} + X_{4b}$, dan $Y_{44} + X_{4d}$.

b. Hitungan kolom 2 sampai dengan 9

Besaran-besaran yang terdapat pada kolom 1 dikalikan dengan besaran-besaran yang terdapat pada lampiran 1 (Tabel C) dengan urutan S_0 , M_2 , S_2 , $N_2, K_1, 01, M_4, MS_4$.

Skema VII

Skema VII di isi dengan bantuan lampiran 1 (Tabel C, D, E, F,G,H,I) dan skema VIII.

Sedangkan tahap dari penyusunan skema VII adalah sebagai berikut:

a. Menghitung besaran $PR \cos r$

Besaran $PR \cos r$ untuk setiap komponen dihitung melalui skema V. Perhitungannya dilaksanakan dengan menjumlahkan besaran-besaran yang terdapat pada kolom tersebut.

b. Menghitung besaran $PR \sin r$

Besaran $PR \sin r$ untuk setiap komponen dihitung melalui skema VI. Perhitungannya dilaksanakan dengan menjumlahkan besaran-besaran yang terdapat pada kolom tersebut.

c. Menghitung besaran PR

Besaran PR untuk setiap komponen dihitung pada skema VII, dihitung melalui persamaan berikut:

$$(PR)^2 = (PR \cos r)^2 + (PR \sin r)^2$$

d. Menentukan besaran p

Besaran p diperoleh dari lampiran 1 (Tabel C) kemudian diisikan pada skema VII.

e. Menentukan besaran f

Berdasarkan waktu menengah pengukuran, diperoleh harga f dengan cara interpolasi pada lampiran 1 (Tabel E).

f. Menentukan harga V'

Dengan melihat lampiran 1 (Tabel F) dan berdasarkan pada tahun waktu menengah pengukuran, diperoleh harga V' dari M2, N2, KI, dan O1.

g. Menentukan harga V''

Dengan melihat lampiran 1 (Tabel G) dan berdasarkan pada tahun waktu menengah pengukuran, diperoleh harga V'' dari M2, N2, KI, dan O1.

h. Menentukan harga V'''

Dengan melihat lampiran 1 (Tabel H) dan berdasarkan pada tahun waktu menengah pengukuran, diperoleh harga V''' dari M2, N2, KI, dan O1.

i. Menentukan harga V

Harga V merupakan penjumlahan dari V', V'', V''', dimana ini hanya berlaku untuk komponen M2, N2, KI, dan O1. Sedangkan harga V dari komponen yang lain adalah $V(S2) = V(S0) = 0$, $V(M4) = 2 \cdot V(M2)$, $V(MS4) = V(M2)$.

j. Menentukan harga u

Harga u ditentukan dengan menggunakan bantuan lampiran 1 (Tabel I) berdasarkan interpolasi waktu menengah pengukuran. Dari interpolasi ini diperoleh harga u dari M2, K.1 dan O1. Sedangkan harga u dari komponen lainnya adalah $u(S_0) = u(S_2) = 0$, $u(N_2) = u(M_2)$, $u(M_4) = 2 \times u(M_2)$ dan $u(MS_4) = u(M_2)$.

k. Menentukan harga p

Dengan memakai lampiran 1 (Tabel C) diperoleh harga p untuk semua komponen.

l. Menentukan harga r

Harga r untuk setiap komponen diperoleh dari inv tangen $PR \sin r : PR \cos r$ dengan bantuan lampiran 1 (Tabel D).

m. Untuk menentukan harga dari ω , $(1 + W)$, g, kelipatan dari 360° , A cm dan g° terlebih dahulu harus mengisi skema VIII.

Skema VIII

Pada skema VIII dibagi menjadi 3 kelompok, yaitu :

a. Untuk menghitung o dan $(1 + W)$ dari S2 dan MS4. Sedangkan tahapan perhitungannya adalah sebagai berikut:

1. Baris 1 adalah harga V (K1), baris 2 adalah harga u (k1), dan baris 3 adalah penjumlahan baris 2 dan 3.
2. Harga (ω / f) S2 dan (W / f) S2 didapatkan dari lampiran 1 (Tabel .J) dan diisi pada baris 4 dan 5. Untuk harga f (K2) diisi dari lampiran 1 (Tabel E).
3. Harga $W = \omega / f$ fdi mana W ini adalah $W(S_2) = W(MS_4)$, sehingga harga

$(1 + W)$ dapat ditentukan.

- b. Untuk menghitung ω dari $(1 + W)$ dari K1. Sedangkan tahapan perhitungannya sama dengan kelompok di atas.
- c. Untuk menghitung ω dari $(1 + W)$ dari N2. Tahapan perhitungannya sama dengan kelompok 1 dan 2 di atas.

Setelah skema VIII selesai diisi, maka kembali lagi pada skema VII untuk mengisi harga dari g , kelipatan 360° , amplitudo dan g° .

1. Menentukan besaran g

Besaran g suatu komponen ditentukan melalui persamaan :

$$g = V + u + \omega + p + r$$

dari persamaan diatas akan didapat harga g dari M2, S2, N2, K1, O1, M4, dan MS4. Sedangkan untuk harga dari $S_0 = 0$.

2. Menentukan kelipatan dari 360°

Kelipatan dari 360° di sini dimaksudkan untuk mencari harga kelipatan dari 360° terhadap harga g .

3. Menentukan amplitudo (A)

Untuk menentukan amplitudo, dicari dengan persamaan sebagai berikut:

$$A = PR / p \times (1 + W)$$

Persamaan di atas berlaku untuk komponen S_0 , M2, S2, N2, K1, O1, M4, dan MS4. Sedangkan untuk $A(K2) = A(S2) \times 0,27$ dan $A(P1) = A(K1) \times 0,33$.

4. Menentukan kelambatan fase (g°)

Untuk menentukan besar g° ditentukan melalui persamaan sebagai berikut:

$$g^\circ = g \text{ (yang dihitung dari 0)} - (\text{kelipatan } 360^\circ)$$

Persamaan diatas berlaku untuk komponen M2, S2, N2, K1, O1, M4, dan MS4.

Sedangkan untuk $g_0(S_0) = 0$, $g_0(S_2)$ dan $g_0(P_1) = g_0(K_1)$.

Setelah amplitudo dan kelambatan fase diketahui, tahap berikutnya adalah menghitung duduk tengah, air rendah terendah, air tinggi tertinggi, tipe pasang dan tunggang air.

1. Duduk tengah (MSL) $MSL = A(S_0)$
2. Air rendah terendah (LLW = muka surutan menurut definisi Hidrografi Internasional)

$$LLW = A(S_0) - \{ A(M_2) + A(S_2) + A(N_2) + A(K_1) + A(O_1) + A(P_1) + A(K_2) + A(M_4) + A(MS_4) \}$$

3. Air tinggi tertinggi (HHW)

$$HHW = A(S_0) + \{ A(M_2) + A(S_2) + A(K_1) + A(O_1) + A(P_1) + A(K_2) \}$$

4. Tipe pasang, dapat ditentukan dengan rumus

$$F = \frac{O_1 + K_1}{M_2 + S_2}$$

Jika nilai F:

- $< 0,25$: Pasut bertipe harian ganda
- $0,26 - 1,50$: Pasut tipe campuran condong ke harian ganda
- $1,50 - 3,00$: pasut tipe campuran condong ke harian tunggal
- $> 3,00$: Pasut bertipe harian tunggal

2. Analisis Data Pasang Surut Bulanan

Data pasang surut bulanan tiap jam yang didapatkan dari AWLR dianalisa untuk mendapatkan nilai MSL bulanan. Data pasang surut tersebut dianalisa dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Pariwono, 1995):

$$X_i = \frac{1}{N} \times \sum_{j=1}^n X_j$$

Keterangan : X_i = nilai rerata ketinggian muka laut bulan ke i

N = Jumlah jam pengamatan dalam 1 bulan

X_j = Tinggi muka laut pada jam ke j

Data MSL bulanan ini kemudian dideskripsikan dalam bentuk tabel dan grafik runtun waktu (time-series) sehingga akan terlihat tren dari kedudukan muka air laut rata-rata dalam kurun waktu 20 tahun terakhir.

3. Analisis Data Penurunan Tanah di Stasiun Pasut

Data penurunan tanah yang diperoleh, dianalisa secara deskriptif dalam bentuk tabel dan grafik. Kemudian dicari nilai penurunan tanah di stasiun pasut per tahun. Lalu data penurunan tanah di pelabuhan ini digunakan untuk mengoreksi data pasang surut yang didapat, sehingga didapatkan nilai kenaikan muka laut yang sebenarnya yaitu yang disebabkan oleh adanya global warming dan nilai penurunan tanah di stasiun pasut yang seolah-olah menyebabkan muka laut menjadi semakin naik.

Nilai kenaikan muka laut dan penurunan tanah di stasiun pasut dihubungkan dengan data penurunan muka tanah di beberapa titik di Semarang, pengambilan air tanah, perubahan tata guna lahan di daerah pesisir Semarang dan sebaran rob sehingga akan diketahui keterkaitan di antara faktor-faktor tersebut.

4. Analisa Data Penurunan Tanah di Wilayah Semarang

Data elevasi beberapa titik di wilayah Semarang dianalisa secara dekriptif, dari semua data elevasi yang ada dicari penurunan di tiap titik per tahun. Kemudian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil

4.1.1. Pasang Surut

Data pasang surut harian dari bulan September 2004, sampai Maret 2005 dianalisa dengan metode admiralty 29 hari dan hasilnya dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3. Perhitungan Pasang Surut Perairan Semarang Periode September 2004-Maret 2005 dengan Metode Admiralty 29 hari

Bulan	So	M2	S2	N2	K2	K1	O1	P1	M4	MS4	F	Zo	LLW	HHW
Sept '04	83	7,6	12	2,4	2,7	15	9,5	4,9	0,4	0,5	1,3	54	83	134
Okt '04	78	12	13	3,3	3	15	7,5	5,1	0,3	0,8	0,9	60	78	134
Nov '04	79	13	12	3,7	2,7	19	6,5	6,3	0,3	1,7	1	65	79	138
Des '04	74	13	8,2	4,6	1,9	21	4,1	7,1	0,7	1	1,2	62	74	130
Jan '05	75	12	3,4	4,5	0,8	21	4,7	6,8	0,8	0,3	1,7	54	75	123
Feb '05	70	11	8	3,9	1,8	16	6	5,4	0,7	0,5	1,2	54	70	118
Mar '05	67	12	12	3,3	2,9	12	6	3,9	0,5	0,8	0,7	54	67	116
rata-rata	75	12	9,8	3,7	2,2	17	6,3	5,6	0,5	0,8	1,1	58	75*	138[^]

Keterangan : * : nilai terendah [^] : Nilai tertinggi

Dari tabel diatas maka tipe pasang surut di perairan Semarang adalah campuran cenderung ganda karena $0,26 < F < 1,50$. (ref : Bab 2.1.5)

4.1.2. Perkembangan Muka Air Laut Rata-rata (MSL) di Perairan Semarang

Data pasang surut yang didapat, diperoleh dari 2 sumber. Sumber pertama adalah JICA yaitu data rata-rata muka air laut tahunan tahun 1982-1995 dan data pasang surut harian bulan Mei 1985 – Desember 1999 dan yang kedua adalah Pelindo III Cabang Semarang, yaitu data pasang surut perjam bulan Januari 1993-Juni 2005. Data tersebut kemudian dianalisis untuk memperoleh MSL bulanan dan MSL tahunan, dan hasilnya dapat dilihat pada tabel 4 dan 5 :

Tabel 4. MSL Bulanan di Perairan Semarang Bulan Mei 1985-Mei 2005

Bulan	MSL (cm)	Bulan	MSL (cm)	Bulan	MSL (cm)	Bulan	MSL (cm)
May-85	84,12	Nov-88	88,72	May-92	112,19	Nov-95	128
Jun-85	88,58	Dec-88	80,30	Jun-92	113,69	Dec-95	134
Jul-85	87,21	Jan-89	90,14	Jul-92	[^] 112,89	Jan-96	*135,5
Aug-85	[^] 102,25	Feb-89	77,84	Aug-92	104,02	Feb-96	*135,5
Sep-85	77,35	Mar-89	87,70	Sep-92	100,27	Mar-96	*135,5
Oct-85	83,94	Apr-89	87,14	Oct-92	108,11	Apr-96	*135,5
Nov-85	80,89	May-89	99,52	Nov-92	105,42	May-96	*135,5
Dec-85	82,15	Jun-89	100,37	Dec-92	109,08	Jun-96	*135,5
Jan-86	79,08	Jul-89	[^] 101,32	Jan-93	103	Jul-96	*135,5
Feb-86	75,56	Aug-89	98,26	Feb-93	105	Aug-96	*135,5
Mar-86	76,79	Sep-89	92,61	Mar-93	104	Sep-96	*135,5
Apr-86	80,98	Oct-89	94,91	Apr-93	110	Oct-96	*135,5
May-86	[^] 88,42	Nov-89	94,52	May-93	[^] 116	Nov-96	*135,5
Jun-86	80,66	Dec-89	95,67	Jun-93	[^] 116	Dec-96	*135,5
Jul-86	76,99	Jan-90	94,41	Jul-93	108	Jan-97	*135,5
Aug-86	76,08	Feb-90	87,59	Aug-93	110	Feb-97	*135,5
Sep-86	73,19	Mar-90	89,40	Sep-93	107	Mar-97	*135,5
Oct-86	75,59	Apr-90	95,34	Oct-93	108	Apr-97	137
Nov-86	76,69	May-90	100,10	Nov-93	107	May-97	[^] 143
Dec-86	74,38	Jun-90	[^] 100,23	Dec-93	112	Jun-97	*140,5
Jan-87	72,06	Jul-90	99,22	Jan-94	113	Jul-97	138
Feb-87	74,04	Aug-90	99,48	Feb-94	111	Aug-97	139,6
Mar-87	79,23	Sep-90	96,01	Mar-94	111	Sep-97	141,9
Apr-87	79,99	Oct-90	96,63	Apr-94	[^] 117	Oct-97	123,4
May-87	[^] 89,12	Nov-90	93,62	May-94	116	Nov-97	124,2
Jun-87	85,27	Dec-90	92,97	Jun-94	110	Dec-97	*125
Jul-87	85,17	Jan-91	92,44	Jul-94	108	Jan-98	125,8
Aug-87	80,53	Feb-91	87,78	Aug-94	108	Feb-98	128,9
Sep-87	74,19	Mar-91	104,34	Sep-94	104	Mar-98	97,6
Oct-87	74,90	Apr-91	98,38	Oct-94	108	Apr-98	93,2
Nov-87	77,13	May-91	[^] 109,56	Nov-94	109	May-98	136
Dec-87	83,55	Jun-91	99,24	Dec-94	110	Jun-98	[^] 146,8
Jan-88	83,24	Jul-91	98,02	Jan-95	110	Jul-98	136
Feb-88	77,19	Aug-91	93,55	Feb-95	114	Aug-98	128
Mar-88	80,97	Sep-91	90,35	Mar-95	116	Sep-98	*91,7
Apr-88	89,81	Oct-91	97,72	Apr-95	120	Oct-98	*91,7
May-88	[^] 96,13	Nov-91	94,91	May-95	*123,5	Nov-98	*91,7
Jun-88	95,71	Dec-91	97,10	Jun-95	*123,5	Dec-98	55,4
Jul-88	86,15	Jan-92	95,61	Jul-95	[^] 127	Jan-99	66,5
Aug-88	86,49	Feb-92	85,36	Aug-95	123	Feb-99	82
Sep-88	82,74	Mar-92	99,38	Sep-95	120	Mar-99	85
Oct-88	86,06	Apr-92	98,86	Oct-95	124	Apr-99	[^] 89,5

Bulan	MSL (cm)	Bulan	MSL (cm)	Bulan	MSL (cm)	Bulan	MSL (cm)
May-99	*87,9	Dec-00	75,21	Jul-02	180,4	Feb-04	65,03
Jun-99	86,3	Jan-01	74,11	Aug-02	186,6	Mar-04	73,84
Jul-99	72,9	Feb-01	74,45	Sep-02	^190,7	Apr-04	80,09
Aug-99	73	Mar-01	74,89	Oct-02	187,9	May-04	83,49
Sep-99	73,4	Apr-01	75,13	Nov-02	184,5	Jun-04	82,91
Oct-99	72,8	May-01	^80,49	Dec-02	185,9	Jul-04	^88,26
Nov-99	62,3	Jun-01	78,08	Jan-03	187,5	Aug-04	77,98
Dec-99	77,4	Jul-01	*83,26	Feb-03	138,9	Sep-04	83,11
Jan-00	84,23	Aug-01	*83,26	Mar-03	74,89	Oct-04	78,78
Feb-00	83,8	Sep-01	*83,26	Apr-03	77,55	Nov-04	76,08
Mar-00	81,35	Oct-01	*83,26	May-03	^84,18	Dec-04	74,27
Apr-00	84,33	Nov-01	*83,26	Jun-03	78,58	Jan-05	75,19
May-00	85,05	Dec-01	*83,26	Jul-03	68,14	Feb-05	63,05
Jun-00	85,24	Jan-02	88,44	Aug-03	66,77	Mar-05	67,08
Jul-00	^82,25	Feb-02	88,91	Sep-03	68,89	Apr-05	78,19
Aug-00	73,35	Mar-02	91,88	Oct-03	71,23	Mei-05	94,83
Sep-00	77,38	Apr-02	134,7	Nov-03	70,8	Jun-05	89,84
Oct-00	78,32	May-02	163,3	Dec-03	72,47		
Nov-00	*67,31	Jun-02	173,6	Jan-04	70,96		

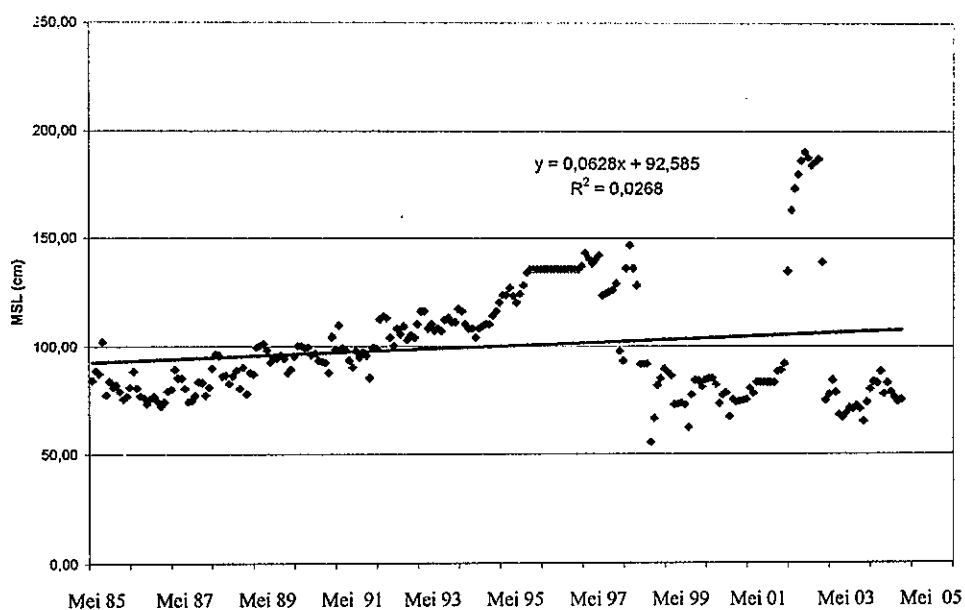
Keterangan: * = Hasil Interpolasi

^ = Nilai MSL tertinggi dalam 1 tahun

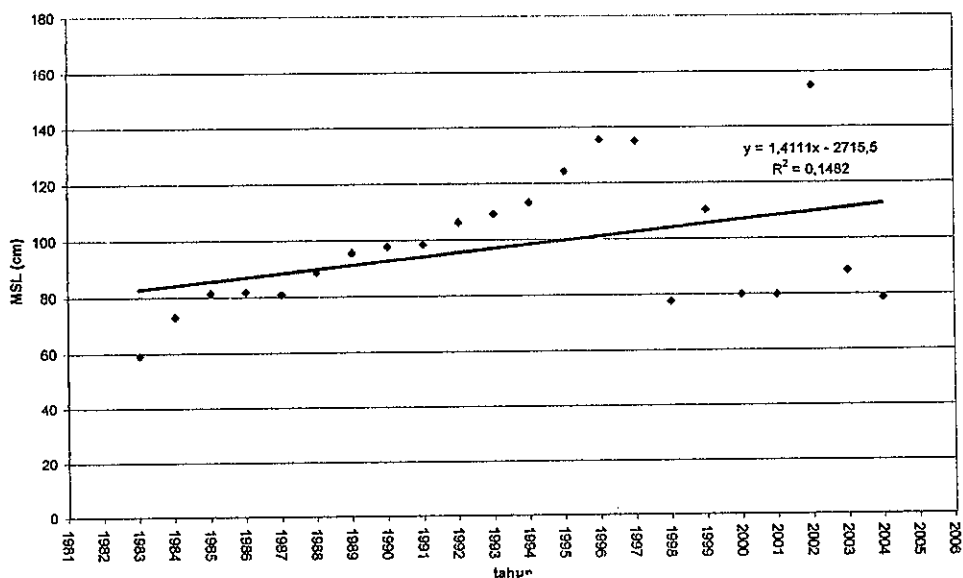
Tabel 5. MSL Tahunan di Perairan Semarang Tahun 1983-2004

Tahun	MSL (cm)	Tahun	MSL (cm)
1983	58,90	1995	124,00
1984	72,70	1996	135,50
1985	81,20	1997	134,93
1986	81,70	1998	110,25
1987	80,60	1999	77,42
1988	88,60	2000	79,82
1989	95,40	2001	79,73
1990	97,50	2002	154,74
1991	98,30	2003	88,33
1992	106,00	2004	78,41
1993	109,00		
1994	113,00		

Nilai MSL bulanan dan MSL tahunan di atas dapat dideskripsikan dalam grafik sebagai berikut :



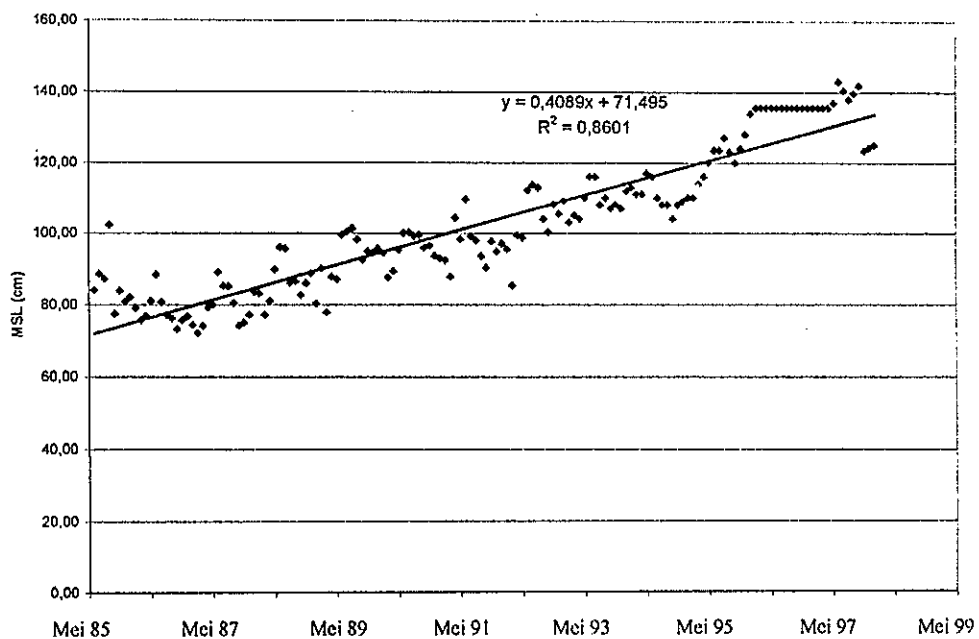
Gambar 14. Grafik MSL Bulanan Perairan Semarang Bulan Mei 1985-Mei 2005



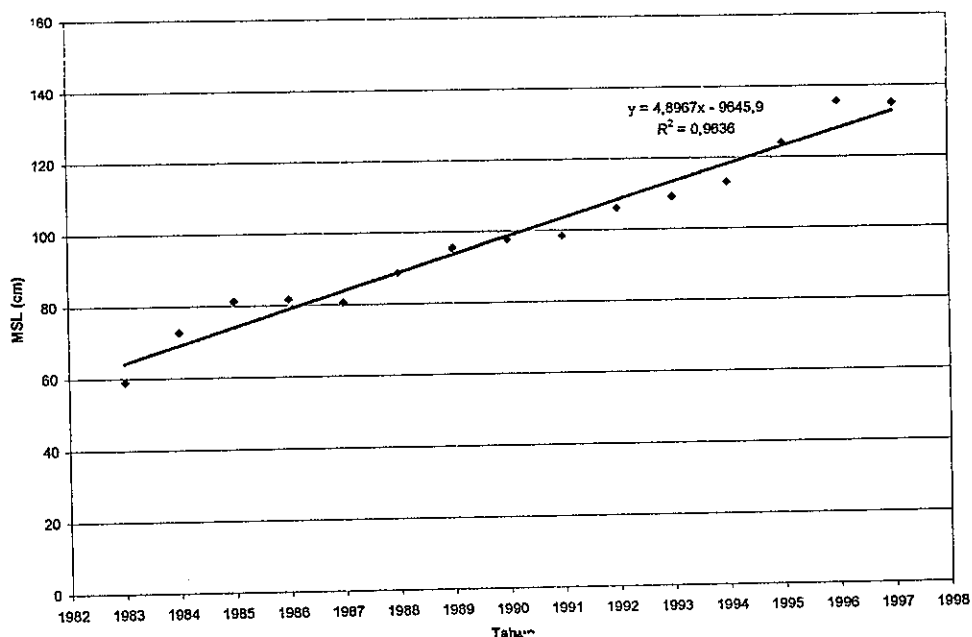
Gambar 15. Grafik MSL Tahunan Perairan Semarang Tahun 1983-2004

Dari kedua grafik diatas terlihat bahwa di perairan Semarang terjadi kenaikan muka air laut sampai tahun 1997, setelah itu muka air laut mengalami

penurunan drastis. Hal ini diduga disebabkan karena alat pengukur pasut telah mengalami koreksi, yaitu dinaikkannya posisi rambu pasut karena tenggelamnya rambu pasut tersebut akibat naiknya muka air laut. Selain itu juga kemungkinan disebabkan oleh rusaknya alat pengukur pasut sehingga mulai tahun 1998-2005 data kedudukan muka air laut tersebut tidak bisa dipergunakan untuk mengetahui perkembangan kedudukan muka air laut di perairan Semarang. Untuk perkembangan muka air laut tahun 1982-1997 dapat dilihat pada grafik berikut :



Gambar 16. Grafik MSL Bulanan Perairan Semarang Mei 1985-Desember 1997



Gambar 17. Grafik MSL Tahunan Perairan Semarang 1983-1997

Gambar 16 dan 17 memperlihatkan terjadinya kenaikan muka air laut di Perairan Semarang mendekati pola linier dan untuk memprediksi kenaikan muka air laut pada tahun-tahun mendatang bisa digunakan rumus persamaan garis linier :

$$Y = 4,8967 X - 9645,9$$

Keterangan : Y = tinggi MSL (cm)

X = Tahun

$$R^2 = 0,9636$$

Sedangkan rata-rata kenaikan muka laut tiap tahun di Perairan Semarang adalah sebesar 5,43 cm/tahun. Untuk lebih jelasnya mengenai kenaikan muka air laut pertahun di perairan Semarang dapat dilihat pada tabel 6 :

Tabel 6. Kenaikan Muka Air Laut Rata-rata Pertahun di Perairan Semarang

No	Tahun	Besar Kenaikan (cm)
1	1983-1984	13,8
2	1984-1985	8,5
3	1985-1986	0,5
4	1986-1987	-1,1
5	1987-1988	8
6	1988-1989	6,8
7	1989-1990	2,1
8	1990-1991	0,8
9	1991-1992	7,7
10	1992-1993	3
11	1993-1994	4
12	1994-1995	11
13	1995-1996	11,5
14	1996-1997	-0,58
	Rata-rata	5,43

4.1.3. Penurunan Tanah di Wilayah Semarang

Data penurunan tanah di wilayah Semarang terdiri dari data primer dan sekunder. Data sekunder yang berupa data ketinggian beberapa titik di Semarang diperoleh dari berbagai sumber yaitu : Indah Karya Persero, Dinas Tata Kota Semarang, Tim Peneliti UNDIP, PT Sriboga Ratu Raya, PT Pelindo III Cabang Tanjung Mas dan PT Pelindo III Terminal Peti Kemas Semarang (TPKS). Akan tetapi data-data tersebut tidak bisa langsung dianalisa karena ada beberapa permasalahan yang terkait dengan data tersebut antara lain :

1. Setiap sumber memiliki titik referensi yang berbeda dalam menentukan letak ketinggian suatu tempat dan ketinggian titik referensi tersebut ada yang diukur dari MSL dan ada yang dari LWS (Low Water Spring), yaitu :
 - a. Indah Karya Persero, PT Sriboga Ratu Raya mengambil titik referensi TTG (Titik Tinggi Geodesi) 449 di Spondol dengan ketinggian titik referensi diukur dari MSL.

- b. Tim Peneliti UNDIP, Dinas Tata Kota Semarang, Pelindo III Terminal Peti Kemas Semarang mengambil titik referensi di TTG 447 Kaliwiru dengan ketinggian titik referensi diukur dari MSL.
 - c. PT Pelindo III cabang Tanjung Mas mengambil titik referensi di BM 6 Pelabuhan di depan Hotel Siranda dengan ketinggian titik referensi diukur dari LWS (Low Water Spring).
2. Meskipun menggunakan titik referensi yang sama, akan tetapi nilai ketinggian titik referensi tersebut tidak sama.
- a. Ketinggian TTG 449 menurut Indah Karya Persero (1997) dalam Pelindo III cabang Tanjung Emas (2000) adalah +220,613 m dari MSL. Sedangkan menurut PT Sriboga Ratu Raya (2002) adalah +221,004 m dari MSL
 - b. Ketinggian TTG 447 menurut Muhrozi dkk (1997) (Peneliti UNDIP) adalah +105,367 m dari MSL. Sedangkan menurut PT Pelindo III Terminal Peti Kemas Semarang (2004) adalah +104,987 m dari MSL.

Pemecahan permasalahan di atas adalah sebagai berikut :

1. Menggunakan titik referensi TTG 449 atau TTG 447 karena kedua titik tersebut berasal dari satu pengukuran sehingga saat mengukur ketinggian kedua titik tersebut menggunakan referensi yang sama. Menurut Muhrozi dkk (1997) titik-titik TTG diperoleh dari Buku Daftar Titik-titik Tetap BAKOSURTANAL, dimana nilai ketinggian titik-titik tersebut diperoleh melalui pengukuran waterpass teliti yang dilakukan sebelum tahun 1984 dan dikenal dengan istilah TTG (Titik Tinggi Geodesi). Data tersebut diperkirakan dihitung berdasarkan permukaan air laut rata-rata (MSL) yang dikeluarkan oleh

Kementrian Perhubungan Laut. Di samping itu kedua titik tersebut juga stabil/ tidak mengalami penurunan. Sedangkan untuk titik BM 6 Pelabuhan kemungkinan mengalami penurunan karena menurut penelitian Muhrozi *dkk* (1997) dan Yulianto *dkk* (2004) di DTK 341 Jl Sisingamangaraja (depan AKPOL) sudah mengalami penurunan. Jadi BM 6 Pelabuhan yang terletak di Hotel Siranda (di bawah DTK 341) juga mengalami penurunan sehingga BM 6 Pelabuhan tidak dapat dijadikan titik referensi. Kemudian untuk ketinggian suatu titik disamakan, diukur berdasarkan MSL dengan rumus :

$$El_{MSL} = El_{LWS} - 0,6$$

El_{MSL} = elevasi titik berdasarkan MSL (m)

El_{LWS} = elevasi titik berdasarkan LWS (m)

Angka 0,6 diperoleh berdasarkan jarak antara MSL dan LWS di perairan Semarang adalah 60 cm. Menurut buku ramalan tahunan Pasang Surut yang diterbitkan oleh Kantor Jawatan Hydrografi Jakarta *dalam* Pelindo III Cabang Tanjung Emas (1998) kondisi pasang surut di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang pada dasarnya tidak mengalami perubahan drastis, dimana nilai duduk tengah (MSL) masih tetap yaitu sebesar 60 cm, ini berarti antara duduk tengah dengan air tinggi (HWS) mempunyai jarak 60 cm dan begitu juga antara duduk tengah dengan air rendah (LWS) mempunyai jarak 60 cm.

2. Pada TTG 447 dan TTG 449 ada 2 nilai ketinggian yaitu :

TTG 447 = MSL+ 104,987 m (nilai lebih rendah) dan +105,367 m (nilai lebih tinggi)

TTG 449 = MSL+ 220,613 m (nilai lebih rendah) dan + 221,004 m (nilai lebih tinggi)

Berdasarkan deskripsi Bench Mark TTG 449 maka nilai yang benar untuk elevasi TTG 449 adalah = MSL+ 221,004 m. Jadi dalam hal ini nilai yang lebih tinggi yang digunakan sebagai referensi, yaitu :

$$\text{TTG 447} = \text{MSL} + 105,367 \text{ m}$$

$$\text{TTG 449} = \text{MSL} + 221,004 \text{ m}$$

Untuk hasil pengukuran yang menggunakan TTG 447 dan 449 dengan nilai yang lebih rendah, nilainya disamakan dengan menambahkan 0,38 m pada hasil pengukuran

$$x = y + 0,38$$

x = hasil pengukuran yang benar (m)

y = hasil pengukuran yang menggunakan nilai referensi TTG yang lebih rendah (m)

Dimana angka 0,38 m merupakan selisih nilai yang lebih tinggi dengan nilai yang lebih rendah.

$$\text{TTG 447} \rightarrow 105,367 - 104,897 = 0,38 \text{ m}$$

$$\text{TTG 449} \rightarrow 221,004 - 220,613 = 0,391 \text{ m} \approx 0,38 \text{ m}$$

Hasil pengumpulan data sekunder mengenai pengukuran titik-titik ketinggian di wilayah Semarang dapat dilihat pada tabel 7 .

Untuk menentukan nilai penurunan tanah di Semarang maka data yang bisa dipergunakan adalah data dari Muhrozi *dkk* (1997) dan Yulianto *dkk* (1997) karena mereka melakukan pengukuran secara berkala sehingga bisa diketahui nilai penurunan tanahnya. Nilai penurunan tanah di beberapa lokasi di Semarang dapat dilihat pada tabel 8. Berdasarkan nilai penurunan di beberapa lokasi tersebut dapat dibuat peta kontur penurunan tanah di Semarang seperti yang terlihat pada gambar 18.

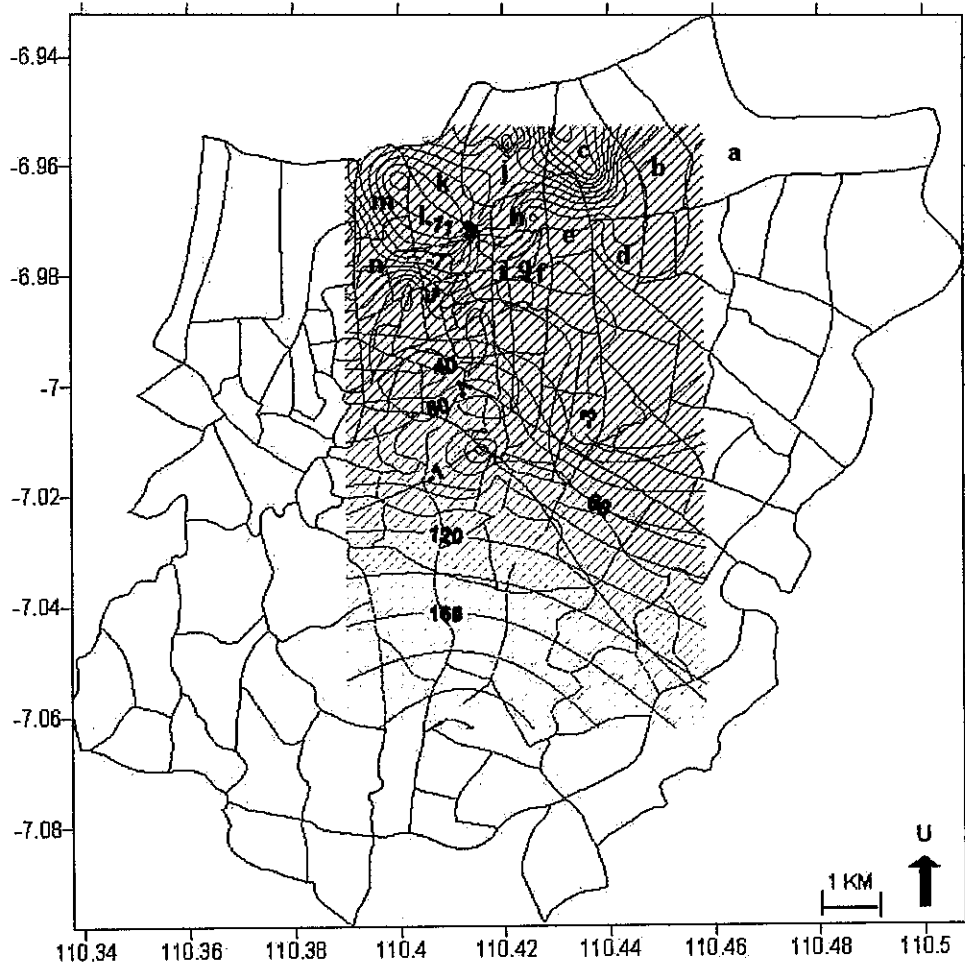
No	TTK tinggi	Lokasi	1983	1995	JUL 96	OKT 96	JAN 97	1997	SEP 98	DES 99	NOV 00	SEP 02	JULI 03	FEB 04	AGS 04	NOV 04
			bako	DTK	Undip	Undip	Undip	JICA	Tj emas	Tj emas	Tj emas	sbr	Undip ²	Undip ²	Undip ²	tpks
31	BM GL 3	Depan Masjid Nurul Bahari											0,993	0,947	0,883	
32	SSUDPMP 66	Perempatan Pengapon											0,974	0,936	0,889	0,837
33	SPB	Jembatan Bjr kanal Tmr											3,414	3,381	3,355	
34	DTK 173	Jl. Barito dekat Barito Cell											2,939	2,93	2,911	
35	DTK 174	Jembatan Bjr kanal Tmr											7,791	7,774	7,753	
36	CPTR 10A	Depan Radio Kiss FM tanah putih											83,86	83,544	83,537	
37	BTS KEC	Depan Pos Polisi bangkong										90,12	4,538	4,53	5,519	
38	DTK 002	Simpang 5										232,418	3,819	3,81	3,802	3,777
39	DTK 001	Depan BRI Pandanaran											4,851	4,84	4,844	
40	DTK 413	Depan Unisula											1,512	1,49		
41	BRT 03	Bawah Jbt Citarum												4,326	4,308	
42	SSUDPMP 67	Depan Stasiun poncol												1,72	1,697	
43	KOPA YANI 15	Taman Elisabeth														
44	DTK 348	Jl Kyai Mjo Srondoi														
45	BLRD TMR SBR	Siboga Pelabuhan														
46	BLRD BRT SBR	Siboga Pelabuhan														
47	BM 1 SPP II1	Work Shop TPKS Pelabuhan										1,53				
48	DTK 339	Jl. Dioponegoro									4,231					3,165
49	TTG 444	IAIN Walisongo	23,696				23,701									
50	TTG 443	Kantor P dan K	4,517				4,219									
51	TTG 442	Sebrang Pos	6,719				6,718									
52	TTG 440	Stasiun kaliwungu	4,785				4,37									
53	TTG 927	Karang Kimpul	4,512				3,614									
54	TTG 926	Trimulyo	1,992				1,02									
55	BM 6	Hotel Siranda							36,695	36,695	36,695					
56	BM 1	Container Yard Pelabuhan						2,804	2,707	2,707	2,525					
57	BM 2	Prasasti Pelabuhan						1,254	1,189	1,189	1,138					
58	BM 3	Pos IV Pelabuhan						2,054	1,991	1,991	1,954					
59	BM 4	Pos II pelabuhan						1,356	1,29	1,29	1,236					
60	BM 5	kantor Pandu pelabuhan						1,652	1,593	1,593	1,513					

Keterangan :Bako : Bakosurtanal dalam Indah Karya Persero (1997) dalam Pelindo III cabang Tanjung Emas (2000), DTK : Dinas Tata Kota Semarang dalam Muhrozi dkk (1997), Undip¹ : Muhrozi dkk (1997), JICA : JICA dalam Indah Karya Persero (1997) dalam Pelindo III cabang Tanjung Emas (2000), Tj Emas¹ : Pelindo III cabang Tanjung Emas (2000), Tj Emas² : Pelindo III cabang Tanjung Emas (2000), Surpin : Surpin (2002), Undip² : Yulianto dkk (2004), Sbr : Siboga Ratu Raya (2002), TpkS : Pelindo III TPKS (2004),

Tabel 8. Rekapitulasi Nilai Penurunan Tanah di Semarang

No	Lokasi	Nama Titik	Ketinggian Ags '04 (m)	Posisi		Penurunan (cm/th)		
				LS	BT	Muhozi dkk (1997)	Yulianto dkk (2004)	Rerata
1	Toko Ada Srandol	TTG 449	221,004	07°03'43,4"	110°24'49,1"	0	0	0
2	SPBU Kaliwiro	TTG 447	105,367	07°01'24,4"	110°25'14,4"	0	0	0
3	Depan AKPOL	DTK 341	100,128	07°00'55,8"	110°25'05,4"	1,2	0,64	0,92
4	Jl. Diponegoro	DTK 013	95,216	07°00'13,7"	110°25'00,2"	0	0	0
5	Trm Elisabeth	DTK 340	90,36	07°00'28,2"	110°24'58,2"	3	1,49	2,24
6	SPBU Candi	DTK 014	91,432	07°00'16,5"	110°24'32,8"	1,2		1,2
7	Jl. S Parman, Ngaglik Lama	DTK 338	43,089	06°59'49,4"	110°24'25,0"	4	1,53	2,76
8	Jl. Sultan Agung	DTK 08A	20,687	07°00'40,4"	110°24'57,2"	0,8		0,8
9	Depan Toko bunga	DTK 009	7,858	06°59'19,2"	110°24'27,6"	2,6	0,77	1,69
10	Tugu Muda	DTK 000	5,352	06°59'05,4"	110°24'33,4"	5,8	1,6	3,7
11	Jl. Bojong Salaman	DTK 018	8,138	06°59'06,0"	110°24'06,1"	0,8		0,8
12	Jembatan Bjr kanal Brt	DTK 019	6,207	06°58'52,3"	110°24'07,2"	1,2	0,53	0,86
13	Perempatan Jl Indraprasta	DTK 135	2,760	06°58'42,4"	110°24'42,8"	6,6	6,87	6,74
14	Depan Hotel rahayu Jl. Imam Bonjol	DTK 136	0,838	06°58'14,5"	110°25'13,8"	10,6	4,74	7,67
15	Jl. Hasanudin	DTK 218	0,117	06°58'17,5"	110°24'44,5"	11,4		11,4
16	Jl. Arteri Utara	DTK 224	1,559	06°57'12,3"	110°24'24,0"	6,8		6,8
17	Jl. Arteri Utara	DTK 223	1,359	06°57'18,0"	110°24'50,1"	6,2		0,06
18	Pos 2 Pelabuhan	DTK 222	0,77	06°57'21,7"	110°25'27,7"	7,8		7,8
19	Pos 1 Pelabuhan	DTK 221	0,348	06°57'23,9"	110°25'11,2"	9,2		9,2
20	Jl. Madukoro raya	DTK 367	1,997	06°58'32,2"	110°24'03,5"	8,2		8,2
21	Jl. Madukoro raya	DTK 368	0,842	06°57'42,9"	110°23'57,8"	12,8		12,8
22	Depan Ktr Kec. Gjh Mungkur	KOP A YANI 16	91,048	07°00'16,5"	110°24'23,0"		2,2	2,2
23	Jl. Ngaglik Lama	Distam 22	43,174	07°00'02,8"	110°24'24,1"		1,57	1,57
24	Samping Atrium	DTK 078	3,415	06°59'00,9"	110°23'24,3"		6,29	6,29
25	Perempatan Jl Anjasmoro Arteri Utara	DTK 370	1,95	06°58'16,2"	110°23'25,9"		3,4	3,4
26	Jembatan Bjr kanal Brt	BM JEMBT	4,209	06°57'18,7"	110°23'50,4"		7,24	7,24
27	Depan Masjid Nurul Bahari	BM GL 3	0,883	06°57'23,8"	110°25'25,2"		10,3	10,3
28	Perempatan Pengapon	SSUDPMP 66	0,889	06°57'51,0"	110°25'51,9"		7,96	7,96

No	Lokasi	Nama Titik	Ketinggian Ags '04 (m)	Posisi		Penurunan (cm/th)		
				LS	BT	Muhozi dkk (1997)	Yulianto dkk (2004)	Rata-rata
29	Jembatan Bjr kanal Tmr	SPB	3,355	06°57'35,1"	110°26'33,8"		5,43	5,43
30	Jl. Barito dekat Barito Cell	DTK 173	2,911	06°59'23,0"	110°26'20,6"		2,67	2,67
31	Jembatan Bjr kanal Tmr Jl Katamso	DTK 174	7,753	06°59'49,3"	110°26'19,2"		3,56	3,56
32	Depan Radio Kiss FM tanah putih	CPTR 10A	83,537	07°00'58,1"	110°25'50,8"		2,07	2,07
33	Depan Pos Polisi bangkong	BTS KEC	4,519	06°59'38,4"	110°25'55,3"		1,79	1,79
34	Simpang 5	DTK 002	3,802	06°59'26,4"	110°25'19,6"		1,57	1,57
35	Depan BRI Pandanaran	DTK 001	4,844	06°59'11,9"	110°24'51,9"		0,54	0,54
36	Depan Unisula	DTK 413	1,474	06°57'23,2"	110°27'30,1"		3,77	3,77
37	Depan Stasiun poncol	SSUDPMP 67	1,697	06°58'24,5"	110°24'54,2"		4,6	4,6
38	STO Tugu samping Atrium	TP 17	3,196	06°59'01,5"	110°23'24,3"		3,6	3,6
39	Dkt Jmbt K Semarang Arteri utara	TB 3	3,847	06°57'10,2"	110°24'34,8"		7,23	7,23
40	Depan BRI Pelabuhan	TB 4	2,156	06°57'23,0"	110°25'13,2"		3,6	3,6
41	Pos IV Pelabuhan	TB 5	1,18	06°57'12,4"	110°25'49,5"		14,8	14,8
42	Pintu Masuk PT HM Sampurna	TP 7	0,587	06°57'39,3"	110°26'14,2"		14	14
43	Jembatan Banjir Kanal Timur Jl Citarum	TP 10	3,897	06°58'19,3"	110°26'32,1"		5,8	5,8
44	Jembatan Citarum	TP 12	1,864	06°58'13,4"	110°26'19,3"		3,6	3,6
45	Lampu Trafic Light Tentara Pelejar	TP 13	10,954	07°00'33,4"	110°26'07,9"		3	3
46	Gorong-gorong Pasar Kambang	TP 14	18,923	07°00'32,0"	110°25'59,1"		2,6	2,6
47	Tiang Bendera Stasiun Poncol	TP 1	1,668	06°58'23,9"	110°24'57,7"		4,8	4,8
48	Lantai Keramik Kantor Pajak	TP 3	1,215	06°58'10,2"	110°25'28,5"		5	5
49	Pintu Masuk kantor Pajak	HP 2	0,592	06°58'09,5"	110°25'29,1"		3,43	3,43
50	Depan Toko Ateja MT Haryono	TB 7	1,587	06°58'33,8"	110°25'52,4"		3,09	3,09
51	Depan Apotik Codexa Jl. MT Haryono	TB 8	2,622	06°58'59,0"	110°25'53,3"		2,74	2,74
52	Trotoar depan SPBU Pandanaran	TP 21	3,81	06°59'16,2"	110°25'02,2"		1	1



Keterangan :

————— : garis kontur penurunan tanah (cm/tahun)
 - - - - - : garis kontur elevasi (m)

a. Trimulyo	f. Mlati Harjo	k. Bandar Harjo
b. Terboyo Wetan	g. Mlati Baru	l. Kuningan
c. Terboyo Kulon	h. Kemijen	m. Panggung Lor
d. Muktiharjo Lor	i. Rejomulyo	n. Panggung kidul
e. Tambak Rejo	j. Tanjung Mas	

Gambar 18. Peta Kontur Penurunan Tanah di Semarang

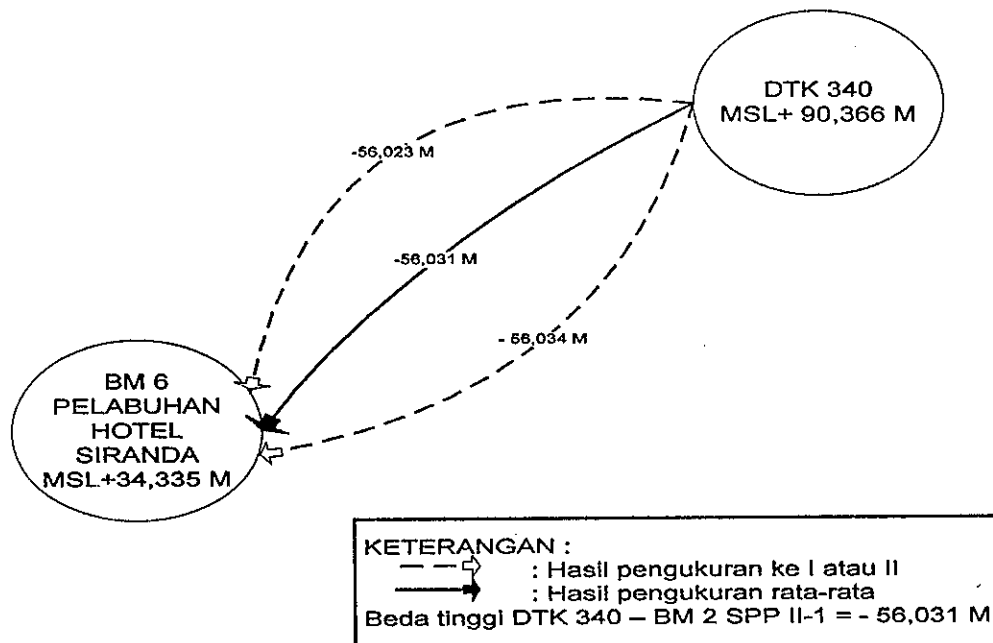
Pengumpulan data primer dilakukan tanggal 18 Mei 2005 yaitu pengukuran beda tinggi untuk BM DTK 340 – BM 6 Pelabuhan dan 23 Mei 2005 yaitu pengukuran beda tinggi untuk BM 1 SPP II-1, BM Pasut dan BM Jembatan Sriboga. Hasil pengumpulan data primer melalui kegiatan pengukuran beda tinggi dengan metode water pas dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 9. Hasil Pengukuran Beda Tinggi dan Toleransi Ukuran Beda Tinggi

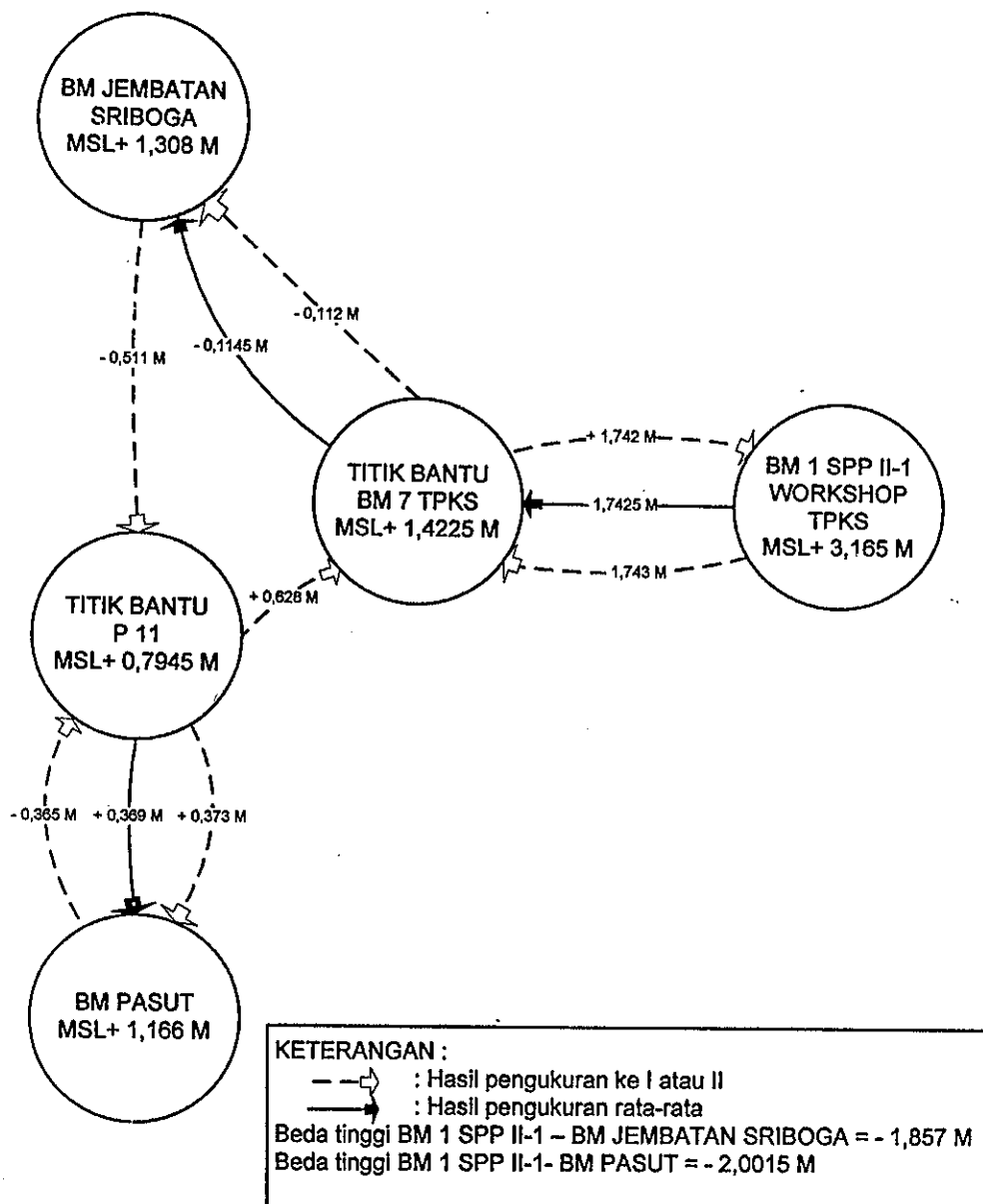
Dari	Ke titik	$\Delta H I$ (m)	$\Delta H II$ (m)	Perbedaan Ukuran (m)	Jarak (D km)	Toleransi $10\text{mm}\sqrt{D}$ (m)	Keterangan Pengukuran
DTK 340	BM 6 Pelabuhan	56,023	56,034	0,011	3,34	0,018	memenuhi
BM 1 SPP II-1	BM Pasut	2,005	1,993	0,012	3,77	0,019	memenuhi
BM 1 SPP II-1	BM Jembatan Sriboga	1,855	1,859	0,004	3,18	0,017	memenuhi

Dari hasil pengukuran tersebut di atas terlihat bahwa semua hasil pengukuran water pas sudah memenuhi persyaratan teknik $10\text{ mm}\sqrt{D}$, dimana D adalah jarak dalam km.

Setelah semua pengukuran memenuhi syarat, maka perhitungan elevasi bench mark dapat dilihat pada diagram berikut :

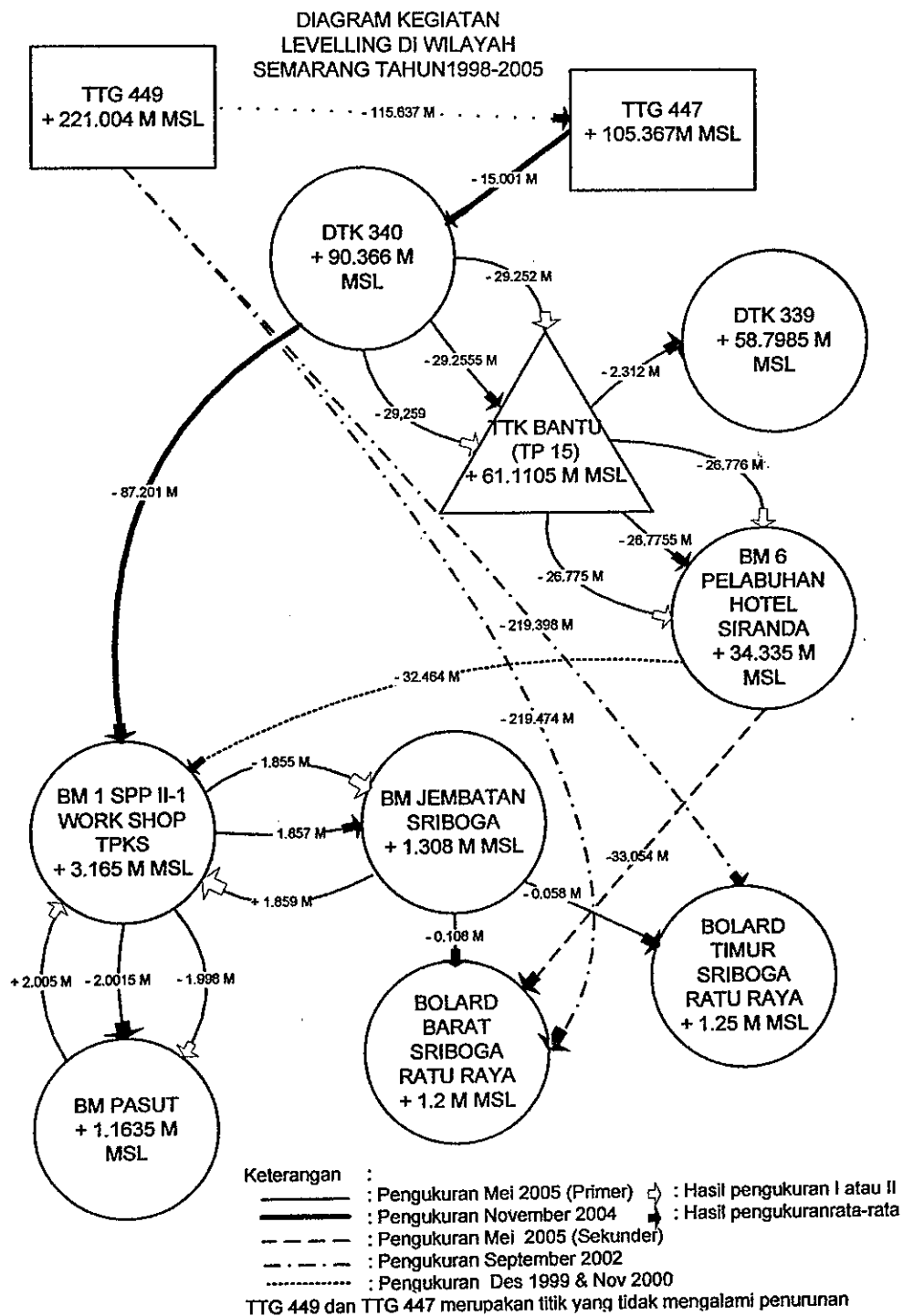


Gambar 19. Hasil Perhitungan Elevasi BM DTK 340 – BM 6 Pelabuhan



Gambar 20. Hasil Perhitungan Elevasi BM 1 SPP II-1, BM Pasut dan BM Jembatan Sriboga Ratu Raya

Hasil pengukuran tersebut jika dikaitkan dengan data sekunder yang telah dikumpulkan akan terdapat hubungan seperti yang terlihat pada gambar berikut :



Gambar 21. Diagram Perhitungan Elevasi Beberapa Titik di Semarang Tahun 1999-2005

Berdasarkan gambar 21, dapat diketahui adanya perbedaan hasil pengukuran tahun 1999/2000 yang dilakukan oleh PT Pelindo III cabang Tanjung Mas dengan tahun 2004 yang dilakukan oleh PT Pelindo III TPKS dan tahun 2005 yang dilakukan oleh PT Sriboga Ratu Raya terhadap elevasi BM I SPP II-1, padahal dengan kedalaman pondasi yang mencapai 100 m elevasi BM tersebut seharusnya tetap. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 10.

Tabel 10. Perbedaan Elevasi BM 1 SPP II-1 dari Beberapa Sumber

No	Tahun	Sumber	Elevasi BM 1 SPP II-1
1	1999/2000	PT Pelindo III Cabang Tanjung Emas	MSL +1,871 m
2	2004	PT Pelindo III TPKS	MSL + 3,165 m
3	2005	PT Sriboga Ratu Raya	MSL + 3,244 m

Keterangan : Hasil Pengukuran PT Pelindo III TPKS \approx PT Sriboga Ratu Raya

4.1.4. Penurunan Tanah di Stasiun Pasut

Berdasarkan gambar 21, diketahui ketinggian BM pasut pada bulan Mei 2005 adalah 1,166 m dari MSL. Hal ini berarti telah terjadi penurunan BM pasut sebesar 103,3 cm karena pada bulan Mei 1985 (gambar 10) ketinggian BM pasut adalah 2,199 m dari MSL. Jadi pada BM Pasut terjadi penurunan 5,165 cm/tahun dan ini berarti bahwa kenaikan total muka air laut sebesar 5,43 cm/tahun yang diperoleh dari pengukuran AWLR, sebesar 5,165 cm/tahun kenaikan tersebut disebabkan oleh turunnya stasiun pasang surut / AWLR tersebut.

4.1.5. Kenaikan Muka Laut Akibat Pengaruh Global Warming

Nilai kenaikan muka laut akibat pengaruh global warming merupakan selisih antara nilai kenaikan muka air laut total dengan nilai penurunan tanah pada lokasi stasiun pasang surut, yaitu :

$$5,43 \text{ cm/tahun} - 5,165 \text{ cm/tahun} = 0,265 \text{ cm/tahun} = 2,65 \text{ mm/ tahun.}$$

4.1.6. Sebaran Titik Genangan Rob di Wilayah Semarang

Pengumpulan data mengenai lokasi/titik genangan rob dilakukan pada tanggal 31 Mei – 2 Juni 2005, karena pada saat itu air laut naik /pasang mencapai titik tertinggi. Menurut buku ramalan pasut yang diterbitkan oleh Dishidros, pada tanggal 29 Mei 2005 – 2 Juni 2005 kedudukan air laut sedang mencapai puncak tertinggi yaitu 1,1-1,2 m dan berdasarkan pengamatan terhadap data pasang surut mulai tahun 1985-2005 (Tabel 4) didapatkan bahwa kenaikan muka laut mencapai puncaknya pada bulan April, Mei, Juni dan Juli. dan kedudukan muka laut tertinggi untuk tahun 2005 dicapai pada tanggal 31 Mei 2005 pada pukul 14.00 yaitu setinggi 152 cm dan pada saat itu jarak antara permukaan air dengan BM pasut hanya 43,3 cm. Air laut mulai naik mulai pukul 13.00 mencapai puncaknya pukul 16.00 dan mulai surut pukul 18.00.

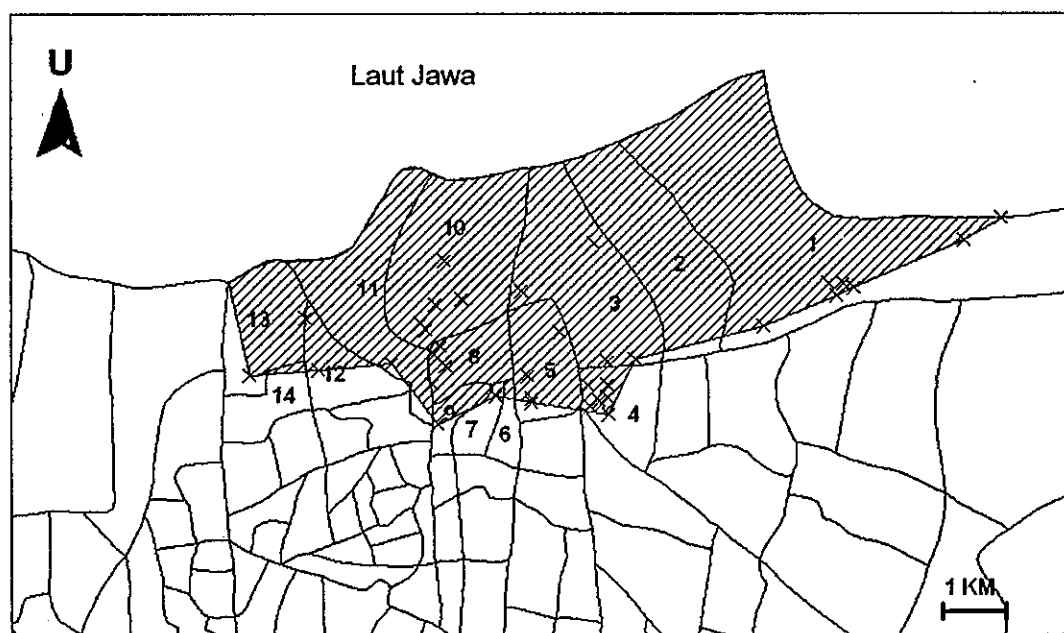
Adapun sebaran titik genangan rob dan daerah genangan rob di wilayah Semarang dapat dilihat pada tabel 11 dan gambar 22:

Tabel 11. Sebaran Titik Genangan Rob di Semarang


No	Nama Titik	Posisi		Lokasi
		LS	BT	
1	KG 1	06 ⁰ 57,139'	110 ⁰ 28,668'	Jl Kali gawe depan tugu gentong
2	KG 2	06 ⁰ 57,333'	110 ⁰ 28,122'	Jl Kali gawe depan RM Pantes
3	KG 3	06 ⁰ 57,335'	110 ⁰ 28,053'	Jl Kali gawe depan PT Alfa Ajimotorindo
4	KG 4	06 ⁰ 57,350'	110 ⁰ 27,767'	Jl. Kali gawe, pertigaan terminal terboyo
5	KG 5	06 ⁰ 57,676'	110 ⁰ 26,380'	Pertigaan Kaligawe, Raden Patah
6	KG 6	06 ⁰ 57,009'	110 ⁰ 28,840'	Jl Kali gawe depan pertigaan genuk masuk kampung
7	TBY	06 ⁰ 56,990'	110 ⁰ 27,691'	Terminal terboyo

No	Nama Titik	Posisi		Lokasi
		LS	BT	
8	BG	06° 57,524'	110°27,363'	LIK Bugangan
9	RP	06° 57,794'	110°26,252'	Jl Raden Patah, Depan SMP Karang Turi
10	CTR 1	06° 58,195'	110°26,161'	Jl Citarum Pertigaan Jl Sedane
11	CTR 2	06° 58,291'	110°26,175'	Jl Citarum Pertigaan Jl Senjoyo
12	SJY 1	06°58,249'	110°26,253'	Jl Senjoyo
13	SJY 2	06°58,266'	110°26,213'	Jl Senjoyo
14	JHR 1	06° 58,269'	110°25,508'	Pasar Johar, depan Matahari
15	JHR 2	06° 58,154'	110°25,488'	Depan Gedung Kas Negara
16	RW 1	06°57,685'	110°25,852'	Jl Ronggowarsito, dekat rel kereta
17	RW2	06°57,926'	110°25,854'	Jl. Ronggowarsito, dekat sekolah suster St Fransiscus
18	MPT	06°57,851'	110°25,507'	Jl. Mpu Tantular
19	PLB 1	06° 57,151'	110°25,788'	Pos IV Pelabuhan
20	PLB 2	06° 57,362'	110°25,462'	Pos II Pelabuhan
21	PLB 3	06° 57,398'	110°25,187'	Pos I Pelabuhan
22	BH 1	06° 57,421'	110°25,072'	Kelurahan Bandar harjo
23	BH 2	06° 57,507'	110°25,002'	Kelurahan Bandar harjo
24	BH 3	06° 57,539'	110°25,026'	Kelurahan Bandar harjo
25	BH 4	06° 57,652'	110°25,065'	Kelurahan Bandar harjo
26	BH 5	06° 57,841'	110°25,345'	Kelurahan Bandar harjo
27	TM 1	06°57,550'	110°24,633'	Tanah Mas
28	TM 2	06°57,786'	110°24,656'	Tanah Mas
29	TM 3	06°57,968'	110°24,680'	Tanah Mas
30	H 1	06°58,014'	110°24,691'	Jl Hasanudin Pertigaan depan Hasanudin Motor
31	H 2	06°58,106'	110°24,719'	Jl Hasanudin depan toko Prima Utama
32	IP	06°58,093'	110°24,468'	Perumahan Indra Prasta

No	Nama Titik	Posisi		Lokasi
		LS	RT	
33	ATR 1	06° 57.484'	110°23.678'	Jl Arteri Utara depan Perum. Family Residence
34	ATR 2	06° 57.225'	110°24.710'	Jl Arteri Utara depan gudang peti kemas
35	MDKR	06°57.721'	110°23.737'	Jl Madu Koro, Kompleks Kantor pemerintah
36	PRPP	06°57.743'	110°23.427'	PRPP Jateng



Keterangan :

-  = daerah genangan rob
- x merupakan titik-titik genangan rob
- Total luas daerah genangan rob = 2.418 Ha, angka ini didapatkan dengan menghubungkan titik-titik x terluar/terjauh ke arah darat.
- Kelurahan yang terkena genangan rob antara lain :

1. Trimulyo	6. Mlati Harjo	11. Bandar Harjo
2. Terboyo Wetan	7. Mlati Baru	12. Kuningan
3. Terboyo Kulon	8. Kemijen	13. Panggung Lor
4. Muktiharjo Lor	9. Rejomulyo	14. Panggung kidul
5. Tambak Rejo	10. Tanjung Mas	

Gambar 22. Daerah Genangan Rob di Semarang

4.2. Pembahasan

4.2.1. Pasang Surut

Menurut perhitungan admiralty untuk data pasang surut Perairan Semarang bulan September 2004-Maret 2005, maka dapat diketahui tipe pasang surut di Perairan Semarang adalah campuran cenderung ganda karena rata-rata nilai F untuk pasut Semarang adalah 1,1. Hasil penelitian ini diperkuat oleh hasil penelitian Aditya (2003) dan Darmono (2003) yang juga mendapatkan tipe pasang perairan Semarang adalah campuran condong ke ganda melalui perhitungan admiralty. Hal ini berarti di Perairan Semarang terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dalam sehari tetapi berbeda dalam tinggi dan waktunya sehingga perlu diwaspadai kemungkinan munculnya banjir rob di Semarang adalah 2 x dalam 1 hari, meskipun rob yang tertinggi hanya muncul 1 kali dalam 1 hari (Lampiran 43). Sedangkan sesuai dengan siklus sinodik yaitu siklus peredaran bulan dari bulan mati ke bulan mati berikutnya selama 29,5 hari maka dalam 1 bulan terdapat 2 kali pasang tertinggi (pasang purnama) yaitu saat bulan purnama dan bulan mati dan 2 kali pasang terendah (pasang perbani) (Lampiran 44).

4.2.2. Perkembangan Rerata Muka Air Laut Semarang

Gambar 16 dan 17 memperlihatkan trend kenaikan muka laut rata-rata Di Semarang mengikuti pola linier dengan persamaan $Y = 4,8967 X - 9645,9$ ($R^2 = 0,9636$) dengan $Y = \text{MSL. (cm)}$ dan $X = \text{tahun}$. Untuk analisis statistik terhadap perkembangan kedudukan muka laut rata rata Semarang ini bisa dilihat pada lampiran 45. Sedangkan nilai kenaikan rata-rata per tahun adalah 5,43 cm, akan tetapi kenaikan muka laut yang dimaksud di sini adalah kenaikan muka laut total yang dipengaruhi oleh penurunan tanah di sekitar lokasi stasiun pasut dan kenaikan muka laut global. Untuk kenaikan muka laut global dan penurunan tanah di lokasi stasiun pasut akan dibahas di bab 4.2.3 dan 4.2.4.

Jadi fungsi linier $Y = 4,8967 X - 9645,9$ ($R^2 = 0,9636$) yang merupakan fungsi dari kenaikan muka laut rata-rata di Semarang, pada tahun-tahun

mendatang mungkin saja dapat berubah tergantung pada perubahan kenaikan muka laut global dan perubahan nilai penurunan tanah di sekitar lokasi stasiun pengamatan pasang surut. Oleh karena itu untuk memastikan ada atau tidaknya perubahan tersebut perlu dilakukan kegiatan levelling terhadap BM stasiun pasut secara kontinyu.

Jika tidak terdapat perubahan baik nilai penurunan tanah pada BM stasiun pasut maupun kenaikan muka laut global, maka dari persamaan garis $Y = 4,8967 X - 9645,9$ ($R^2 = 0,9636$), kita bisa memprediksi kedudukan muka laut rata-rata Semarang pada tahun-tahun mendatang. Misalnya pada tahun 2050 kedudukan muka laut yang tercatat pada alat pengukur pasut diperkirakan sebesar $4,8967 \times 2050 - 9645,9 = 392,335$ m.

Berdasarkan pengamatan data MSL bulanan pada tabel 4, diketahui nilai MSL tertinggi dalam 1 tahun paling banyak dijumpai pada bulan Mei yaitu sebanyak 9 tahun, kemudian disusul oleh bulan Juni dan Juli sebanyak 4 tahun, bulan April 2 tahun, bulan Agustus 1 tahun dan bulan September sebanyak 1 tahun. Oleh karena itu pada bulan-bulan tersebut terutama bulan Mei, Juni dan Juli perlu diwaspadai tentang kemungkinan timbulnya banjir rob yang terparah, mengingat pada bulan-bulan tersebut kedudukan muka air laut berada pada elevasi puncak. Tingginya kedudukan muka air laut pada bulan-bulan tersebut disebabkan karena pada bulan-bulan tersebut bumi sedang berada pada posisi terdekat dengan matahari (perihelion) sehingga gaya tarik pembangkit pasang oleh matahari sedang berada dalam kondisi maksimal. Menurut Ilahude (1999) pada tanggal 21 Juni posisi bumi berada pada jarak yang terdekat dengan matahari. Lebih lanjut Ilahude (1999) menyebutkan bahwa dalam jangka 1 tahun sumbu utama orbit bulan hanya 2 kali berimpit dengan garis sumbu matahari-

bumi, sekali di perige (jarak terdekat bumi-bulan) dan sekali di apoge (jarak terjauh bumi-bulan), sehingga bila digabungkan pengaruh matahari dan bulan, air pasang yang benar-benar tertinggi dan terendah masing-masing akan terjadi sekali setiap 1 tahun.

Pada penelitian ini meskipun berhasil memperoleh data pasang surut selama lebih dari 22 tahun yaitu tahun 1983-2005, akan tetapi sangat disayangkan untuk data tahun 1998-2005 tidak dapat dipergunakan untuk meneliti perkembangan kedudukan muka laut di Semarang. Hal ini disebabkan adanya fluktuasi yang sangat tajam pada data tersebut. Pada tahun 1998-1999 muka air laut rata-rata mengalami penurunan sebesar 32,83 cm, kemudian pada tahun 2001-2002 mengalami kenaikan sebesar 75,01 cm, lalu pada tahun 2002-2003 mengalami penurunan lagi sebesar 66,41 cm. Jika dibandingkan dengan data pasang surut Jepara, sebagai daerah yang terdekat dengan stasiun pasut Semarang, ternyata di perairan Jepara tidak dijumpai adanya fluktuasi yang tajam pada kenaikan atau penurunan muka air laut.

Oleh karena itu adanya angka penurunan dan kenaikan yang sangat besar pada data pasut Semarang tersebut diduga disebabkan oleh karena alat pengukur pasut telah mengalami koreksi, yaitu dinaikkannya posisi rambu pasut karena tenggelamnya rambu pasut tersebut akibat naiknya muka air laut. Selain itu juga kemungkinan disebabkan oleh rusaknya alat pengukur pasut. Sehingga data pasut yang digunakan untuk mengamati perkembangan kedudukan muka laut adalah data tahun 1983 – 1997 atau data pengukuran selama 14 tahun.

4.2.3. Kenaikan Muka Air Laut Global

Kenaikan muka laut yang terjadi di Semarang tidak terlepas dari kenaikan muka laut global yang melanda seluruh dunia. Kenaikan muka laut global sendiri

disebabkan oleh meningkatnya suhu global akibat peningkatan gas-gas rumah kaca dan bahan perusak ozon sehingga suhu yang semakin panas tersebut mencairkan es di kutub dan menambah volume air laut di seluruh dunia. IPCC (2001) dalam situs <http://wfn.cdc.noaa.gov/oa/climate/globalwarming> (April 2005) selama abad yang lalu temperature global naik sekitar $0,6^{\circ}\text{C}/\text{abad}$, tetapi nilai ini mengalami kenaikan yang cukup dramatis dalam 25 tahun terakhir. Pada abad yang lalu sebenarnya ada 2 periode pemanasan yang terjadi, pertama dimulai sekitar tahun 1910 dan berakhir sekitar tahun 1945, dan yang terbaru dimulai sekitar tahun 1976 sampai sekarang (lampiran 4). Sementara itu situs <http://en.wikipedia.org/wiki> (April 2005) menyebutkan bahwa kenaikan suhu global dimulai sekitar akhir abad 19 dengan nilai kenaikan $0,6 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$. Sedangkan menurut (Church dan Woodwell, 1989 dalam Anzenhofer dkk, 2005) pada abad yang akan datang diprediksi kenaikan suhu global mencapai $1-4^{\circ}\text{C}$ dan jika ini terjadi maka air laut akan naik sekitar 30-50 cm.

Menurut Takle (1997) kenaikan muka laut akibat global warming mencapai 12 cm untuk 100 tahun atau 1-2 mm per tahun. Lebih lanjut Takle berpendapat bahwa naiknya permukaan air laut akibat global warming disebabkan oleh beberapa faktor yaitu :

1. Memanasnya suhu air laut sehingga memuaikan molekul air laut
2. Melelehnya glacier dan gumpalan-gumpalan es di daerah pegunungan atau daerah lintang tinggi
3. Melelehnya es di Green land : melelehnya es di Green land akan menaikkan muka air laut hingga 7 meter
4. Melelehnya es di bagian barat kutub Antartika : melelehnya seluruh glacier Antartika menyebabkan kenaikan muka laut hingga 65 meter.

5. perubahan keseimbangan siklus es di kutub Antartika

Pada penelitiannya tersebut, Takle telah menemukan bukti telah berkurangnya volume bongkahan es di Kutub Antratika dan Green Land akan tetapi Takle tidak bisa menyebutkan kuantitas dari berkurangnya bongkahan es tersebut. sedangkan menurut data dari NCDC (situs <http://lwf.ncdc.noaa.gov>, April 2005), berdasarkan pengamatan satelit di Laut Arktik, es telah berkurang antara tahun 1973-1996 dengan kisaran sebanyak $2,8 \pm 0,3$ %/ dekade.

Ada banyak pendapat yang menyatakan besaran kenaikan muka laut global tersebut. IPCC (2001) dalam situs <http://lwf.ncdc.noaa.gov> (April 2005) menyatakan bahwa diprediksi kenaikan muka laut dari tahun 1900 sampai tahun 2100 yang paling rendah adalah 0,09 dan yang tertinggi 0,99 m, tergantung dari skenario penggunaan gas-gas rumah kaca di seluruh dunia dan banyak faktor fisik lain yang menentukan melelehnya es di kutub. Sebenarnya sekarang ini ada 2 metode pengukuran kenaikan muka laut, yang pertama yaitu dengan menggunakan data time series yang terekam dalam AWLR. Menurut situs <http://www.sos.bangor.ac.uk> (April 2005) rata-rata kenaikan muka laut global sebesar $1,7 \pm 0,3$ mm/tahun dimana angka ini dihitung dari sejumlah kecil dari sekian banyak stasiun pengamatan pasut yang tersebar di seluruh dunia yang telah merekam data pasang surut sejak akhir abad yang lalu. Sedangkan menurut Miller (2005) berdasarkan data AWLR sejak akhir abad yang lalu mengindikasikan adanya kenaikan muka laut global sebesar 1,8 mm/tahun. dalam tulisannya Miller mengungkapkan kelemahan dari perhitungan pasut berdasarkan data AWLR ini. Oleh karena data-data tersebut relatif jarang dan mengandung banyak fluktuasi antar dekade, observasi harus dilakukan selama

50-75 tahun untuk mendapatkan nilai rata-rata yang stabil, dan itu sulit untuk mengatakan apakah air laut naik semakin cepat pada saat ini.

Metode pengukuran yang kedua adalah dengan menggunakan data altimetri satelit metode ini memiliki keunggulan dalam hal padatnya data yang didapat dan mampu mengcover seluruh permukaan bumi (Miler, 2005). Dewasa ini ada beberapa satelit yang mampu mengumpulkan data altimetri. Satelit TOPEX/Poseidon dan Jason-1 telah merekam data altimetry sejak tahun 1992 dan menunjukkan kenaikan muka laut sebesar 2,4 mm/tahun. Keakuratan dari hasil pengamatan ini akan lebih baik jika waktu pengamatannya lebih lama. Satelit ini hanya memerlukan waktu 15-20 tahun pengukuran altimeter untuk mendapatkan nilai rata-rata yang stabil (Miler, 2005).

Sedangkan menurut situs <http://www.sos.bangor.ac.uk> (April 2005) dengan menggunakan data satelit TOPEX/Poseidon yang telah terbang sejak 1992 kita bisa melihat perubahan musiman muka air laut baik di belahan bumi utara maupun selatan, sebagaimana ketinggian air akan meningkat seiring dengan musim panas dan akan menyusut oleh dinginnya musim dingin (Lampiran 5). Rata-rata muka air laut secara global menunjukkan trend kenaikan $2,4 \pm 0,2$ mm/tahun (Lampiran 6). Selain itu data satelit ini juga menunjukkan perbandingan antara muka air laut global dengan suhu global permukaan laut rata-rata memiliki korelasi yang kuat (Lampiran 7). Dengan kata lain kenaikan muka laut yang terjadi sekarang disebabkan oleh ekspansi air laut akibat pemanasan global.

Satelit Eropa ERS 1 juga telah merekam data altimeter sejak bulan April 1992- Maret 1995. Dari data tersebut didapatkan nilai kenaikan muka laut global sebesar $2,0 \pm 1,9$ mm/tahun, dimana secara regional daerah tropis dan daerah

sekitar arus batas barat muka air laut mengalami kenaikan sedangkan di daerah lintang tinggi dan sebelah timur Pasifik muka air laut justru mengalami penurunan. Hal ini membuktikan bahwa faktor karakteristik regional juga mempengaruhi kenaikan muka laut global (Anzenhofer *dkk*, 2005).

Selain TOPEX, ERS-1 dan Jason-1 sebenarnya masih ada beberapa satelit yang mampu merekam data altimeter, diantaranya ERS 2, GFO dan Envisat. Dewasa ini para peneliti lebih sering menggunakan kombinasi data altimetry dari beberapa satelit tersebut untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat. Menurut Miler (2005) untuk membuat perkiraan kenaikan muka laut global pada akhir dekade yang lalu dan membuat prediksi untuk masa yang akan datang akan lebih baik jika menggunakan kombinasi semua data satelit altimeter. Pada Lampiran 8 terlihat bahwa dengan menggunakan kombinasi data satelit altimeter didapatkan kenaikan muka laut global sebesar 2,4 mm/tahun.

Pada penjabaran di atas disebutkan bahwa karakteristik regional berpengaruh terhadap perubahan MSL. Yanagi dan Akaki (1994) menemukan bahwa ternyata perubahan kedudukan muka air laut di beberapa lokasi di Asia bagian Timur bervariasi. Dalam penelitiannya, Yanagi dan Akaki menggunakan data pasang surut dari 16 stasiun pasang surut yang terdapat di Asia bagian timur dari tahun 1951-1991. Data-data tersebut didapatkan dari Laboratorium Oseanografi Proudman, Inggris. Beberapa stasiun pengamatan pasut dipilih karena MSL tahunan selama 41 tahun dimiliki oleh stasiun tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa telah terjadi kenaikan muka laut di sepanjang pantai timur Jepang dan Filipina, akan tetapi terjadi penurunan muka laut di sepanjang pantai Barat Jepang dan Filipina, pantai timur Cina dan Pantai Selatan Semenanjung Indocina (Lampiran 9, Lampiran 10). Rata-rata kenaikan

muka laut di sepanjang pantai timur Jepang dan Filipina sebesar 3,8-5,9 mm/tahun.

Untuk Indonesia, Proudman (1940) *dalam* Yanagi dan Akaki (1994) yang melakukan penelitian dengan menggunakan data variasi MSL dari tahun 1925 sampai tahun 1931 menemukan bahwa rata-rata muka air laut di sepanjang pantai selatan Indonesia mengalami kenaikan antara 11,9-13,8 mm/tahun dan mengalami penurunan di sepanjang pantai Utara Indonesia sekitar 3,9-6,9 mm/tahun (Lampiran 11). Hasil penelitian Proudman ini kurang bisa dipercaya karena data time series yang digunakan terlalu pendek dan (hanya 6 tahun) dan belum dipisahkan dengan adanya penurunan tanah.

Prediksi kenaikan muka laut di Indonesia seperti yang terdapat dalam situs <http://www.ccasia.teri.res.in> (April 2005) menyebutkan bahwa terdapat 3 skenario yaitu rendah, sedang dan tinggi mengenai kenaikan muka laut di Indonesia dan kenaikan suhu udara dibandingkan dengan kondisi pada tahun 1990. Untuk skenario rendah, pada tahun 2070 diproyeksikan kenaikan suhu sebesar 0,4°C dan kenaikan muka laut sebesar 15 cm. Untuk skenario sedang diprediksi suhu akan naik sebesar 0,9°C dan muka air laut naik 45 cm. Sedangkan untuk skenario tinggi, kenaikan suhu diperkirakan sebesar 3°C dan kenaikan muka laut sebesar 90 cm (Lampiran 12).

Untuk kenaikan muka laut di Semarang, pada bab 1.2 telah disebutkan beberapa hasil penelitian mengenai kenaikan muka laut di Semarang yaitu Wirakusumah dan Lubis (2002) sejak tahun 1950 sampai tahun 2003 diduga akan terjadi kenaikan muka laut sebesar 39 cm di perairan Semarang akibat pemanasan global. Hal ini berarti kenaikan muka laut di Semarang mencapai 7,36 mm/ tahun. Menurut Tim Peneliti ITB (1990) *dalam* Abdurachim (2002)

kenaikan muka air laut di Semarang mencapai 9,27 mm pertahun. Kemudian menurut Manurung *et al* (2002) kenaikan muka laut di Semarang mencapai 6 mm/tahun. Suripin (2002) dalam laporan penelitiannya menyatakan bahwa kenaikan muka laut di Semarang mencapai 5,01 cm / tahun. Sedangkan berdasarkan penelitian Adhitya (2003) dari mulai tahun 1991 hingga tahun 1997 muka air laut rata-rata tahunan di Semarang mengalami kenaikan berkisar antara 1,5 – 6,7 cm. akan tetapi pada tahun berikutnya sampai tahun 2000 permukaan air laut justru mengalami penurunan sebesar 1,31- 39,9 cm.

Sedangkan hasil penelitian ini mendapatkan bahwa nilai kenaikan muka laut di Semarang akibat pemanasan global adalah sebesar 2,65 mm/tahun, dimana angka ini didapatkan dengan mengoreksi data kenaikan muka laut total yang terekam pada AWLR di stasiun Pasut Pelabuhan Tanjung Emas dengan data penurunan tanah pada lokasi AWLR tersebut. Ternyata hasil penelitian ini mendekati nilai kenaikan muka laut global yang diperoleh berdasarkan data satelit altimetri yaitu 2,4 mm/tahun. Jadi dapat disimpulkan bahwa naiknya air laut berekspansi ke daratan yang menyebabkan banjir rob di beberapa wilayah di Semarang, kenaikan sebesar 2,65 mm/tahun disumbangkan oleh kenaikan muka laut global. Hal ini menunjukkan bahwa kenaikan muka laut global tidak mempunyai pengaruh yang dominan terhadap kenaikan muka laut di Semarang.

4.2.4. Penurunan Tanah di Lokasi Stasiun Pasut

Pada bulan Mei 1985 ketinggian BM Stasiun Pasut adalah MSL +2,199 m sedangkan melalui pengukuran sipat datar pada bulan Mei 2005 diketahui ketinggian BM stasiun Pasut adalah MSL +1,166 m. Hal ini berarti BM Stasiun Pasut telah mengalami penurunan sebesar 1,033 m. Menurut Pelindo III cabang Tanjung Emas (2000) peristiwa penurunan tanah umumnya mengikuti fungsi

hiperbola, akan tetapi berdasarkan laporan dari Sriboga Ratu Raya (2004) yang telah melakukan pengukuran secara berkala (tiap bulan) sejak tahun 1998 terhadap penurunan di beberapa titik di area pabriknya, didapatkan penurunan tanah yang terjadi mengikuti pola yang linier, meskipun terdapat variasi mengenai besarnya penurunan di tiap titik, tergantung beratnya beban yang berada di atasnya dan kedalaman pondasi bangunan (Lampiran13). Oleh karena itu, dengan asumsi bahwa penurunan yang terjadi di BM Stasiun Pasut juga mengikuti fungsi linier, maka dapat diperkirakan penurunan yang terjadi di BM Stasiun Pasut adalah sebesar $\frac{1,033m}{20tahun} = 0,05165 \text{ m/tahun} = 5,165 \text{ cm/tahun}$.

Hal ini berarti akibat penurunan tanah yang terjadi di Stasiun Pasut telah menyebabkan tenggelamnya stasiun pasut sebesar 5,165 cm/tahun dan ini menunjukkan bahwa penurunan tanah merupakan faktor dominan yang menyebabkan naiknya air laut ke daratan di Semarang, akan tetapi angka ini hanya berlaku pada lokasi Stasiun Pasut saja, sedangkan untuk lokasi-lokasi lain sangat tergantung pada penurunan tanah yang terjadi di lokasi tersebut. Untuk penurunan tanah pada lokasi-lokasi lain di Semarang dapat dilihat pada bab 4.2.6.

Angka ketinggian BM stasiun Pasut sebesar MSL +1,166 m diperoleh dengan cara mempergunakan data PT Pelindo III TPKS (2004) yang telah melakukan leveling pada bulan November 2004 terhadap BM1 SPP II-1 dari titik referensi TTG 447 Kaliwiru dan didapatkan ketinggian BM1 SPP II-1 adalah MSL + 3,165 M. Kemudian pada bulan Mei 2005 dilakukan pengukuran sipat datar teliti dari BM1 SPP II-1 ke BM stasiun pasut dan didapatkan ΔH sebesar - 1,999 m. Sehingga Ketinggian BM stasiun pasut adalah $+ 3,165 - 1,999 = \text{MSL} + 1,166$ m. Angka ketinggian MSL + 3,165 di BM 1 SPP II-1 masih bisa digunakan karena

diasumsikan bahwa BM 1 SPP II-1 stabil/tidak mengalami penurunan, sebab kedalaman pondasi tersebut mencapai 100 m sehingga pondasi tersebut sudah mencapai lapisan tanah keras. Menurut Suripin (2002) di Pelabuhan Tanjung Emas, lapisan tanah yang terdapat pada kedalaman 35,2 m merupakan lapisan tanah keras, sedangkan untuk wilayah Semarang secara umum pada kedalaman lebih dari 55 m lapisan tanah yang dijumpai adalah jenis batuan Breksi, Lapili dan tuff yang memiliki sifat keras dan padat (Lampiran 14).

Elevasi BM stasiun pasut sebesar MSL +1,166 m diperoleh dengan asumsi tidak adanya kenaikan muka laut global. Dengan adanya kenaikan muka laut global sebesar 2,65 mm/tahun, berarti sejak tahun 1985-2005 telah terjadi elevasi air laut akibat pengaruh global telah naik setinggi 5,3 cm. Jadi elevasi BM stasiun pasut dengan mempertimbangkan kenaikan muka laut global adalah $+ 1,166 \text{ m} - 0,053 \text{ m} = \text{MSL} + 1,113 \text{ m}$.

Dari data tabel 6 diketahui MSL pada tahun 1985 sebesar 81,2 cm dan ketinggian BM stasiun pasut MSL + 2,199 m. Jadi pada saat air telah mencapai ketinggian 301,1 cm ($= 81,2 \text{ cm} + 219,9 \text{ cm}$), air laut tersebut telah mencapai BM stasiun pasut. Jika angka 301,1 cm ini kita masukkan dalam rumus $Y = 4,8967 X - 9645,9$ ($R^2 = 0,9636$) maka pada tahun 2032 diprediksi stasiun pasut telah tergenang oleh air laut.

4.2.5. Koreksi terhadap Data Pelindo III Cabang Tanjung Emas

Pada bab 3.3.1. disebutkan bahwa ada perbedaan hasil pengukuran levelling yang dilakukan oleh Pelindo III Cabang Tanjung Emas tahun 1999 dan 2000 dengan yang dilakukan oleh PT Pelindo III TPKS terhadap elevasi BM 1 SPP II-1. Pelindo III cabang Tanjung Emas menyebutkan bahwa dari hasil pengukuran tahun 1999 dan tahun 2000 ketinggian BM 1 SPP II-1 adalah MSL +

4,231 m dengan mengambil titik referensi adalah BM 6 Pelabuhan di Siranda dengan ketinggian MSL + 36,695 m sehingga beda tinggi ($\Delta H1$) antara BM 6 Pelabuhan dengan BM 1 SPP II-1 adalah - 32,464 m. Sedangkan Pelindo III TPKS menyebutkan bahwa ketinggian BM 1 SPP II-1 adalah MSL + 3,165 m dengan mengambil titik referensi dari TTG 447 dengan ketinggian MSL +105,367 m sehingga beda tinggi ($\Delta H2$) antara TTG 447 dengan BM 1 SPP II-1 adalah - 102,202 m.

Perbedaan ini diduga karena adanya perbedaan titik referensi yang dipakai, oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan pengukuran sipat datar antara TTG 447 yang diukur melalui DTK 340 dengan BM 6 Pelabuhan untuk menyamakan referensi. Hasil pengukuran menunjukkan beda tinggi antara TTG 447 dengan BM 6 Pelabuhan adalah sebesar - 71,032 m, sehingga dengan titik referensi TTG 447 didapatkan elevasi BM 6 Pelabuhan adalah MSL +34,335 m. Jika kemudian angka MSL + 34,335 m ditambahkan dengan $\Delta H1$ maka akan didapatkan elevasi BM 1 SPP II-1 sebesar MSL + 1,871 m dimana angka ini merupakan hasil pengukuran tahun 1999 dan 2000 yang dilakukan oleh PT Pelindo III Cabang Semarang yang telah disamakan titik referensinya yaitu TTG 447.

Meskipun telah disamakan titik referensinya, ternyata masih ada perbedaan jika dibandingkan dengan hasil pengukuran tahun 2004 yang dilakukan oleh PT Pelindo III TPKS, padahal oleh karena BM 1 SPP II-1 dianggap stabil, seharusnya hasil pengukuran Pelindo III Cabang Tanjung Emas dan Pelindo III TPKS sama, atau jika memang dimungkinkan masih bisa terjadi penurunan, hasil pengukuran Pelindo III TPKS lebih rendah dibandingkan dengan hasil pengukuran Pelindo III Cabang Tanjung Emas dan yang terjadi di

sini justru elevasi BM 1 SPP II-1 mengalami kenaikan sebesar 1,294 m dari MSL +1,871 m di tahun 1999 dan 2000 menjadi MSL +3,165 m. Di sini dapat diambil kesimpulan sementara, yaitu terdapat kesalahan pengukuran yang dilakukan oleh PT Pelindo III Cabang Tanjung Emas atau yang dilakukan oleh PT Pelindo III TPKS.

Untuk itu maka dilakukan pengukuran beda tinggi antara BM 1 SPP II-1 dengan Bolard B (barat) dan Bolard T (Timur) yang terdapat di area PT Sroboga Ratu Raya, karena pada bulan September 2002, PT Sriboga Ratu Raya telah melakukan pengukuran beda tinggi dari TTG 449 ke Bolard B dan Bolard T dengan hasil, elevasi Bolard B adalah MSL + 1,53 m dan Bolard T adalah MSL +1,606 m. Setelah dilakukan pengukuran, didapatkan beda tinggi antara BM 1 SPP II-1 dengan Bolard B ($\Delta H3$) adalah - 1,965 m sedangkan dengan Bolard T ($\Delta H4$) sebesar - 1,915m.

Jika nilai $\Delta H3$ dan $\Delta H4$ ini dihubungkan dengan nilai elevasi BM 1 SPP II-1 milik PT Pelindo III Cabang Semarang maka didapatkan elevasi dari Bolard B dan Bolard T adalah sebesar MSL -0,094 m dan MSL -0,044 m. Sedangkan jika nilai $\Delta H3$ dan $\Delta H4$ ini dihubungkan dengan nilai elevasi BM 1 SPP II-1 milik PT Pelindo III TPKS maka didapatkan elevasi dari Bolard B dan Bolard T adalah sebesar MSL + 1,2 m dan MSL +1,25 m. Di sini dapat disimpulkan bahwa hasil pengukuran yang mendekati kebenaran adalah pengukuran yang dilakukan oleh Pelindo III TPKS. Sedangkan hasil pengukuran yang dilakukan oleh PT Pelindo III Cabang Semarang sangat meragukan mengingat saat ini kedudukan Bolard B dan Bolard T masih berada di atas MSL, sehingga tidak mungkin jika elevasi Bolard B dan Bolard T bernilai negatif atau < 0 m MSL. Kesimpulan ini juga diperkuat lagi oleh hasil pengukuran beda tinggi yang dilakukan oleh PT Sriboga

Ratu Raya pada bulan Mei 2005 antara BM 6 Pelabuhan dengan Bolard B. Hasil Pengukuran tersebut menunjukkan beda tinggi antara BM 6 Pelabuhan dengan Bolard B adalah sebesar $- 33,054$ m, atau dengan kata lain, elevasi bolard B adalah MSL $+1,281$ m dan elevasi BM 1 SPP II-1 adalah MSL $+3,244$ m. Angka ini mendekati hasil pengukuran yang dilakukan oleh PT Pelindo III TPKS.

Setelah dilakukan analisis terhadap buku laporan hasil pengukuran yang dilakukan oleh Pelindo III Cabang Semarang, ditemukan kelemahan-kelemahan yang diduga dapat menyebabkan kesalahan pada hasil pengukuran yang dilakukan. Kelemahan-kelemahan tersebut antara lain :

1. Dalam menentukan nilai MSL hanya menggunakan data pasang surut selama 8 hari. Seharusnya untuk menentukan kedudukan permukaan air laut rata-rata dibutuhkan data minimal 1 x periode bulan yaitu 15 hari, karena dalam 15 hari tersebut kondisi air laut telah mengalami pasang purnama dan pasang perbani.
2. Dalam melakukan leveling dari BM 6 Pelabuhan di Siranda ke titik-titik di Pelabuhan hanya melewati titik-titik bantu yang dibuat sendiri dan tidak permanen. Seharusnya dalam melakukan leveling sebaiknya melewati bench mark – bench mark yang telah ada, sehingga bench mark-bench mark tersebut bisa dijadikan kontrol apabila terjadi kesalahan pengukuran.

4.2.6. Penurunan Tanah di Wilayah Semarang

Menurut Sutanta dan Hobma (2002) penurunan tanah atau land subsidence merupakan suatu proses dimana elevasi suatu daerah makin rendah dari elevasi sebelumnya. Lebih lanjut Sutanta dan Hobma menyatakan bahwa penurunan tanah dapat dihasilkan oleh faktor alam, pengaruh aktifitas manusia

ataupun kombinasi keduanya. Faktor-faktor yang dapat menyebabkan penurunan tanah antara lain : konsolidasi lapisan lempung, pemompaan air bawah tanah, getaran gempa bumi, beban gedung dll. Sedangkan menurut Muhrozi *dkk* (1997) dan Suripin (2002) penurunan tanah yang terjadi di Semarang disebabkan oleh faktor konsolidasi dan pengambilan air bawah tanah.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh PKLH Unnes, yang dipimpin Drs Purwadi Suhandini SU dalam <http://www.landpolicy.org> (Juni 2004) menemukan, setiap tahun di Kota Semarang terjadi penurunan tanah antara 0,02 meter hingga 0,25 meter. Penyebab utama penurunan tanah karena sebaran dan ketebalan tanah lunak, di beberapa wilayah kota itu. Menurut Purwadi, ketebalan tanah lunak di Semarang, masing-masing kurang dari 10 meter, 10-15 meter, 15-20 meter, 20-25 meter, 25-30 meter, serta lebih dari 30 meter.

Disebutkan, tingkat amblasan tanah tergantung pada beban di atas tanah tersebut. Semakin besar beban di atas tanah, maka tingkat amblasannya semakin dalam. Dicontohkan, beban akibat pondasi bangunan sebesar lima ton per meter, keamblasan tanah antara 0,0102 meter hingga 0,4098 meter.

Secara umum, Purwadi membagi daerah amblasan di Kota Semarang. Pertama, daerah yang mengalami amblasan lebih besar dari 0,20 meter setiap tahun. Daerah ini meliputi sekitar pelabuhan Tanjung Emas yang membentang dari Kelurahan Terboyo Kulon, Kecamatan Genuk di bagian Timur, Kelurahan Bandarharjo (Semarang Utara) dan Kelurahan Purwawadinatan (Semarang Tengah).

Zona kedua, adalah daerah yang mengalami amblasan tanah antara 0,15 hingga 0,20 meter per tahun. Zona ini meliputi wilayah pantai yang membentang dari Tirang Kecamatan Tugu bagian barat hingga daerah Kuningan di

Kecamatan Semarang Utara. Kemudian ke daerah selatan hingga Plombokan, ke timur hingga Jagalan dan akhirnya meluas ke arah Timur Laut hingga Kelurahan Trimulya, Kecamatan Genuk. Pada zona ini, terutama di bagian barat dalam dua dekade terakhir telah tumbuh daerah permukiman baru, sedangkan di daerah Timur Laut muncul kawasan industri.

Zona ketiga, adalah daerah dengan amblasan tanah antara 0,10 hingga 0,15 meter per tahun, berupa jalur sempit berbentuk seperti paruh burung di Kecamatan Tugu dan Kecamatan Semarang Barat. Selain itu, Kelurahan Tanah Mas (Semarang Utara), Kelurahan Bulustallan dan Kelurahan Barusari (Kecamatan Semarang Selatan). Kemudian ke arah timur hingga Kelurahan Wonodri bagian utara, hingga Kelurahan Trimulyo di Kecamatan Genuk.

Zona keempat, adalah daerah yang amblasan tanahnya kurang dari 0,10 meter setiap tahun. Zona ini meliputi sedikit wilayah Kecamatan Tugu, Semarang Barat, tetapi melebar di Kecamatan Pedurungan dan Kecamatan Genuk yang semula merupakan daerah pertanian. Tetapi sejak awal tahun 1980-an telah berkembang menjadi permukiman penduduk yang sangat padat.

Sedangkan menurut British Geological Survey (1998) *dalam* Sutanta dan Hobma (2002) yang melakukan penelitian mengenai land subsidence dengan menggunakan metode peizometri, tingkat konsolidasi di kota Semarang mengikuti pola logaritma dan diperkirakan 50% dari total konsolidasi akan terjadi dalam 12 tahun dan 90% dalam 50 tahun. Sedangkan Sutanta dan Hobma (2002) berpendapat bahwa sangat sulit untuk menentukan laju penurunan tanah di Semarang mengingat beda tempat, beda tahun maka beda pula laju penurunannya. Kompleksnya permasalahan ini ditimbulkan oleh dinamisnya faktor alam dan intervensi manusia, sehingga sangat sulit untuk menentukan

skenario penurunan tanah yang paling akurat di Semarang. Sebuah penyederhanaan telah dibuat untuk menentukan dampak yang mungkin terjadi di masa yang akan datang, yaitu laju penurunan tanah diasumsikan mengikuti trend linier, dan data yang terakhir yang digunakan untuk peramalan. Dengan menggunakan metode DTM (Digital Terrain Model) Sutanta dan Hobma (2002) mengemukakan bahwa penurunan tanah rata-rata di Semarang adalah 11 cm / tahun. Selain itu, Sutanta dan Hobma (2002) juga telah berhasil membuat prediksi penurunan elevasi di daerah pesisir Semarang berdasarkan data tahun 2001. Dimana pada tahun 2001 semua daerah memiliki elevasi positif atau dengan kata lain masih di atas muka air laut rata-rata. Pada tahun 2010 diprediksi sudah ada beberapa daerah yang elevasinya negatif yaitu mencapai MSL - 0,9m. Kemudian masing-masing pada tahun 2019 dan 2070 elevasi paling rendah bisa mencapai MSL -2,1 m dan MSL -7,9 m. Untuk lebih jelasnya mengenai prediksi ini bisa dilihat pada lampiran 27.

Sesuai dengan pendapat Sutanta dan Hobma (2002) maka pada penelitian ini penurunan tanah yang terjadi di wilayah Semarang diasumsikan mengikuti pola linier, selain itu juga dikuatkan dengan data penurunan dari PT Sribiga Ratu Raya yang telah melakukan pengukuran elevasi tiap bulan sejak tahun 1998 di areal pabriknya ternyata mendapatkan trend penurunan yang linier (Lampiran 13).

Secara umum laju penurunan tanah di Semarang semakin besar dari arah selatan yang merupakan dataran tinggi ke utara yang merupakan daerah pesisir (Gambar 18). Hal ini disebabkan jenis tanah di kawasan pesisir kota Semarang merupakan lapisan tanah muda yang lunak sehingga masih terus mengalami pemampatan/konsolidasi. Selain itu kawasan pesisir Semarang yang

merupakan pusat kota Semarang sangat padat akan aktifitas industri, pembangunan gedung, reklamasi, penimbunan lahan dan pengambilan air bawah tanah mempercepat laju penurunan tanah.

Dengan semakin meningkatnya kebutuhan akan ruang, maka pilihannya adalah dengan menimbun lahan rawa-rawa dan lahan yang tergenang lainnya untuk dijadikan daerah pemukiman, pusat perdagangan dan lain-lain. Menurut Suripin (2002) dalam penelitiannya menemukan bahwa penimbunan suatu kawasan akan meningkatkan laju penurunan tanah secara eksponensial. Pada grafik Lampiran 24 terlihat bahwa korelasi antara tinggi penimbunan (X) dalam meter dan penurunan tanah (Y) dalam meter ditentukan oleh rumus :

$$Y = 0,159 X^{2,5009} \quad R^2 = 0,9954$$

Lebih lanjut Suripin (2002) juga menemukan korelasi antara pengurangan kandungan air bawah tanah (Su) dalam meter dengan land subsidence (S) dalam meter yaitu $S = 6,5267 SU^{0,6394}$ ($R^2 = 0,9904$) (Lampiran 25). Berdasarkan persamaan tersebut terlihat bahwa penurunan tanah akan semakin meningkat dengan pengurangan air bawah tanah. Penelitian lain yang dilakukan oleh Fakultas Teknik Mineral ITB (1995) dalam Suripin (2002) menyatakan bahwa penurunan elevasi air bawah tanah mengakibatkan penurunan tanah di Semarang sekitar 0,6-1,2 cm/tahun.

Meskipun demikian, air bawah tanah merupakan faktor yang sulit untuk dikontrol di Indonesia pada umumnya, karena banyak sektor-sektor privat/swasta yang mengoperasikan pompa air bawah tanah. Satu aliran mungkin kecil, akan tetapi secara kumulatif adalah sangat besar, khususnya untuk kota besar seperti Semarang (Suripin, 2002). Menurut data yang didapat dari Dinas Geologi dan Tata Lingkungan (1999) dalam Suripin (2002) jumlah pipa sumur air bawah tanah

meningkat dengan pesat, dari 127 pipa dengan debit air yang tersedot 13,49 juta meter kubik di tahun 1982 menjadi 776 pipa di tahun 1998 dengan debit 35,64 meter kubik (Lampiran 26).

Berdasarkan tabel 8 terlihat bahwa daerah yang mengalami penurunan tanah terbesar adalah di daerah Pelabuhan Tanjung Emas. Dari keempat lokasi yang dijadikan titik pengukuran yaitu Pos IV Pelabuhan, Pos II Pelabuhan, Pos I Pelabuhan dan Depan masjid Nurul Bahari memberikan nilai penurunan masing masing sebesar : 14,8 cm/tahun, 7,8 cm/ tahun, 9,2 cm/tahun dan 10,3 cm/tahun. Besarnya nilai penurunan tersebut terutama disebabkan oleh beratnya beban yang harus ditanggung tanah di lokasi Pelabuhan Tanjung Emas tersebut sehingga hal itu akan mempercepat proses konsolidasi. Seperti yang kita ketahui, Pelabuhan Tanjung Emas padat akan aktifitas industri dimana di lokasi tersebut banyak pabrik-pabrik besar berdiri, seperti Sriboga Ratu Raya, PLTU dan lain-lain. Selain itu terdapat juga aktifitas bongkar muat truk-truk trailer yang membawa berton-ton beban serta adanya jalan layang arteri utara dengan lalu lintas yang begitu padat semakin menambah beban tanah. Adanya industri-industri besar di kawasan pelabuhan juga memperbanyak jumlah air bawah tanah yang tersedot untuk kebutuhan industri tersebut.

4.2.7. Daerah Genangan Rob di Semarang

Suripin (2002) mengemukakan bahwa luas genangan rob di Semarang adalah 3.100 hektar Lampiran 28. Sedangkan menurut BAPPEDA (2000) luas genangan banjir rob di Semarang 3.260 hektar.

Berdasarkan tabel 11, titik-titik genangan rob tersebar dari arah timur mulai jalan Kaligawe ke arah barat sampai PRPP sedangkan ke arah selatan paling jauh adalah daerah Jl Citarum. Untuk foto titik-titik genangan rob ini dapat

dilihat pada lampiran 30. Sedangkan berdasarkan gambar 21 terdapat sedikitnya 14 kelurahan yang terbagi dalam 4 kecamatan tergenang rob.

Kelurahan tersebut antara lain :

1. Kecamatan Genuk : Trimulyo, Terboyo Wetan, Terboyo Kulon dan Muktiharjo Lor
2. Kecamatan Gayam Sari : Tambak Rejo
3. Kecamatan Semarang Timur : Mlatiharjo, Mlati Baru, Kemijen dan Rejomulyo
4. Kecamatan Semarang Utara : Tanjung Mas, Bandar harjo, Kuningan, Panggung Lor dan Panggung Kidul

Luas daerah genangan rob diperkirakan seluas 2.418 hektar. Kelurahan Trimulyo, Terboyo Wetan, Terboyo Kulon, Tambak Rejo, Kemijen, Tanjung Mas, Bandar Harjo, Kuningan dan Panggung Lor merupakan kelurahan yang paling parah terkena genangan rob karena kelurahan tersebut berada paling dekat dengan laut dengan elevasi yang rendah (< 20 m) dan laju penurunan tanahnya > 5 cm/tahun (gambar 18). Sedangkan menurut Sutarip (2002), pada tahun 2001 terdapat 26 kelurahan yang rawan terhadap genangan rob karena kelurahan tersebut elevasinya 0,0 – 0,5 m dari MSL dan untuk prediksi tahun 2010 dan 2070 diperkirakan sebanyak 39 kelurahan pada tahun 2010 yang elevasinya < 0 m dan pada tahun 2070 menjadi 59 kelurahan yang elevasinya < 0 m (Lampiran 29).

Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan, rob pada umumnya melanda pada daerah-daerah yang elevasinya < 1 m MSL seperti daerah pelabuhan, Jl. Hasanudin, depan Hotel Rahayu Jl Imam Bonjol, dan Jl Madukoro. Hal ini menunjukkan pada daerah-daerah yang elevasinya rendah sangat rentan

terhadap gangguan rob, ditambah lagi dengan laju penurunan tanah yang tinggi yaitu > 8 cm /tahun mengakibatkan pada tahun-tahun mendatang rob akan semakin dalam menggenangi daerah tersebut. Selain itu adanya pengurugan lahan juga memicu naiknya rob ke daratan, seperti yang terjadi di Jl Arteri Utara. Untuk lebih jelasnya mengenai faktor pengurugan lahan terhadap rob ini akan dibahas pada bab 4.2.8.

4.2.8. Faktor Lain Penyebab Rob di Semarang

Menurut Sarbidi (2002) banjir rob yang melanda Semarang disebabkan oleh 3 faktor yaitu kenaikan muka laut akibat pemanasan global, penurunan muka tanah dan perubahan tata guna lahan. Untuk faktor pertama dan kedua telah dibahas pada bab sebelumnya, oleh karena itu kali ini akan dibahas mengenai faktor perubahan tata guna lahan .

Seiring dengan pesatnya pertumbuhan penduduk kota Semarang, kebutuhan akan lahanpun semakin meningkat. Menurut Kodoatie dalam situs <http://www.landpolicy.org> (Juni 2004) pada tahun 1976 populasi penduduk Semarang berjumlah 972,984 jiwa, tetapi pada tahun 2000 mencapai 1.309.752 atau naik 35 % dari tahun 1976. Kenaikan jumlah penduduk yang pesat ini membawa konsekwensi kebutuhan akan lahan pemukiman, sarana perdagangan, industri dan transportasi. Akibatnya banyak lahan di kawasan pantai yang dulunya berfungsi sebagai penampung air pasang laut seperti tambak, rawa-rawa dan hutan mangrove ditimbun dan dijadikan kawasan perumahan industri, jalan raya dan lain sebagainya.

Widiasmadi (1999) dalam 20 tahun terakhir daerah retensi pantai Semarang seperti tambak, rawa bakau dan lain-lain telah berkurang seluas 1200 ha. Keberadaan rawa tambak sangat berperan sekali dalam mengendalikan

secara alamiah elevasi air sungai terhadap pasang air laut. Di saat air laut pasang, rawa tambak menjadi lahan kolam pengisian baik dari aliran sungai dan air laut. Sebaliknya di saat surut, maka terjadi proses pengosongan aliran dari rawa tambak (Widiasmadi, 1999). Pada Lampiran 19 terlihat bahwa kenaikan air rob di kali Semarang akan semakin tinggi dengan berkurangnya luas tambak.

Lebih lanjut Widiasmadi menyatakan, khusus untuk Kecamatan Semarang Utara, pada rawa tambak sejak tahun 1975-1999 telah terjadi pengurangan luas dari 187 Ha menjadi 1 Ha dan pada rawa bakau, tahun 1975 luasnya masih 56,1 Ha tetapi pada tahun 1996 rawa bakau tersebut sudah tidak bisa ditemukan lagi. Padahal setiap hektar rawa tambak mampu menampung air sebanyak 5.000-75.000 m³ air (Lampiran 15, 16). Akibatnya, dengan cepatnya laju kenaikan air laut tanpa diimbangi dengan luas tampungan air yang lebih besar menyebabkan daerah tampungan yang ada tidak mampu untuk menampung seluruh debit air laut yang masuk sehingga air laut tersebut meluap ke daerah-daerah kegiatan manusia, seperti jalan, perumahan dll. Selain itu dengan adanya kegiatan penimbunan, akan mempercepat proses penurunan tanah akibat bertambahnya beban yang harus ditanggung tanah.

Kegiatan pengurangan lahan mempunyai peran yang dominan dalam mengurangi luas rawa tambak dan rawa bakau di pantai Semarang. Di Kecamatan Semarang Utara dengan adanya kegiatan pengurangan kawasan Tanah Mas, kawasan pelabuhan, jalan dan kawasan industri, volume pengurangan dari tahun ke tahun semakin bertambah. Pada tahun 1999 volume pengurangan di rawa tambak mencapai 558 m³ dan di rawa bakau mencapai 70,125 m³ (Lampiran 17) dan sampai saat ini pun kegiatan pengurangan dengan cara menimbun rawa dan pantai masih berlangsung. Berdasarkan pengamatan

di lapangan lokasi-lokasi yang baru dan sedang dilakukan kegiatan pengurugan lahan adalah pantai marina dan di sepanjang jalan arteri utara. Pada Lampiran 18 terlihat bahwa akibat penimbunan rawa di jalan arteri utara, pada saat air pasang, rob menjadi melimpas ke jalan raya. Hal inilah yang menjadikan Kecamatan Semarang Utara menjadi daerah yang paling parah terkena rob.

Akibat dari kegiatan pengurugan yang tidak memperhatikan tata guna lahan ini yang paling menderita adalah rakyat miskin dan masyarakat umum. Karena tidak adanya biaya untuk pindah, masyarakat miskin terpaksa tinggal di rumah yang selalu tergenang setiap ada banjir rob. Usaha yang biasa mereka lakukan untuk mengantisipasi rob adalah dengan mengurug dan meninggikan rumah. Akan tetapi hal ini tidak akan memecahkan masalah, hanya akan memindahkan masalah untuk sementara waktu. Karena rumah telah ditinggikan, maka air rob pun berpindah ke jalan, dan ini juga mengganggu masyarakat di sekitar lokasi rob ataupun masyarakat umum pengguna jalan tersebut.

Menurut Widiasmadi (1999) Kecamatan Tugu dan Kecamatan Genuk kondisi rawa tambak dan rawa bakau masih cukup baik, dan dengan didukung oleh sistem drainase memadai menjadikan kawasan ini hanya sedikit menerima pengaruh rob. Ada 10 buah sistem drainase di Kecamatan Tugu mulai dari sistem drainase Mangkang Kulon sampai Silandak. Sedangkan di Kecamatan Genuk meliputi sistem drainase Tenggang dan Sringin.

Sistem drainase mangkang kulon dengan luas 1,04 km² dengan total kemampuan tampung sebesar 1,1 juta m³ merupakan sistem drainase terluas dibandingkan dengan yang lain. Sedangkan total kemampuan tampungan air rawa tambak yang berada di Kec. Tugu adalah 7,4 juta m³ dan di Kec. Genuk sebesar 2,6 juta m³. Sistem drainase seringin dan Tenggang di Kec Genuk

mempunyai luas masing-masing 1,41 m² dan 0,89 m² (Lampiran 20, 21, 22).

Dengan kapasitas yang besar, menjadikan rawa-rawa di Kec. Tugu dan Genuk sangat efektif dalam menampung naiknya air laut saat pasang dan mengosongkannya kembali saat surut. Lebih lanjut Widiasmadi dalam pengamatannya menyatakan bahwa untuk beberapa sungai yang terdapat di kawasan kedua kecamatan tersebut tidak mengalami peluapan di saat pasang air laut, artinya pengaruh pasang air laut tidak menyebabkan hambatan pada pengaliran aliran sungai tersebut. Selain itu tidak juga ditemukan adanya sawah yang tergenang akibat rob. Genangan air atau banjir hanya akibat dari luapan air sungai pada saat hujan.

Selain ketiga faktor di atas faktor buruknya sistem drainase di kota Semarang juga berperan dalam timbulnya banjir rob di Semarang. Perkembangan kota Semarang yang sangat pesat ternyata tidak diimbangi dengan perencanaan sistem drainase yang matang, benar dan memadai. Pembelokan bahkan penutupan sungai dan saluran-saluran untuk kepentingan proyek tertentu merupakan salah satu bukti buruknya perencanaan sistem drainase di Semarang. Sebagai contoh pada tahun 1984-1987 Sungai Tawangmas yang dulunya langsung bermuara ke laut dibelokkan ke Sungai Banjir Kanal Barat untuk pembangunan Proyek Pekan Raya Promosi Pembangunan (PRPP). Padahal sesuai fungsi awal pembuatannya pada awal abad ke -20 Sungai Banjir Kanal Timur dan Barat hanya digunakan untuk mengalirkan luapan air dari kawasan Semarang bagian atas, dan tidak diperuntukan sebagai pembuangan air yang berasal dari kota. Hal ini mengakibatkan beban volume air yang harus dialirkan oleh Sungai Banjir Kanal Barat menjadi semakin berat. Keadaan ini diperparah dengan kurang terpadunya

tata guna lahan wilayah Semarang bagian atas. Semakin berkurangnya lahan resapan di Semarang bagian atas menjadikan pada waktu musim hujan air yang seharusnya terserap di lahan-lahan peresapan menjadi langsung mengalir ke sungai-sungai dan menambah beban volume air yang harus dialirkan sungai dan saluran sehingga memperparah banjir rob yang terjadi. Selain itu berdasarkan hasil pengamatan dijumpai saluran air dan sungai yang kotor dan tersumbat oleh sampah sehingga mengganggu aliran air sungai ataupun saluran tersebut (Lampiran 23). Buruknya sistem drainase di Semarang ini menyebabkan terjadinya banjir pada musim hujan dan rob pada saat laut pasang tinggi karena air sungai meluap ke daratan.

4.2.9. Usaha Penanggulangan Rob di Semarang

Dengan melihat keempat faktor penyebab rob di atas yaitu kenaikan muka laut global, penurunan tanah, perubahan tata guna lahan dan buruknya sistem drainase maka usaha yang perlu dilakukan untuk menanggulangi rob adalah memperketat ijin dan pengawasan pengambilan air bawah tanah, menghentikan kegiatan penimbunan/pengurugan rawa, tambak dan hutan mangrove, memperbaiki sistem drainase melalui normalisasi dan revitalisasi sungai dan saluran, memperbaiki tata guna lahan daerah Semarang bagian atas terutama untuk melindungi daerah resapan serta yang terpenting adalah memperluas daerah tampungan sebagai tempat limpahan naiknya air laut ke daratan. Untuk itu perlu segera dibuat suatu kajian pemetaan geometrik secara terpadu dengan data kontur permukaan tanah (data space shuttle/SRTM) dengan akurat dapat menghitung dan membuat model pola aliran, dataran rendah rawan banjir/rob (Hartoko, 2005).

Pembangunan polder di stasiun Tawang merupakan salah satu cara untuk memperluas daerah tampungan. Terbukti dengan dibangunnya polder tersebut berdasarkan pengamatan lapangan di Stasiun Tawang dan kawasan Kota Lama saat terjadi pasang tinggi sudah tidak terjadi genangan lagi. Akan tetapi pembangunan polder tersebut di satu sisi memiliki kelemahan yaitu dari segi mahal nya biaya pembuatan dan tidak adanya nilai ekonomi yang didapat dari polder tersebut.

Salah satu cara yang efektif dan efisien untuk menanggulangi memperluas daerah tampungan air adalah dengan memberdayakan kembali tambak-tambak yang telah mangkrak dan membuka lahan tambak baru dari tanah yang kurang mempunyai manfaat lingkungan seperti tanah kosong, lapangan, sawah dan lain-lain serta memanfaatkan rawa-rawa atau tambak tersebut sebagai tempat wisata, misalnya memancing, rumah makan terapung dan lain-lain. Usaha ini akan sangat bermanfaat dalam mengatasi banjir rob. Selain itu dengan melibatkan masyarakat, masyarakat juga akan merasakan manfaat ekonomi dari hasil tambak tersebut dan masyarakat pulalah yang akan menjaga keberlangsungan tambak tersebut.

Selain itu di sepanjang sempadan pantai juga perlu dilakukan reboisasi mangrove. Seperti yang telah diketahui menurut Bruun *dalam* Aditya (2003) bahwa kenaikan muka laut sebesar 1 cm akan mengakibatkan daratan mundur sejauh 1 m, yang berarti kenaikan muka air laut menyebabkan terjadinya abrasi pantai. Dengan adanya hutan mangrove di sepanjang pantai maka akan berfungsi sebagai penahan laju abrasi pantai atau dengan kata lain hutan mangrove sebagai tanggul alami pantai. Kemudian melalui fungsinya sebagai sedimen trap, peristiwa abrasi akan dilawan dengan sedimentasi, sehingga diharapkan air laut

tidak maju ke daratan tetapi daratan yang semakin maju ke laut. Hutan mangrove di sepanjang pantai juga akan bermanfaat bagi tambak di belakangnya.

Akan tetapi dalam melakukan usaha-usaha tersebut perlu dilakukan kajian dulu secara mendalam yaitu mengenai jenis-jenis spesies kultivan tambak dan mangrove yang cocok, cara penanaman mangrove yang sesuai untuk penanggulangan abrasi, luas tambak dan mangrove yang diperlukan, daerah-daerah mana saja yang akan dijadikan tambak dan hutan mangrove, persepsi masyarakat dan lain sebagainya.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini antara lain :

1. Tipe pasang surut di perairan Semarang adalah campuran condong ke ganda yang berarti terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dalam sehari tetapi berbeda dalam tinggi dan waktunya.
2. Perkembangan kedudukan muka laut di Perairan Semarang yang tercatat di stasiun Pasut Semarang mengikuti pola liner dengan persamaan $Y = 4,8967 X - 9645,9$ ($R^2 = 0,9636$) dengan laju kenaikan 5,43 cm/tahun.
3. Kenaikan muka laut global bukan merupakan pengaruh yang dominan terhadap kenaikan muka laut di Semarang karena hanya menyebabkan kenaikan muka laut di Semarang sebesar 0,265 cm/tahun
4. Penurunan tanah merupakan faktor dominan yang menyebabkan naiknya air laut ke daratan di Semarang karena dari kenaikan muka laut sebesar 5,43 cm/tahun yang tercatat di Stasiun Pasut Semarang, sebesar 5,165cm/tahun disebabkan oleh penurunan tanah di Stasiun tersebut.
5. Laju penurunan tanah di beberapa lokasi di wilayah Semarang bervariasi dengan kecenderungan laju penurunan tanah semakin besar dari arah selatan ke utara (mendekati pantai), dimana laju penurunan terbesar adalah di kawasan Pelabuhan Tanjung Emas
6. Luas daerah tergenang rob diperkirakan sekitar 2.418 Ha, yang meliputi 4 Kecamatan dan 14 Kelurahan yaitu Kecamatan Genuk : Trimulyo, Terboyo Wetan, Terboyo Kulon dan Muktiharjo Lor; Kecamatan Gayam Sari : Tambak Rejo; Kecamatan Semarang Timur : Mlatiharjo, Mlati Baru, Kemijen dan Rejomulyo; dan Kecamatan Semarang Utara : Tanjung Mas,

Bandar harjo, Kuningan, Panggung Lor dan Panggung Kidul

7. Penyebab timbulnya rob di Semarang yaitu kenaikan muka air laut global, penurunan tanah, perubahan tata guna lahan serta kondisi system drainase yang buruk.

5.2. Saran

Untuk menuntaskan permasalahan rob yang melanda pesisir Semarang, perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai:

1. Pengukuran elevasi BM 1 SPP II-1 dari TTG 447 atau TTG 449 secara berkala minimal 1 tahun sekali untuk mengetahui (membuktikan) kestabilan BM tersebut
2. Pengukuran elevasi BM pasut dari BM 1 SPP II-1 secara berkala minimal 6 bulan sekali untuk mengetahui ada tidaknya perubahan nilai penurunan di BM pasut.
3. Pengukuran elevasi BM-BM yang ada di daerah pesisir Semarang secara berkala minimal 1 tahun sekali untuk memantau laju penurunan tanah di wilayah pesisir Semarang
4. Kajian sebaran genangan rob dihubungkan dengan elevasi air laut sehingga diketahui sampai sejauh mana sebaran genangan rob pada elevasi air laut tertentu.
5. Kajian pemetaan geometrik secara terpadu dengan data kontur permukaan tanah dengan akurat dapat menghitung dan membuat model pola aliran, dataran rendah rawan banjir/rob
6. Kajian mengenai kemungkinan peran tambak sebagai daerah tampungan air saat laut pasang dan kajian mengenai efektifitas hutan mangrove sebagai penghalang abrasi akibat kenaikan muka laut.

Sedangkan untuk usaha penanggulangan rob yang dapat dilakukan adalah

1. Memperketat ijin dan pengawasan pengambilan air bawah tanah,
2. Menghentikan kegiatan penimbunan/pengurugan rawa, tambak dan hutan mangrove,
3. Dalam melakukan penataan lahan di Semarang bagian atas hendaknya memperhatikan aspek lingkungan terutama untuk mempertahankan daerah resapan di Semarang bagian atas
4. Memperbaiki system drainase melalui normalisasi dan revitalisasi sungai dan saluran
5. Memperluas daerah tampungan sebagai tempat limpahan naiknya air laut ke daratan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurachim, A. 2002. Dampak Kenaikan Muka Air Laut Terhadap Penanganan Kawasan Permukiman. Seminar Nasional Pengaruh Global Warming Terhadap Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil Ditinjau dari Kenaikan Permukaan Air Laut dan Banjir. Jakarta 30-31 Oktober 2002
- Adhitya, F.W. 2003. Analisis Banjir Rob di Kecamatan Semarang Utara dan Kecamatan Semarang Timur pada Saat Pasang Tertinggi. Skripsi Jurusan Ilmu Kelautan FPIK. UNDIP. Semarang (Tidak dipublikasikan)
- Akil, S. 2002. Antisipasi Dampak Pemanasan Global Dari Aspek Teknis Penataan Ruang. Seminar Nasional Pengaruh Global Warming Terhadap Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil Ditinjau dari Kenaikan Permukaan Air Laut dan Banjir. Jakarta 30-31 Oktober 2002
- Ali, M; D K Miharja dan S Hadi. 1994. Pasang Surut Laut. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Anzenhofer, M; Th Gruber; Ch. Reighber dan M Rentsch. 2005. Global Sea Level Analysis Based On Altimeter Data. <http://earth.esa.int>. Akses tanggal 22 April 2005
- Arikunto, S. 1993. Prosedur Penelitian : Suatu Pendekatan Praktek. Rineka Cipta. Jakarta.
- BAPPEDA Semarang. 2000. Profil Wilayah Pantai Dan Laut Kota Semarang. BAPPEDA. Semarang
- Bratasida, L. 2002. Tinjauan Dampak Pemanasan Global Dari Aspek Lingkungan Hidup. Seminar Nasional Pengaruh Global Warming Terhadap Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil Ditinjau dari Kenaikan Permukaan Air Laut; dan Banjir. Jakarta 30-31 Oktober 2002
- Dahuri, R. 2002. Pengaruh Global Warming Terhadap Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil. Seminar Nasional Pengaruh Global Warming Terhadap Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil Ditinjau dari Kenaikan Permukaan Air Laut dan Banjir. Jakarta 30-31 Oktober 2002
- Darmono. 2003. Aplikasi Metode Admiralty Untuk Analisa Pasang di Perairan Semarang Periode Desember 2002. Laporan PKL Jurusan Ilmu Kelautan FPIK. Universitas Diponegoro. Semarang (Tidak dipublikasikan).
- Hadi, S. 1993. Metodologi Research 2. Yayasan Penerbit Fakultas Psikologi UGM. Yogyakarta. 218hal
- Hartoko, A. 2005. Supply of Thematic Coastal Zone Data Sets for Province of North Sumatra. BAPPEDA SUMUT; DKP-RI dan ADB
- <http://www.ccasia.teri.res.in>. Vulnerability to climate change and adaptation. Akses tanggal 22 April 2005

<http://www.gaw.kishou.go.jp> . World Data Centre for Green House Gasses.
Akses tanggal 26 Juni 2004

<http://www.landpolicy.org>. Semarang, Kota yang Abaikan tata Guna Lahan dan Lingkungan. Akses tanggal 26 Juni 2004

<http://wlf.ncdc.noaa.gov> . Global Warming. Akses tanggal 22 April 2005

<http://www.sos.bangor.ac.uk>. 13 Global Change In The Ocean. Akses tanggal 22 April 2005

<http://en.wikipedia.org/wiki>. Global Warming. Akses tanggal 22 April 2005

<http://www.worldviewofglobalwarming> . 10 Myths of Global Warming and What YOU can DO to help slow Climate Disruptions. Akses tanggal 26 Juni 2004

Hutabarat, S dan S.M. Evans. 1987. Pengantar Oseanografi. UI Press. Jakarta

Ilhude, A.G. 1999. Pengantar Oseanologi Fisika. P3O LIPI. Jakarta

Manurung, P; J. Ananto; A. Restu; R. Marni; S. Barlianto. 2002. Adakah Indikasi Kenaikan Permukaan Air Laut di Pantai Semarang ? Seminar Nasional Pengaruh Global Warming Terhadap Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil Ditinjau dari Kenaikan Permukaan Air Laut dan Banjir. Jakarta 30-31 Oktober 2002

Miller, L. 2005. Satellite Altimetry and The NOAA/NESDIS . NOAA/NESDIS, Silver Spring. Maryland

Muhrozi; S Pranoto dan Nasrullah. 1997 Studi Penentuan Penurunan Permukaan Tanah di Semarang bagian Bawah. Fakultas Teknik Sipil Universitas Diponegoro. Semarang

Mustain, M. 2002. Tinjauan Dampak Pemanasan Global Dari Aspek Lingkungan Hidup. Seminar Nasional Pengaruh Global Warming Terhadap Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil Ditinjau dari Kenaikan Permukaan Air Laut; dan Banjir. Jakarta 30-31 Oktober 2002

Ongkosongo , O.S.R dan Suyarso. 1989. Pasang Surut. Puslitbang Oseanografi-LIPI. Jakarta

Pangesti, R.D; Syamsudin; B. Supartanto dan D.M. Sulaiman. 2002. Dampak Kenaikan Muka Air Laut Terhadap Penanganan Prasarana Pantai dan Sungai. Seminar Nasional Pengaruh Global Warming Terhadap Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil Ditinjau dari Kenaikan Permukaan Air Laut dan Banjir. Jakarta 30-31 Oktober 2002

Pariwono, J.I. 1995. Keseragaman Muka Air Laut di Sepanjang Tepi Luar Pantai Kepulauan Sunda Besar. Prosiding Seminar Hasil Penelitian Ilmu Kelautan. Bogor 20-22 Maret 1995. Fak . Perikanan IPB. Bogor.

- Pelindo III Cabang Tanjung Emas. 1998. Hasil Survey/Pengukuran Elevasi dalam Rangka Pengamatan Penurunan Tanah di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang. Pelaksana : CV Mitra Muda Rekayasa Semarang. PT. Pelindo III cabang Tanjung Emas. Semarang
- Pelindo III Cabang Tanjung Emas. 2000. Hasil Survey/Pengukuran Elevasi dalam Rangka Pengamatan Penurunan Tanah di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang Tahap III Tahun 2000. Pelaksana : CV Parmaga Utama Semarang. PT. Pelindo III cabang Tanjung Emas. Semarang
- Pelindo III Terminal Peti Kemas Semarang, 2004. Pengukuran Elevasi Benchmark dan Pemetaan Situasi Daerah Kerja Terminal Peti Kemas Semarang. Pelaksana : CV. Tridaya Engineering Consultants. PT. Pelindo TPKS. Semarang
- Pugh, D.T. 1987. Tide, Surge and Mean Sea Level. A Handbook for Engineer and Scientist. John and Sons Ltd. Pp 472
- Rawi, S. 1989. Pasang Surut. Dishidros TNI AL. Jakarta
- Sarbidi. 2002. Pengaruh Rob Pada Permukiman Pantai (kasus Semarang). Prosiding Kerugian pada Bangunan dan Kawasan Akibat Kenaikan Muka Air Laut pada Kota-kota Pantai di Indonesia.
- Sidjabat, M.M. 1973. Pengantar Oseanografi. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Setiyono, H; S, Sukmaningrum; D. Haryo dan Tri W.W. 1994. Laporan Penelitian Isu Kenaikan Muka Air Laut Global pada Pesisir Pulau Jawa. Studi Kasus di Tiga Kota Besar (Jakarta Semarang, Surabaya). Pusat Studi Lingkungan Hidup. Lembaga Penelitian UNDIP. Semarang (tidak Dipublikasikan)
- Soedjito, B.B. 2002. Konsep dan Upaya Bidang Sosial Ekonomi Regional dalam Menyikapi Terjadinya Global Warming. Seminar Nasional Pengaruh Global Warming Terhadap Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil Ditinjau dari Kenaikan Permukaan Air Laut dan Banjir. Jakarta 30-31 Oktober 2002
- Sriboga Raturaya. 2002. Laporan Monitoring Settlement bangunan Silo, Pabrik, Dermaga PT Sroboga raturaya Semarang sampai Bulan Desember 2002. PT Sriboga Raturaya. Semarang
- Sriboga Raturaya. 2004. Laporan Monitoring Settlement bangunan Silo, Pabrik, Dermaga PT Sroboga raturaya Semarang sampai Bulan Desember 2004. PT Sriboga Raturaya. Semarang
- Sriboga Ratu Raya. 2005. Pengukuran Topografi Proyek Mixing Plant dan Ware House PT Sriboga Ratu Raya. Pelaksana : PT Gunawan Cipta Arsindo. PT. Sriboga Ratu Raya. Semarang
- Supriharyono. 2002. Pelestarian dan Pengelolaan Sumber Daya Alam di Wilayah Pesisir Tropis. Cetakan ke-2. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.

- Surachmad, W. 1978. Dasar dan Teknik Research, Pengantar dan Metodologi Ilmiah. Tarsito. Bandung. 338 hal.
- Suripin, 2002. Model Development of Ground Water Abstraction and Land Subsidence Potential Maps at The North Coast of Semarang Based On GIS. Civil Engineering Study Program. Engineering Faculty Diponegoro University. Semarang. 32 p.
- Sutanta, H dan TW Hobma. 2002. Preliminary Assessment of The Impact of Land Subsidence and Sea Level Rise in Semarang, Central Java, Indonesia. Proceeding PORSEC. Bali
- Sutarip, S. 2002. Kondisi Eksisting dan Prakiraan Dampak "Land Subsidence" dan "Sea Level Rise" di Kota Semarang. Seminar Nasional Pengaruh Global Warming Terhadap Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil Ditinjau dari Kenaikan Permukaan Air Laut dan Banjir. Jakarta 30-31 Oktober 2002
- Sutisna, S dan P. Manurung. 2002. Pemantauan Perubahan Permukaan Air Laut Akibat Global Warming dan Dampaknya Terhadap Pesisir dan Pulau-pulau Kecil. Seminar Nasional Pengaruh Global Warming Terhadap Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil Ditinjau dari Kenaikan Permukaan Air Laut dan Banjir. Jakarta 30-31 Oktober 2002
- Takle, E S. 1997. Sea Level Rise. <http://www.iitap.iasate.edu/gcp/sealevel> . Akses tanggal 22 April 2005
- Terzaghi, K dan R.B. Peck. 1993. Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa. Jilid 2. Edisi Kedua. Erlangga. Jakarta.
- Widiasmadi, N. 1999. Peran Tambak sebagai Penyangga Kawasan Terhadap Pengaruh Eksternal Eksploitasi Dataran Alluvial. PEMKOT Semarang dan Universitas Ki Ageng Pandanaran. Semarang
- Wirakusumah, A.D dan S Lubis. 2002. Antisipasi Dampak Global Warming Terhadap Investasi dan Peluang Pengembangannya. Seminar Nasional Pengaruh Global Warming Terhadap Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil Ditinjau dari Kenaikan Permukaan Air Laut dan Banjir. Jakarta SO-31 Oktober 2002
- Yanagi, T dan T Akaki. 1994. Sea Level Variation in The Eastern Asia. Journal of Oceanography. Vol 50 th 1994
- Yulianto, T; M Irham dan M Rozi. 2004. Penerapan Metoda Mikro Gravity 4D Untuk Pemantauan Amblesan Tanah dan Intrusi Air Laut di Daerah Semarang Bawah. Universitas Diponegoro. Semarang.