

**LAPORAN MITIGASI PEMETAAN GEOLOGI LINGKUNGAN
DAERAH JAKARTA BOGOR DEPOK TANGERANG BEKASI PUNCAK CIANJUR
PROVINSI DKI JAKARTA, BANTEN DAN JAWA BARAT**

Oleh :

Tim Pusat Air Tanah dan Geologi Tata Lingkungan - Badan Geologi

No : /LAP-BGE.P2K/2019

Program Penelitian, Mitigasi dan Pelayanan Geologi

**KODE PROGRAM : 020.13.09
TAHUN ANGGARAN : 2019
KUASA PENGGUNA ANGGARAN : Andiani
PENANGGUNG JAWAB KINERJA : Andiani
PEJABAT PEMBUAT KOMITMEN : Nenden Atik Handayani**



**KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL
BADAN GEOLOGI
PUSATAIR TANAH DAN GEOLOGI TATA LINGKUNGAN
Jl. Diponegoro No.57, Bandung 40122
Tlp. (022)7274676, 7274677; Fax. (022) 7206167, E-Mail : pag@bgl.esdm .go.id**

**KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL
BADAN GEOLOGI
PUSAT AIR TANAH DAN GEOLOGI TATA LINGKUNGAN**
JALAN DIPONEGORO NO.57 BANDUNG 40122
Telp. (022) 7274676, 7274677, Fax (022) 7206167
Home Page : <http://www.plg.esdm.go.id> E-mail : pag@bgl.esdm.go.id

LEMBAR PENGESAHAN

Program Penelitian, Mitigasi dan Pelayanan Geologi

**LAPORAN MITIGASI PEMETAAN GEOLOGI LINGKUNGAN
JAKARTA BOGOR DEPOK TANGGERANG BEKASI PUNCAK CIANJUR
PROVINSI DKI JAKARTA, BANTEN DAN JAWA BARAT**

Bandung, September 2019

Mengetahui / Menyetujui,
Koordinator Tim

Kepala Tim,

Tantan Hidayat, ST., MT.
NIP. 197901202006041001

Eep Ridwan Firdaus, ST.
NIP. 197610232009021001

Mengetahui / Menyetujui,
a.n. Kepala PATGTL
Kepala Bidang Geologi Lingkungan

Mengetahui / Menyetujui,
Pejabat Pembuat Komitmen (P2K)

Dr. Ir. M. Wachyudi Memed, M.T.
NIP. 196705051993031002

Nenden Atik Handiyani, S. Kom
NIP. 198510212010122001

KATA PENGANTAR

Laporan Mitigasi Pemetaan Geologi Lingkungan di Jakarta Bogor Depok Tangerang Bekasi Puncak Cianjur (Jabodetabekpunjur) merupakan laporan kegiatan mitigasi kebencanaan gabungan dari tim Pusat Survey Geologi, Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi dan Pusat Air Tanah dan Geologi Tata Lingkungan sebagai realisasi pelaksanaan Program Penelitian, Mitigasi dan Pelayanan Geologi Anggaran 2019.

Metode yang digunakan yaitu melalui pengumpulan dan inventarisasi data primer yang diperoleh dari pengamatan dan penyelidikan di lapangan, serta data – data sekunder dari instansi terkait dan hasil penelitian – penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Hasil akhir disajikan dalam bentuk laporan tertulis disertai dengan peta – peta tematik.

Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat, yaitu sebagai bahan masukan dan pertimbangan dalam perencanaan tata ruang wilayah dan pengelolaan lingkungan sehingga perencanaan pengembangan wilayah perkotaan berbasis geologi dan berwawasan lingkungan dapat dilakukan secara optimal.

Bandung, September 2019

Pejabat Pembuat Komitmen (P2K)

Nenden Atik Handiyani, S. Kom
NIP. 198510212010122001

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
BAB I Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Maksud dan Tujuan.....	2
1.3 Manfaat Penyelidikan	2
1.4 Hasil Penyelidikan	3
1.5 Lokasi Penyelidikan	3
1.6 Waktu dan Pelaksana Penyelidikan	4
BAB II Metodologi	5
2.1 Metode Analisis	5
2.1.1 Kajian Geologi Lingkungan	5
2.1.2 Kajian Tematik Area Terpilih	7
2.1.2.1 Kajian Geologi Penginderaan Jauh	7
2.1.2.2 Pemetaan Seismotektonik	8
2.1.2.3 Kajian Morfotektonik	9
2.1.2.4 Kajian Stratigrafi dan Fasies Kuartar	12
2.1.2.5 Kajian Geofisika Bawah Permukaan (Gayaberat dan Geolistrik)	14
2.1.2.6 Pemetaan Kawasan Rawan Bencana (KRB) Gempa Bumi	18
2.1.2.7 Pemetaan Mikrozonasi Gempabumi Area Terpilih	25
2.1.2.8 Pemetaan Zona Kerentanan Gerakan Tanah (ZKGT)	28
2.1.2.9 Kajian Geologi Teknik Area Terpilih	35
2.2. Tahapan Analisis Geologi Lingkungan Perkotaan	36
2.2.1 Persiapan dan Kajian Data Sekunder	37
2.2.2 Verifikasi Lapangan Data Sekunder	38
2.2.3 Pengolahan dan Analisis	40
2.2.4 Penggambaran Peta dan Penyusunan Laporan	40
BAB III Gambaran Umum	42
3.1 Kondisi Geologi Umum	42
3.1.1 Fisiografi	42
3.1.2 Stratigrafi	43
3.1.3 Struktur Geologi	45
3.2 Iklim	45
3.3 Kependudukan	46
3.4 Tata Guna Lahan	47
BAB IV Tematik Lokasi Terpilih Untuk Pengembangan Wilayah Perkotaan	51
4.1 Kajian Geologi Penginderaan Jauh	51
4.2 Pemetaan Seismotektonik	55
4.3 Kajian Morfotektonik	61
4.4 Kajian Stratigrafi dan Fasies Kuartar	64

4.5	Kajian Geofisika Bawah Permukaan (Gayaberat dan Geolistrik)	73
4.6	Pemetaan Kawasan Rawan Bencana (KRB) Gempa Bumi	78
4.7	Pemetaan Mikrozonasi Gempabumi Area Terpilih	107
4.8	Pemetaan Zona Kerentanan Gerakan Tanah (ZKGT)	112
4.9	Kajian Geologi Teknik Area Terpilih	126
BAB V Tematik Geologi Lingkungan Untuk Pengembangan Wilayah Perkotaan		141
5.1	Tematik Komponen Sumber Daya Geologi	141
5.2	Tematik Komponen Bahaya Geologi	148
BAB VI Hasil Analisis Geologi Tata Lingkungan		171
6.1	Klasifikasi Kesesuaian Lahan untuk Pengembangan Wilayah Perkotaan	171
6.2	Rekomendasi Geologi Tata Lingkungan	173
BAB VII Penutup		176
7.1	Kesimpulan	176
7.2	Saran	178
Daftar Pustaka		180

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Jadwal Kegiatan Penyelidikan Geologi Lingkungan	4
Tabel 2.1	Komponen sumberdaya geologi.....	5
Tabel 2.2	Komponen bahaya geologi.....	6
Tabel 2.3	Komponen penyisih geologi	6
Tabel 2.4	Komponen penyisih non geologi.....	7
Tabel 2.5	Data corring geologi kuartar dalam penelitian stratigrafi	13
Tabel 2.6	Daftar sample yang dianalisis	14
Tabel 2.7	Metode dan skala penyusunan ZKGT	29
Tabel 2.8	Data parameter dalam penentuan ZKGT	31
Tabel 2.9	Klasifikasi nilai AUC oleh Yesilnacar	32
Tabel 3.1	Perkembangan penduduk DKI Jakarta 2012-2016	46
Tabel 4.1	Pembagian siklus dan sub siklus berdasarkan perubahan iklim dan fluktuasi muka air laut di Cekungan Jakarta	70
Tabel 4.2	Nilai AUC untuk setiap parameter	117
Tabel 4.3	Hubungan spasial tiap parameter dengan gerakan tanah	118
Tabel 4.4	Laju penurunan tanah daerah terpilih Jabodetabekpunjur periode 2017-2019	133
Tabel 5.1	Nilai AUC untuk setiap parameter	154
Tabel 5.2	Nilai Dd menurut Soewarno (1991)	169
Tabel 6.1	Klasifikasi kesesuaian lahan	171
Tabel 6.2	Karakteristik kesesuaian lahan	172

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta Lokasi Daerah Penelitian	3
Gambar 2.1	Tiga pendekatan utama sistem survei geomorfologi	9
Gambar 2.2	Kenampakan geomorfologi akibat sesar aktif	10
Gambar 2.3	Diagram Alir Tahapan Survei Kajian Morfotektonik Area Terpilih	11
Gambar 2.4	Metodologi penelitian kajian stratigrafi kuartar	12
Gambar 2.5	Distribusi titik kontrol geodesi	17
Gambar 2.6	Grafik hubungan V_s^{30} serta $Z^{1.0}$	22
Gambar 2.7	Konsep dasar mikrozonasi gelombang seismik	26
Gambar 2.8	Diagram alir proses penelitian mikrozonasi	27
Gambar 2.9	Peralatan pengukuran mikrozonasi	27
Gambar 2.10	Diagram alir proses pengolahan data	28
Gambar 2.11	Ilustrasi perhitungan kelas pembobotan	30
Gambar 2.12	Bagan alir kegiatan analisis geologi lingkungan perkotaan	37
Gambar 3.1	Fisiografi Jawa menurut van Bemmelen (1949)	42
Gambar 3.2	Peta Geologi regional daerah Jakarta dan sekitarnya	44
Gambar 3.3	Pembagian pola ruang dan pola struktur RTR Jabodetabekpunjur	49
Gambar 3.4	Peta pembagian zona struktur pola ruang Jabodetabekpunjur	50
Gambar 4.1	Peta Geologi Inderaja Kawasan Jabodetabekpunjur	55
Gambar 4.2	Peta Seismotektonik Kawasan Jabodetabekpunjur	59
Gambar 4.3	Peta Mikrozonasi potensi bencana gempa bumi DKI Jakarta	61
Gambar 4.4	Daerah pengamatan lapangan Tangerang dan Bogor	63
Gambar 4.5	Peta Morfotektonik daerah Hambalang dan Serpong	63
Gambar 4.7	Lokasi pemboran yang telah di deskripsi dan di analisis	65
Gambar 4.8	Lokasi penyelidikan geofisika bawah permukaan	73
Gambar 4.9	Peta anomali gayaberat Jabodetabekpunjur	74
Gambar 4.10	Delineasi struktur patahan di daerah Jabodetabekpunjur	75
Gambar 4.11	Model penampang bawah permukaan gayaberat di zona Sesar Baribis	75
Gambar 4.12	Penampang resistivity di zona Sesar Baribis pada lintasan J06D	76
Gambar 4.13	Model penampang bawah permukaan gayaberat di zona Sesar Cisadane.....	76
Gambar 4.14	Penampang resistivity di zona Sesar Cisadane pada lintasan J08D	77
Gambar 4.15	Model penampang bawah permukaan gayaberat di zona Sesar Bekasi	77
Gambar 4.16	Penampang resistivity di zona Sesar Bekasi pada lintasan J03S	78
Gambar 4.17	Penampang melintang barat – timur dan Lokasi penampang	80
Gambar 4.18	Percepatan tanah puncak (PGA)	82
Gambar 4.19	Percepatan pada batuan dasar, tanah permukaan, amplifikasi untuk spektra 0.2 dtk	82
Gambar 4.20	Percepatan pada batuan dasar, tanah permukaan, amplifikasi untuk spektra 1.0 dtk	83
Gambar 4.21	Percepatan pada batuan dasar, tanah permukaan, amplifikasi untuk spektra 4.0 dtk	83
Gambar 4.22	Percepatan tanah puncak (PGA)	84
Gambar 4.23	Percepatan pada tanah permukaan, amplifikasi untuk spektra 0.2 dtk	85
Gambar 4.24	Percepatan pada tanah permukaan, amplifikasi untuk spektra 1.0 dtk.....	86
Gambar 4.25	Percepatan pada tanah permukaan, amplifikasi untuk spektra 4.0 dtk.....	87
Gambar 4.26	Percepatan tanah puncak (PGA) bermagnitudo Mw 6.7 kedalaman 9 km.....	89
Gambar 4.27	Percepatan pada tanah permukaan, amplifikasi untuk spektra 0.2 dtk Mw 6.7.....	90
Gambar 4.28	Percepatan pada tanah permukaan, amplifikasi untuk spektra 1.0 dtk Mw 6.7.....	91
Gambar 4.29	Percepatan pada tanah permukaan, amplifikasi untuk spektra 4.0 dtk Mw 6.7.....	92

Gambar 4.30	Percepatan pada tanah permukaan, amplifikasi untuk spektra 10 dtk Mw 6.7.....	93
Gambar 4.31	Percepatan tanah puncak bermagnitudo Mw 6.7 kedalaman 12 km	94
Gambar 4.32	Percepatan tanah puncak spektra 0.2s bermagnitudo Mw 6.7 kedalaman 12 km	94
Gambar 4.33	Percepatan tanah puncak spektra 1.0s bermagnitudo Mw 6.7 kedalaman 12 km	95
Gambar 4.34	Percepatan tanah puncak spektra 4.0s bermagnitudo Mw 6.7 kedalaman 12 km	95
Gambar 4.35	Percepatan tanah puncak spektra 10.0s bermagnitudo Mw 6.7 kedalaman 12 km	96
Gambar 4.36	Peta V_s^{30} dan kedalaman batuan dasar	97
Gambar 4.37	Percepatan tanah puncak sekitar Pusat Bisnis Sudirman PSHA	98
Gambar 4.38	Percepatan tanah puncak sekitar Pusat Bisnis Sudirman spektral 0.2s	99
Gambar 4.39	Percepatan tanah puncak sekitar Pusat Bisnis Sudirman spektral 1.0s	99
Gambar 4.40	Percepatan tanah puncak sekitar Pusat Bisnis Sudirman spektral 4.0s	100
Gambar 4.41	Percepatan tanah puncak sekitar Pusat Bisnis Sudirman DSHA	101
Gambar 4.42	Percepatan tanah puncak sekitar Pusat Bisnis Sudirman spektral 0.2s	102
Gambar 4.43	Percepatan tanah puncak sekitar Pusat Bisnis Sudirman spektral 1.0s	102
Gambar 4.44	Percepatan tanah puncak sekitar Pusat Bisnis Sudirman spektral 4.0s	103
Gambar 4.45	Percepatan tanah puncak sekitar Pusat Bisnis Sudirman spektral 10.0s	103
Gambar 4.46	Percepatan tanah puncak sekitar Pusat Bisnis Sudirman DSHA Mw 8.7	104
Gambar 4.47	Percepatan tanah puncak sekitar Pusat Bisnis Sudirman spektral 0.2s Mw 8.7	104
Gambar 4.48	Percepatan tanah puncak sekitar Pusat Bisnis Sudirman spektral 1.0s Mw 8.7	105
Gambar 4.49	Percepatan tanah puncak sekitar Pusat Bisnis Sudirman spektral 4.0s Mw 8.7	105
Gambar 4.50	Percepatan tanah puncak sekitar Pusat Bisnis Sudirman spektral 10.0s Mw 8.7	106
Gambar 4.51	Peta titik pengukuran mikrotremor di wilayah Jakarta	107
Gambar 4.52	Peta sebaran V_s^{30} wilayah Jakarta	108
Gambar 4.53	Peta sebaran V_s^{1000} wilayah Jakarta	109
Gambar 4.54	Peta sebaran kedalaman cekungan wilayah Jakarta dengan V_s^{30}	110
Gambar 4.55	Peta sebaran kedalaman cekungan wilayah Jakarta dengan V_s^{1000}	111
Gambar 4.56	Longsor pada lereng dengan kemiringan terjal	113
Gambar 4.57	Longsor bahan rombakan	113
Gambar 4.58	Peta sebaran titik gerakan tanah di Bopunjur	114
Gambar 4.59	Nendatan jalan desa Pasireurih	115
Gambar 4.60	Longsor pada tebing jalan yang mengakibatkan nendatan	115
Gambar 4.61	Sungai Ciapus yang berhulu di Gunung Salak	116
Gambar 4.62	Potensi aliran bahan rombakan di Desa Pabangbon	116
Gambar 4.63	Bongkahan batu di Sungai Cipamingkis	116
Gambar 4.64	Peta sebaran titik gerakan tanah di Bopunjur	118
Gambar 4.65	Peta tiap parameter dengan sebaran titik gerakan tanah di Bopunjur	125
Gambar 4.66	Peta zona gerakan tanah dengan metode <i>WoE</i> di wilayah Bopunjur	126
Gambar 4.67	Peta geologi teknik daerah kajian	128
Gambar 4.68	Pengukuran patok pantau di daerah Bulak Sere	130
Gambar 4.69	Peta titik patok pantau pengukuran GPS di daerah kajian	131
Gambar 4.70	Pengukuran patok pantau di daerah Kamal	132
Gambar 4.71	Pengukuran patok pantau di daerah Lebak Bulus	132
Gambar 4.72	Peta laju penurunan tanah daerah kajian 2017-2019	134
Gambar 4.73	Peta zona kerentana likuifaksi daerah kajian	137
Gambar 4.74	Peta zona kemampuan geologi teknik daerah kajian	140
Gambar 5.1	Batas horisonta CAT di Jabodetabekpunjur	141
Gambar 5.2	Diagram blok hidrostratigrafi CAT DKI Jakarta	142
Gambar 5.3	Peta ketersediaan airtanah kawasan Jabodetabekpunjur	143
Gambar 5.4	Daerah dengan kemiringan lereng datar	144
Gambar 5.5	Daerah dengan kemiringan lereng landai	145

Gambar 5.6	Daerah dengan kemiringan lereng terjal	145
Gambar 5.7	Peta kemiringan lereng kawasan Jabodetabekpunjur	146
Gambar 5.8	Peta daya dukung tanah/batuan kawasan Jabodetabekpunjur	148
Gambar 5.9	Peta sebaran kedalaman cekungan wilayah Jakarta V_s^{30} m/s	151
Gambar 5.10	Peta kawasan rawan bencana gempa bumi Jabodetabekpunjur	152
Gambar 5.11	Longsoran bahan rombakan Kecamatan Nanggung	153
Gambar 5.12	Potensi aliran bahan rombakan di Kecamatan Leuwiliang	153
Gambar 5.13	Peta sebaran titik gerakan tanah Bopunjur	154
Gambar 5.14	Peta sebaran titik gerakan tanah di Bopunjur yang dalam analisis dibagi menjadi dua longsor training dan longsor tes	155
Gambar 5.15	Peta kawasan rawan bencana gerakan tanah Jabodetabekpunjur	156
Gambar 5.16	Gunung Gede	157
Gambar 5.17	Gunung Salak	159
Gambar 5.18	Peta kawasan rawan bencana gunungapi Jabodetabekpunjur	161
Gambar 5.19	Skema terjadinya tsunami	162
Gambar 5.20	Peta kawasan rawan bencana tsunami Jabodetabekpunjur	163
Gambar 5.21	Tumpukan sampah di aliran sungai	164
Gambar 5.22	Penyempitan bantaran sungai Ciliwung	164
Gambar 5.23	Peta Kawasan Rawan Banjir Jabodetabekpunjur	166
Gambar 5.24	Kawasan lahan basah di Bekasi Utara	167
Gambar 5.25	Penanaman pohon bakau di wilayah Tangerang bagian utara	167
Gambar 5.26	Peta Lahan Basah Jabodetabekpunjur	168
Gambar 5.27	Peta Kerapatan sungai Jabodetabekpunjur	170
Gambar 6.1	Peta Kesesuaian lahan berdasarkan Aspek Geologi Jabodetabekpunjur	175

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Saat ini kota-kota besar di Indonesia berkembang sangat pesat, baik secara vertikal maupun horisontal. Pertumbuhan pesat gedung pencakar langit dan pembangunan jembatan, jalan maupun infrastruktur strategis lainnya. Bagaimanakah kesiapan kota-kota tersebut menghadapi ancaman bahaya geologi. Banyaknya korban jiwa dan kerugian harta benda, serta kerusakan bangunan dan infrastruktur akibat bencana. Kesiapan tersebut meliputi ketersediaan data informasi spasial yaitu data-data kegeologian, baik sumberdaya geologi maupun kebencanaan geologi, sebagai dasar dalam penataan ruang suatu kota baik dari aspek fisiknya maupun sosial ekonomi.

Salah satu efek dari pembangunan dan pengembangan wilayah adalah semakin meluasnya penggunaan lahan untuk kawasan budi daya. Hal ini juga mengakibatkan permintaan akan sumber daya alam akan meningkat pesat. Sejalan dengan itu, populasi penduduk semakin meningkat sebagai akibat pertumbuhan penduduk alami maupun migrasi sebagai dampak pemenuhan sumber daya pembangunan. Agar tercipta keselarasan dan pembangunan berkesinambungan, pengembangan suatu kawasan harus disesuaikan dengan kemampuan daya dukung lahan dan ketersediaan sumber daya, baik sumber daya alam, sumber daya lahan dan sumber daya manusia. Pada aspek lingkungan, kegiatan pembangunan yang dilakukan tidak boleh melampaui kemampuan daya dukung lahan agar tidak menimbulkan degradasi lingkungan. Dalam pengembangan suatu kawasan seringkali terjadi ketidaksesuaian peruntukan lahan karena belum memperhatikan daya dukung lahan, misalnya bangunan perkantoran yang tidak sesuai dengan daya dukung tanah, kawasan permukiman yang tidak memiliki sumber air bersih, pemukiman yang terletak di daerah rawan bencana dan lain-lain.

Kajian geologi lingkungan diharapkan memberikan sajian informasi berbagai kondisi geologi yang meliputi sumber daya geologi dan kebencanaan geologi. Sumber daya geologi yang meliputi kondisi topografi, sifat fisik tanah/batuan dan hidrologi merupakan faktor pendukung dalam pengembangan wilayah, sedangkan kebencanaan geologi seperti gempa bumi, tsunami, letusan gunung api, gerakan tanah, likuifaksi, amblesan, *landsubsidence*, dan abrasi,

serta kebencanaan lainnya merupakan faktor pembatas (kendala) dalam pengembangan suatu wilayah.

Wilayah kajian yaitu Kawasan Jakarta Bogor Depok Tangerang Bekasi Puncak Cianjur (JABODETABEKPUNJUR) merupakan salah satu Kawasan Strategis Nasional (KSN) yang dalam pengembangannya membutuhkan data pendukung geologi lingkungan. Wilayah ini merupakan salah satu denyut perekonomian di Pulau Jawa dengan populasi penduduk yang sangat tinggi dan merupakan kota metropolitan sekaligus Ibukota Negara, terdapat beberapa isu nasional yg berkeajolak terkait gempa megathrust yg diprediksi berpengaruh ke wilayah DKI Jakarta dst., serta dilalui sesar aktif Cimandiri, Baribis dan Citarik. Selain itu Sesar Baribis ini juga diduga memiliki beberapa anak sesar yang berada di daerah JABODETABEKPUNJUR, yaitu Sesar Cisadane dan Sesar Bekasi. Tentunya pemerintah berkewajiban untuk melakukan kajian terkait keberadaan sesar-sesar tersebut guna meningkatkan kewaspadaan terhadap bencana geologi.

Untuk itu pada tahun anggaran 2019, Bidang Geologi Lingkungan, Pusat Air Tanah dan Geologi Tata Lingkungan, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, melaksanakan Penyelidikan Geologi Lingkungan di Kawasan JABODETABEKPUNJUR sebagai salah satu bagian signifikan dalam penyajian informasi geologi terpadu.

1.2. Maksud dan Tujuan

Maksud dari penyelidikan geologi lingkungan yaitu untuk menyajikan informasi geologi secara komprehensif yang dijadikan acuan dalam pengembangan perkotaan di Kawasan Jabodetabekpunjur. Adapun tujuannya untuk mengetahui ancaman bencana geologi, sumber daya geologi, kendala geologi, yang terdapat di wialayah Jabodetabekpunjur dan keleluasaan untuk pembangunannya, serta memberikan rekomendasi pengembangan kota secara aman dan nyaman.

1.3. Manfaat Penyelidikan

Manfaat dari hasil penyelidikan ini, diantaranya :

- Mewujudkan pembangunan kota dan infrastruktur wilayah yang berkelanjutan;
- Memberikan acuan dalam menyusun rencana strategis pengembangan kota secara nasional dan daerah;

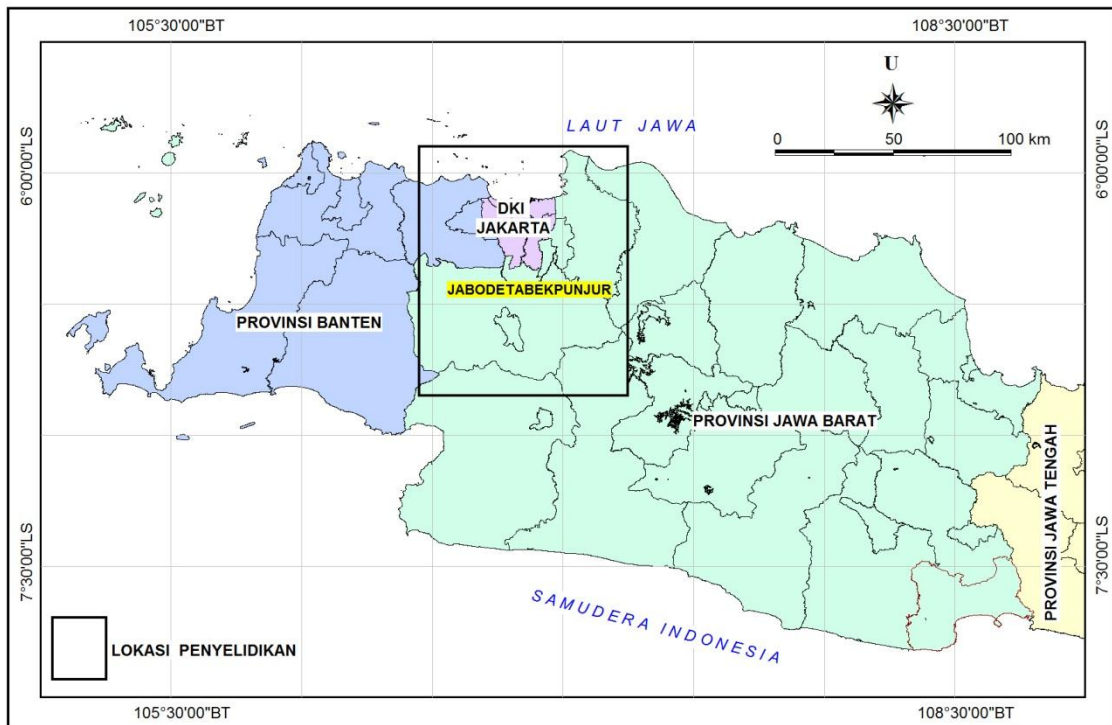
- Memberikan gambaran kondisi geologi suatu kota sehingga dapat ditentukan area terdampak bencana / kendala geologi, potensi air tanah, dan persyaratan teknis untuk pendirian bangunan.

1.4. Hasil Penyelidikan

Hasil dari penyelidikan geologi lingkungan perkotaan ini dituangkan dalam bentuk buku laporan yang di lengkapi peta utama berupa Peta Geologi Lingkungan dan Peta Rekomendasi Penggunaan Lahan dengan skala 1 : 50.000, dan di dalamnya memuat lampiran peta-peta tematik (beraspek geologi dan non geologi) serta informasi penunjang lainnya dalam bentuk tabulasi, gambar, grafik dan foto.

1.5. Lokasi Penyelidikan

Lokasi penyelidikan berada pada $5^{\circ} 54' 49''$ LS - $6^{\circ} 56' 28''$ LS dan $106^{\circ} 20' 15''$ BT - $107^{\circ} 29' 45''$ BT, meliputi Kawasan Jakarta, Bogor, Depok, Tangerang, Bekasi, Puncak dan Cianjur (JABODETABEKPUNJUR) Provinsi DKI Jakarta, Banten dan Jawa Barat. Luas area penyelidikan sekitar 7.828 Km^2 . Peta lokasi penyelidikan dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Peta lokasi daerah penelitian daerah JABODETABEKPUNJUR (kotak hitam).

1.6. Waktu dan Pelaksana Penyelidikan

Waktu yang diperlukan dari seluruh kegiatan dalam pemetaan dari tahap persiapan hingga penyelesaian laporan adalah sekitar 5 bulan, dimulai pada Bulan Juli hingga Bulan November, dengan rincian yaitu tahap persiapan 10 hari, tahap kegiatan lapangan 30 hari, tahap analisis data dan penyusunan laporan 90 hari. Jadwal dari kegiatan tersebut disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1.
Jadwal Kegiatan Penyelidikan Geologi Lingkungan Jabodetabekpunjur

No	Kegiatan	Juni 2019	Juli 2019	Agustus 2019	September 2019	Oktober 2019
1	Persiapan	■				
2	Lapangan		■			
3	Analisa Data			■	■	■
4	Penyusunan Laporan			■	■	■

Susunan personalia tim yang melakukan penyelidikan ini adalah sebagai berikut :

1. Eep Ridwan Firdaus, ST (Ketua Tim)
2. Ir. Oki Oktariadi, M.Si (Ahli Geologi Lingkungan, Anggota Tim)
3. Ir. Rustam (Ahli Geologi Lingkungan, Anggota Tim)
4. Rony Afrian, S.T., M.Si. (Ahli Geologi Lingkungan, Anggota Tim)
5. Usep Suherman (Ahli Geologi Lingkungan, Anggota Tim)
6. Eddy Tarwedi, S.T. (Ahli Geologi Lingkungan, Anggota Tim)
7. Selasian Gussyak, S.T. (Ahli Geologi Lingkungan, Anggota Tim)
8. Aris Dwi Nugroho, S.T. (Ahli Geologi Lingkungan, Anggota Tim)
9. Gin Gin Gunawan, S.T. (Ahli Geologi Lingkungan, Anggota Tim)
10. Melia Susana, S.T. (Ahli Geologi Lingkungan, Anggota Tim)

BAB II METODOLOGI

2.1. Metoda Analisis

2.1.1 Kajian Geologi Lingkungan

Metoda analisis menggunakan pembobotan dan tumpang susun antara komponen-komponen sumber daya geologi, komponen-komponen bahaya geologi serta komponen-komponen penyisih. Komponen-komponen, kelas, bobot, nilai dan skor dapat dilihat pada Tabel 2.1, 2.2, 2.3, dan 2.4.

Besarnya bobot dan nilai ditentukan oleh tingkat kepentingan masing-masing parameter terhadap tujuan kesesuaian lahan. Skor adalah hasil perkalian antara bobot dan nilai. Selanjutnya akan diketahui jumlah skor dari seluruh parameter. Berdasarkan jumlah skor dapat diketahui klasifikasi kesesuaian lahan. Adapun interval klasifikasi kesesuaian lahan menggunakan rumus:

$$\frac{\text{Nilai Max} - \text{Nilai Min}}{3}$$

Dengan range nilai sebagai berikut:

Rendah	-2 – 20
Sedang	21 – 46
Tinggi	47 – 72

A. Komponen Geologi

Komponen sumber daya geologi terdiri atas air tanah, morfologi, dan daya dukung tanah/batuan.

Tabel 2.1 Komponen Sumber Daya Geologi

No.	Komponen	Bobot	Kisaran	Kelas	Nilai	Skor
1	(Ketersediaan air tanah untuk memenuhi kebutuhan air bersih)	14	Tinggi	Baik	3	42
			Sedang	Sedang	2	28
			Rendah	Buruk	1	14
2	Morfologi (untuk kemudahan konstruksi dan aksesibilitas)	8	Datar (0 – 5%)	Baik	3	24
			Landai (5 – 15%)	Sedang	2	16
			Terjal (>15%)	Buruk	1	8
3	Daya dukung tanah batuan (untuk fondasi)	2	Tinggi	Baik	3	6
			Sedang	Sedang	2	4
			Rendah	Buruk	1	2

B. Komponen Bahaya Geologi

Komponen yang dianalisis adalah gempa bumi, tsunami, kerentanan gerakan tanah, gunungapi, lahan basah dan kerapatan sungai.

Tabel 2.2 Komponen Bahaya Geologi

No	Komponen	Bobot	Kisaran	Kelas	Nilai	Skor	Keterangan
1.	Gempabumi (menggangu stabilitas konstruksi)	-4	Sangat rendah	Baik	0	0	
			Rendah	Sedang	1	-4	
			Tinggi	Buruk	2	-8	
2.	Tsunami (Potensi Landaan) (terkait dengan kerusakan lahan, bangunan, dan konstruksi)	-3	Tidak Berpotensi	Baik	0	0	Kejadian potensi tsunami rendah
			Rendah	Baik	0	0	
			Menengah	Sedang	1	-3	
3.	Kerentanan gerakan tanah (terkait dengan kemantapan konstruksi)	-2	Sangat rendah	Baik	0	0	
			Rendah	Sedang	1	-2	
			Menengah	Buruk	2	-4	
4.	Gunungapi (terkait dengan kerusakan lahan dan bangunan)	-1	Aman	Baik	0	0	Tidak ada gunung api
			Kawasan Rawan I	Sedang	1	-1	
			Kawasan Rawan II	Buruk	2	-2	
5.	Lahan Basah / Rawa	-2	Kering	Baik	0	0	
			basah	Buruk	1	-2	
6.	Kerapatan Sungai (terkait dengan pembangunan infrastruktur)	-2	Rendah (< km/km ²)	Baik	0	0	
			Sedang (km/km ²)	Sedang	1	-2	
			Tinggi (> km/km ²)	Buruk	2	-4	

C. Komponen Penyisih Geologi

Komponen yang dianalisis adalah zona sesar aktif, bahaya gunung api dengan kategori KRB III dan kerentanan gerakan tanah tinggi.

Tabel 2.3 Komponen Penyisih Geologi

No	Komponen	Kriteria	Kelas	Keterangan
1.	Zona sesar aktif	Jarak < 100 meter	Tidak Layak	Berkaitan dengan faktor keamanan
2.	Bahaya gunungapi	Kawasan Rawan Bencana III	Tidak Layak	
3.	Kerentanan gerakan tanah	Kerentanan Tinggi	Tidak Layak	

D. Komponen Penyisih Non Geologi

Tabel 2.4 Komponen Penyisih Non Geologi

No	Komponen	Kriteria	Kelas	Keterangan
1	Kawasan lindung	Dalam Kawasan Lindung	Tidak Layak	Berkaitan dengan peraturan dan perundang-undangan
2	Daerah Banjir	Wilayah terdampak banjir	Kesesuaian Rendah	Berkaitan dengan faktor ekonomi, kesehatan, dan kenyamanan

2.1.2 Kajian Tematik Area Terpilih

2.1.2.1 Pemetaan Geologi Inderaan Jauh

Secara umum kegiatan pemetaan geologi indera jauh ini terdiri atas 3 (tiga) tahapan utama, yaitu tahap pra-survei lapangan, pekerjaan survei lapangan dan analisis laboratorium, penyusunan peta geologi dan penyusunan laporan.

Kegiatan persiapan meliputi pengkajian literatur berupa laporan hasil penelitian terdahulu, peta-peta yang sudah ada, makalah ilmiah, dll. Dalam tahapan ini dilakukan pencarian dan pengkajian terhadap data-data sekunder yang berasal dari instansi pemerintah maupun non-pemerintah terkait. Selain itu juga dilakukan telaah terhadap peta geologi, peta rupa bumi daerah penelitian, penafsiran terhadap citra satelit dan landsat, serta penyiapan peta topografi daerah setempat. Tahap persiapan meliputi kegiatan teknis dan kegiatan non teknis/administrasi.

Kegiatan lapangan ini dimulai dengan melakukan orientasi/peninjauan lapangan untuk mengetahui kondisi umum daerah penelitian. Disamping itu juga dilakukan survei ketersediaan sarana dan prasarana transportasi daerah penelitian untuk memperlancar penyediaan akomodasi selama penelitian. Setelah peninjauan lapangan, kemudian dilaksanakan survei yang meliputi kegiatan :

- Pengamatan singkapan (variasi jenis batuan),
- Pengukuran tebal dan kedudukan lapisan batuan (untuk penampang stratigrafi),
- Pengukuran kedudukan struktur geologi (di daerah sesar, kekar, dan perlipatan),
- Pengukuran struktur mikro berupa sesar, kekar, bidang perlapisan, foliasi, dll,
- Pengambilan contoh batuan untuk analisis laboratorium

- Melakukan lintasan geologi (*geological traverse*) terutama di lokasi-lokasi yang perlu diteliti secara detil,
- Dokumentasi fotografi

Analisis laboratorium yang diperlukan pada kegiatan ini terutama diperlukan untuk melakukan rekonstruksi urutan stratigrafi dalam kaitannya dengan umur geologi. Studi petrografi, struktur geologi serta analisis lain digunakan sebagai penunjang. Metode penentuan umur, apabila memungkinkan digunakan antara lain :

- Penentuan umur batuan sedimen dengan menggunakan fosil.
- Penentuan kandungan unsur utama dan jejak dengan XRF serta unsur tanah jarang dengan ICP-MS.
- Kesebandingan umur batuan hasil pemetaan dengan hasil analisis pada formasi batuan dipeta regional atau referensi lainnya, apabila tidak dimungkinkan untuk melakukan analisis laboratorium tersebut diatas.

Kegiatan di studio meliputi penggambaran Peta Geologi skala 1 : 50.000, diagram *measuring section*, dan peta-peta penunjang lain yang dihasilkan dari kegiatan lapangan dan interpretasi hasil analisis laboratorium.

2.1.2.2 Pemetaan dan Penelitian Seismotektonik

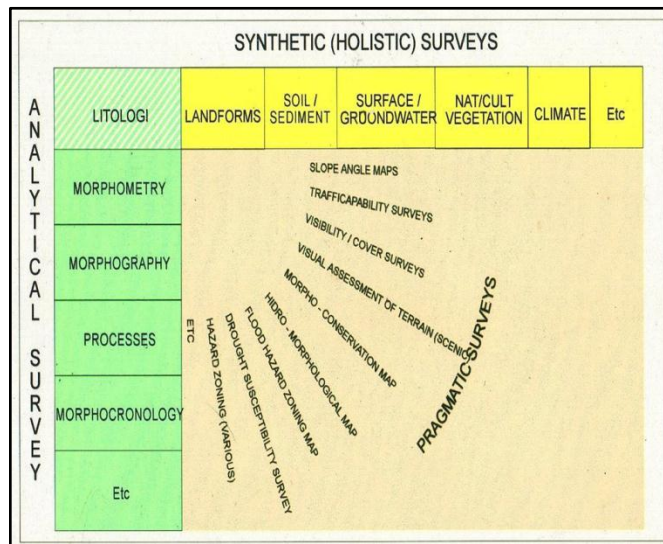
Konsep dasar dari kegiatan pemetaan dan penelitian seismotektonik ini adalah, bahwasanya bencana gempa bumi tidak dapat diprediksi secara pasti kapan akan terjadi, namun besaran potensi bencana dan daerah potensi terdampak bencana dapat diketahui serta besaran potensi bencananya secara kuantitatif dapat dihitung. Penyusunan tataruang wilayah berbasis pada potensi bencana gempa bumi adalah salah satu upaya mitigasi potensi risiko gempa bumi yang mungkin terjadi dimasa yang akan datang.

Metodologi yang diterapkan dalam kegiatan ini adalah metodologi pemetaan dan penelitian seismotektonik, yang berbasis pada ilmu pengetahuan geologi dan geofisika khususnya neotektonik dan struktur geologi patahan aktif yang berasosiasi dengan gempa bumi (seismogenetik). Kegiatan utama pemetaan dan penelitian seismotektonik yakni menentukan dan menghitung sumberdaya gempa bumi secara kuantitatif berupa panjang patahan aktif dan potensial aktif (Km), potensi kekuatan gempa bumi maksimum patahan aktif dan potensial aktif (Mw) dan kecepatan pergeseran rata rata per tahun patahan aktif dan potensial aktif (Cm/tahun).

Analisis dan penilaian potensi bencana gempa bumi secara probabilistik dan deterministik adalah target diterapkan metodologi ini. Kegiatan sekunder dalam upaya ini adalah mengkaji, mengevaluasi dan menganalisis data sekunder geologi yang berada di Badan Geologi dan instansi lainnya, geofisika khususnya kegempaan yang bersumber dari USGS dan BMKG

2.1.2.3 Kajian Morfotektonik Area Terpilih

Metoda pemetaan dilakukan atas dasar model yang diturunkan dari ITC (*International Institute for Aerial Survey and Earth Science*) Belanda, Sistem ITC dipilih dan dipakai sebagai acuan mengingat sistem ini merupakan gabungan dari beberapa sistem yang ada, baik di daerah tropis, sub tropis, kering dan agak kering, yang mana dalam pemetaan geomorfologi dilakukan dengan cara tiga pendekatan utama (Verstappen 1985), terutama analisa sintetik dan analitik (Gambar 2.1). Metode ini didukung dengan memanfaatkan sistem indera jauh, baik foto udara, maupun citra lainnya seperti Spot, Landsat, SLAR sebagai alat utama dan penelitian lapangan.



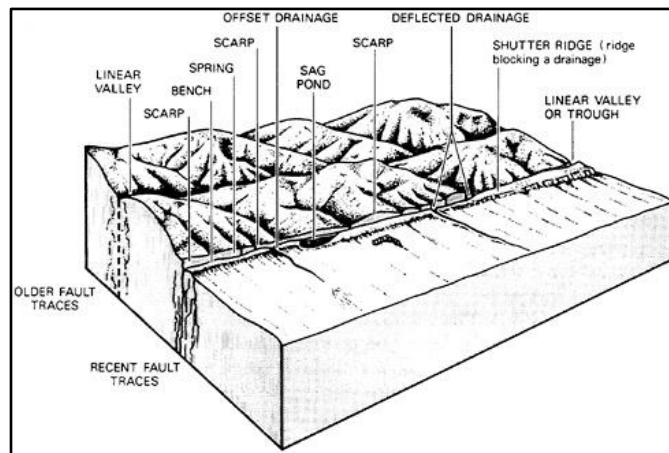
Gambar 2.1. Tiga Pendekatan Utama Sistem Survei Geomorfologi (Verstappen, 1985)

Pragmatik survei menekankan pada analisa morfogenesis suatu bentuklahan dalam hal ini ialah bentuklahan tektonik. Sistem yang diterapkan kini menggunakan fasilitas indera jauh dengan citra landsat ditambah dengan tinjau lapangan. Selanjutnya dari hasil analisis di laboratorium potret/Citra, terpilih beberapa lokasi yang diduga dibentuk sebagai hasil kegiatan struktur/tektonik. Hasil laboratorium potret/Citra perlu diuji kebenarannya dan diselaraskan

dengan hasil tinjau lapangan. Perlu juga dilakukan pengukuran indeks geomorfologi yang bertujuan untuk menaksir tingkat/derajat tektonik dengan metoda transek khususnya pada daerah terpilih.

Selain metodologi diatas juga dilakukan Penelitian berbasis geologi permukaan dengan dua pendekatan utama, yaitu Morfologi tektonik atau yang dikenal dengan Morfotektonik dan Struktur geologi (Morfostruktur).

Morfotektonik adalah penerapan prinsip – prinsip geomorfologi untuk mengetahui aktivitas tektonik yang terjadi. Hal ini dicerminkan di permukaan oleh bentuklahan tektonik, diantaranya: pebukitan antiklin/sinklin, gawir sesar, telaga sesar, rawa depresi, pergeseran alur sungai, igir bukit yang tergeser, lembah sesar atau graben dan masih banyak kreteria lain yang perlu direkam secara baik (Gambar 2.2).



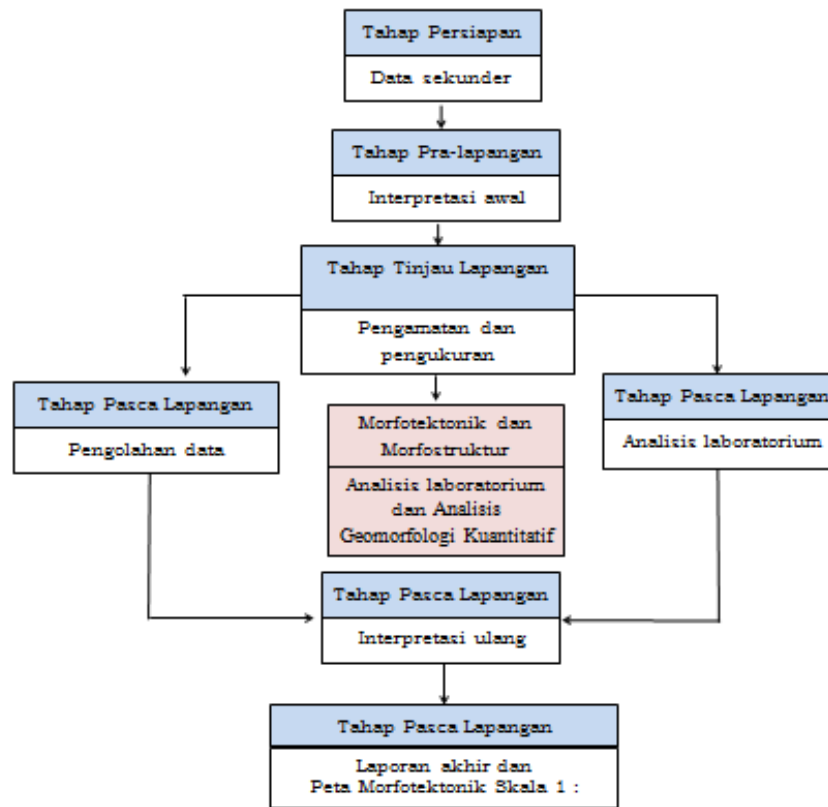
Gambar 2.2. Kenampakan geomorfologi akibat sesar aktif (Slemmons, 1986)

Tahapan persiapan pencarian data sekunder yaitu data-data yang mencakup daerah pemetaan atau data-data yang berhubungan dengan daerah pemetaan atau literatur tentang konsep pemetaan geomorfologi. Disamping itu pula kita butuhkan data-data seperti peta topografi, peta geologi, peta geomorfologi, foto udara, citra landsat maupun SLAR.

Tahapan interpretasi awal yaitu evaluasi data sekunder, foto udara, citra landsat maupun SLAR , peta geomorfologi, peta geologi untuk dapat membuat peta geomorfologi permulaan atau peta geomorfologi tentatif agar dapat melihat kesebandingan beberapa data yang ada di lapangan.

Tahapan penelitian lapangan atau tinjau lapangan, tahapan ini pada dasarnya menguji kebenaran peta geomorfologi permulaan atau peta geomorfologi tentatif (merincikan secara detail Peta Geomorfologi tentatif dan regional serta Peta Geologi Regional), terhadap kenyataan di lapangan dan mencari sampel untuk keperluan laboratorium serta data-data dasar yang meliputi lereng (kecuraman, bentuk, panjang), bentuk lembah, batuan (jenis, macam, dan struktur geologi), tanahpenutup (tekstur, ketebalan), proses geomorfologi serta penggunaan lahan.

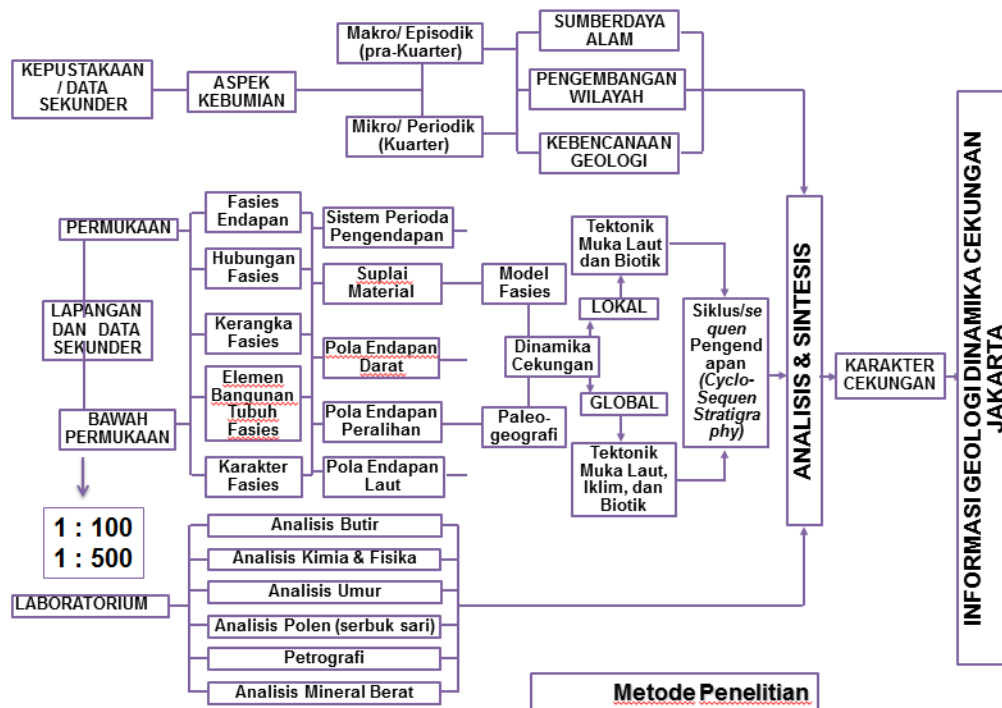
Peta hasil analisis awal (skala 1 : 25.000) kita selaraskan dengan keadaan sebenarnya di lapangan tentang kebenaran analisis di laboratorium terutama daerah-daerah terpilih untuk dapat dijadikan sebagai daerah kunci untuk mengetahui proses tektonik dimasa lalu. Setelah melakukan proses pemilihan daerah kunci yang mewakili morfologi tektonik di wilayah penelitian selanjutnya dilakukan pemetaan dengan sistim transek. Data tersebut dapat ditingkatkan menjadi penelitian lebih rinci di kemudian hari dapat ditingkatkan menjadi penelitian morfoneotektonik.



Gambar 2.3. Diagram Alir Tahapan Survei Pemetaan Morfotektonik Area Terpilih Skala 1 : 25.000 pada wilayah DKI Jakarta

2.1.2.4 Kajian Stratigrafi dan Fasies Kuarter

Kajian Geologi Kuarter adalah untuk mengidentifikasi berbagai fenomena geologi bawah permukaan untuk mengetahui kemungkinan potensi kebencanaan, dan daya dukung endapan Kuarter dan lingkungan. Untuk maksud tersebut dilakukan interpretasi dan analisis pada sampel pemboran serta analisis laboratorium pendukung seperti pentarikan Radiokarbon dating C-14, palinologi, XRD (*X-Ray Device*), XRF (*X-Ray Fluorescence*) dan ICP-MS (*Induced Couple Polarization-Measured Section*). Kajian ini diharapkan dapat mengetahui sifat fisik material penyusun cekungan dan mengetahui sejauh mana manifestasi yang disebabkan oleh sesar-sesar aktif wilayah sekitar terhadap cekungan Kuarter. Diharapkan dengan mengacu pada kajian ini, perencanaan pengembangan wilayah dapat dilakukan, sehingga hasil-hasil pembangunan dan manusia dapat terhindar dari ancaman bencana geologi.



Gambar 2.4. Metodologi Penelitian Kajian Stratigrafi Kuarter Cekungan Jakarta

Tahapan persiapan adalah mempersiapkan, pengumpulan data literatur, penyiapan peta dasar dan perlengkapan maupun peralatan lapangan, dan penafsiran citra satelit. Mempersiapkan peta dasar topografi dan Peta Geologi Lembar Jakarta skala 1:100 000.

Studi literatur atau studi pustaka untuk mempelajari konsep geologi baik dalam skala regional maupun dari hasil peneliti terdahulu untuk mengetahui gambaran umum keadaan geologi daerah penelitian.

Tahapan pekerjaan lapangan, pekerjaan lapangan yang dilakukan meliputi deskripsi bor sebanyak 7 buah core dengan rincian 4 buah core dengan kedalaman 300 meter dan 3 buah core dengan kedalaman 60 meter. Koordinat lokasi dari data core yang digunakan dalam penelitian geologi Kuarter pada tabel 2.5.

Tabel 2.5. Data *coring* geologi Kuarter dalam penelitian stratigrafi Kuarter Jakarta

No.	Lokasi	Kedalaman
1	Mangga Besar, Glodok	300 meter
2	Universitas Satyagama Kamal	300 meter
3	Taman Bangdes, Pasar Minggu	300 meter
4	Pulau gebang, Cakung	300 meter
5	Pesanggrahan zona 9/64	60 meter
6	LC KJ Zona 10	60 meter
7	LC 4 Zona 3	60 meter

Data core dideskripsi dalam format log bor. Log bor berisi ketebalan lapisan, struktur dan deskripsi litologi secara megaskopis dan lingkungan pengendapan. Data core yang dianalisis sebagian diambil untuk analisis komposisi mineral, analisis petrografi, analisis geokimia, analisis foran dan analisis umur. Hasil log dikorelasikan berdasarkan litofasies dan karakteristik facies pengendapan. Korelasi berupa penampang yang diinterpretasikan sebagai data untuk kajian stratigrafi Kuarter disertai dengan penelaahan dan data sekunder untuk dijadikan dasar dalam analisis resiko kebencanaan dan perencanaan pembangunan.

Setiap data dari titik pemboran digambar ke dalam log bor dengan skala vertikal 1 : 100. Kemudian dianalisis lingkungan pengendapannya berdasarkan sifat fisik batuan dan kandungan fosil ataupun organik materialnya serta fisik batuan lainnya.

Analisis Stratigrafi menyajikan data dan informasi mengenai karakteristik serta sebaran endapan sedimen berumur Kuarter khususnya kala Holosen. Analisis stratigrafi ini dapat menjabarkan meliputi rekonstruksi pembentukan cekungan Kuarter bagaimana cekungan Kuarter

terbentuk serta menganalisa bagaimana proses dinamika bumi, meliputi perubahan muka air laut serta tektonik secara local yang mempengaruhi proses pembentukan cekungan Jakarta.

Sampel yang sudah dipilih dianalisis di laboratorium Pusat Survei Geologi, Bandung. Data core yang dianalisis tercantum pada tabel 3. Beberapa analisis laboratorium yang akan dilakukan yaitu untuk analisis umur mutlak dengan metode C14, yaitu sedimen yang banyak mengandung kandungan organik dari setiap posisi stratigrafi yang dianggap berbeda. sampel untuk penentuan lingkungan pengendapan, analisis petrografi dengan sayatan tipis, analisis mineral dengan metode XRD dan komposisi geokimia dengan metode XRF dan ICP-MS, analisis kandungan fosil foraminifera mikro, serta kandungan pollen.

Tabel 2.6. Daftar Sampel yang dianalisis

No	Jenis Analisis	Jumlah Sampel
1	Petrografi	40
2	XRD	141
3	XRF	44
4	ICP-MS	44
5	AAS	2
6	SEM	8
7	Nanofosil	16
8	Palynologi	45
9	C-14 dating	6

2.1.2.5 Kajian Geofisika Bawah Permukaan (Gayaberat dan Geolistrik)

Metodologi penelitian dimulai dari studi literatur dan kajian data sekunder berupa data kegempaan, data bor, peta geologi dan struktur sesar daerah penelitian, serta data DEM (Digital Elevation Model). Data DEM dapat digunakan untuk membantu melihat pola-pola kelurusan sesar atau patahan di daerah penelitian.

Peralatan yang akan digunakan di dalam penyelidikan geologi terpadu di daerah penelitian berdasarkan kajian Geofisika bawah permukaan ini antara lain :

1. Dua unit peralatan Gravimeter beserta kelengkapannya (Baterai, *Charger*, *Carrying Case*, piringan, obeng, buku *log* harian).

2. Satu unit peralatan GPS Differential Hemisphere beserta kelengkapannya (tripod, SDCard, Card Reader, Baterai, Charger, Meteran, buku log harian).
3. Satu unit peralatan Geolistrik Supersting AGI-USA beserta kelengkapannya (Baterai, Charger, Carrying Case, buku log harian).
4. Kabel pendek dan kabel panjang (56 channel) untuk Geolistrik.
5. GPS *Handheld* 2 buah, Kompas.
6. Palu Geologi, *loupe* dan kantong conto batuan.
7. Beberapa peta dasar seperti Peta Topografi, Peta Geologi, Peta Jalan, Peta Sungai, Peta Administratif daerah penelitian.

a. Metode Gayaberat

Anomali Gayaberat adalah selisih antara nilai Gayaberat hasil pengamatan (g_{obs}) dengan nilai Gayaberat teoritis (g_{teori}). Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut

$$g_{anomali} = g_{obs} - g_{teori} \quad (3.1)$$

Keduanya baik g_{obs} maupun g_{teori} harus dikoreksi terlebih dahulu. Nilai Gayaberat hasil pengamatan (g_{obs}) adalah nilai Gayaberat pembacaan (g_{baca}) yang dikoreksi dengan koreksi pasang-surut (*Tide Correction*) dan koreksi apungan (*Drift Correction*). Kemudian nilai Gayaberat teoritis (g_{teori}) adalah nilai Gayaberat normal (g_n) yang dikoreksi dengan koreksi udara bebas (*Free Air Correction*), koreksi *Bouguer* (*Bouguer Correction*) dan koreksi medan (*Terrain Correction*) seperti dituliskan dalam persamaan 3.5 (Lilie, 1999).

$$g_n = g_e \frac{1+0.00193185138639 \sin^2 \varphi}{\sqrt{1-0.00669437999013 \sin^2 \varphi}} \quad (3.2)$$

$$FAC = h \times (0.308 \frac{mGal}{m}) \quad (3.3)$$

$$BC = 2\pi\rho Gh = 0.0419 \rho h \quad (3.4)$$

$$g_{anomali} = g_{obs} - (g_n - FAC + BC - TERR) \quad (3.5)$$

dimana :

g_n : Nilai Gayaberat normal pada *World Geodetic System* 1984 (Blakely, 1995)

g_e : Nilai Gayaberat di ekuator (978 032.67714 mGal)

g_{obs} : Nilai Gayaberat hasil pengamatan

- g_{baca} : Nilai Gayaberat hasil pembacaan dalam mGal
 φ : Posisi lintang (*Latitude*) dari titik pengukuran
 FAC : Koreksi Udara Bebas (*Free Air Correction*) dalam mGal
 h : Ketinggian titik pengamatan dari muka air laut (MSL)
 BC : Koreksi *Bouguer* (*Bouguer Correction*) dalam mGal
 $TERR$: Koreksi Medan (*Terrain Correction*) dengan *Hammer chart*
 ρ : Densitas dari *Bouguer Slab*
 G : Konstanta Gravitasi

Nilai Gayaberat hasil pengamatan adalah nilai Gayaberat hasil pembacaan yang dikoreksi dengan menggunakan koreksi pasang surut dan koreksi apungan sebagai berikut.

$$g_{obs} = g_{baca} + tide - Drift \quad (3.6)$$

Dengan demikian anomali Gayaberat diperoleh dengan mensubstitusikan persamaan 3.6 ke dalam persamaan 3.5 sehingga akan dihasilkan persamaan 3.7 berikut.

$$g_{anomali} = (g_{baca} + tide - Drift) - (g_n - FAC + BC - TERR) \quad (3.7)$$

- ***Second Vertical Derivative (SVD)***

Setelah dilakukan pemisahan anomali regional-residual, maka akan diperoleh pola kontur anomali residual. Untuk dapat memunculkan efek dangkal yang terkandung di dalam data anomali residual maka dapat dilakukan teknik *anomaly enhancement* yang salah satunya dengan menggunakan metode *Second Vertical Derivative (SVD)*. Metode SVD ini sangat baik dalam mendelineasi struktur-struktur patahan di suatu daerah.

Medan potensial $U(P)$ dengan tidak terdapat sumber maka akan berlaku persamaan laplace berikut.

$$\nabla^2 U(P) = \frac{\partial^2 U(P)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U(P)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U(P)}{\partial z^2} = 0 \quad (3.8)$$

Dengan demikian untuk persamaan *Second Vertical Derivative (SVD)* menjadi

$$\frac{\partial^2 U(P)}{\partial z^2} = - \frac{\partial^2 U(P)}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 U(P)}{\partial y^2} \quad (3.9)$$

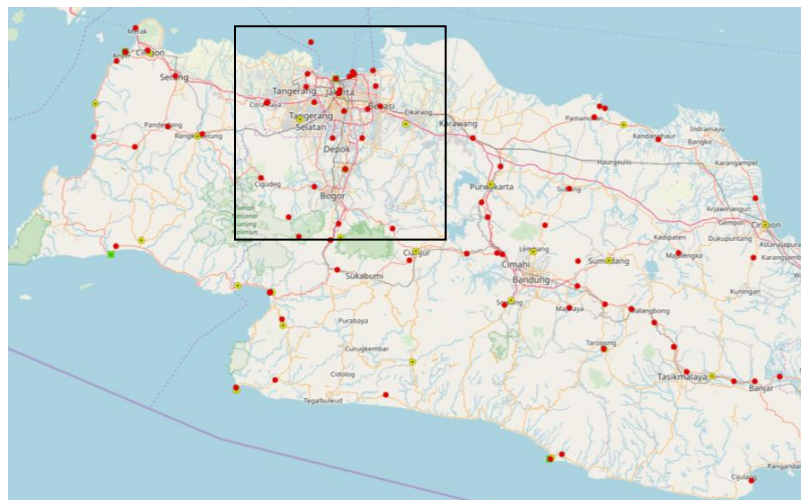
Persamaan 3.9 kemudian dipergunakan untuk menghitung pola anomali SVD dari data residual yang telah diperoleh.

- **Metode Pengambilan Data**

Pengambilan data Gayaberat menggunakan peralatan gravimeter tipe diferensial, sehingga masih memerlukan adanya titik referensi atau titik ikat Gayaberat. Titik referensi Gayaberat yang digunakan adalah titik Gayaberat DG1A yang berada di Museum Geologi di Jalan Diponegoro no. 57 kotamadya Bandung, Jawa Barat atau titik referensi lain milik Badan Informasi Geospasial (BIG) yang terdekat dengan lokasi penelitian.

Pengukuran Gayaberat menggunakan sistem *loop* lokal di daerah penelitian, sehingga *drift* harian dari peralatan gravimeter dapat terpantau dengan baik. Titik–titik *base* dari *loop* lokal yang berada di daerah penelitian tersebut diikatkan terhadap titik Gayaberat *absolute* yang berada di Museum Geologi atau titik referensi lain yang terdekat dengan lokasi penelitian.

Titik *base* utama di daerah penelitian direncanakan ditempatkan pada titik–titik pangkal Gayaberat dari Jaring – jaring Gayaberat Nasional milik Badan Geologi atau di lokasi Titik Kontrol Geodesi (TKG) milik Badan Informasi Geospasial (BIG) yang berada di daerah penelitian. Gambar 2.5 memperlihatkan distribusi TKG milik Badan Informasi Geospasial yang tersebar di daerah penelitian.



Gambar 2.5. Distribusi Titik Kontrol Geodesi (TKG) milik Badan Informasi Geospasial (BIG) di daerah JABODETABEK-PUNJUR yang dapat dijadikan sebagai acuan atau referensi elevasi pada saat pengukuran *Differential GPS* dan gayaberat.

Pengukuran data Gayaberat di daerah JABODETABEK-PUNJUR dilengkapi dengan peralatan *Differential GPS* Leica (DGPS) sebagai alat untuk mengetahui ketinggian topografi pada setiap lokasi pengukuran. Dengan demikian akan diperoleh nilai ketinggian topografi yang lebih akurat. Selain itu dilakukan pula koreksi medan (*Terrain Correction*) pada level *inner zone*, yaitu dengan melakukan estimasi undulasi sejauh 100 m dari posisi pengukuran pada keempat arah mata angin Utara, Selatan, Barat dan Timur.

- **Metode Pemrosesan Data**

Pemrosesan data Gayaberat atau sering disebut juga dengan reduksi data Gayaberat, secara umum dapat dipisahkan menjadi dua macam, yaitu: proses dasar dan proses lanjutan. Proses dasar mencakup seluruh proses berawal dari nilai pembacaan alat di lapangan sampai diperoleh nilai anomali *Bouguer* di setiap titik amat. Proses tersebut meliputi tahap-tahap sebagai berikut: konversi pembacaan gravimeter ke nilai milligal, koreksi pasang surut (*Tidal Correction*), koreksi apungan (*Drift Correction*), koreksi lintang (*Latitude Correction*), koreksi udara bebas (*Free-Air Correction*), koreksi *Bouguer*, dan koreksi medan (*Terrain Correction*).

- **Metode Interpretasi Data**

Setelah diperoleh nilai anomali *Bouguer* berdasarkan persamaan 3.7 maka langkah berikutnya adalah melakukan proses interpretasi data. Hal pertama yang dapat dilakukan adalah dengan pemisahan anomali regional-residual dan *Enhancement Anomaly*, yaitu melakukan penegasan pada anomali dangkal sehingga pola-pola struktur akan lebih muncul. Cara ini dapat dilakukan dengan menggunakan *Second Vertical Derivative* (SVD).

Proses interpretasi dapat pula dilakukan dengan menggunakan metode pemodelan inversi dari data Gayaberat. Pemodelan inversi sering pula disebut sebagai kebalikan dari pemodelan kedepan (*Forward Modelling*) karena parameter model diperoleh langsung dari data (Grandis, 2009). Pemodelan inversi dapat pula disebut sebagai *data fitting* karena dalam prosesnya pemodelan inversi mencari parameter model yang memberikan respon yang *fit* dengan data pengamatan.

2.1.2.6 Pemetaan Kawasan Rawan Bencana (KRB) Gempa Bumi

Penilaian akan bahaya guncangan berdasarkan potensi gempabumi di kota metropolitan sangatlah penting dalam upaya peanggulangan risiko. Sebagai daerah urban terbesar ke-4 di

dunia (Brinkhoff 2017) yang terletak di wilayah aktif tektonik, Jabodetabek adalah sebuah *hotspot* bagi risiko gempa bumi global. Satu aspek yang penting untuk dipertimbangkan dalam menilai risiko ini adalah bahaya guncangan gempa bumi. Struktur bawah permukaan suatu cekungan sedimen dapat sangat mempengaruhi besarnya guncangan gempa bumi, berbagai metoda sudah dilakukan untuk memasukkan parameter struktur cekungan dalam studi bahaya gempa bumi. Secara sederhana penyertaan geometri cekungan dalam pemodelan guncangan gempa bumi dapat dibagi menjadi 2 pendekatan utama yaitu pendekatan fungsi atenuasi dan pemodelan penalaran gelombang gempa bumi.

Pendekatan pertama adalah mendefinisikan kedalaman cekungan sebagai fungsi dari Z^{V^S} sebagai representasi *seismic basement* (kedalaman batuan dasar dengan V^S sebagai acuan). Z^{V^S} didefinisikan sebagai kedalaman lapisan batuan yang memiliki V^S tertentu sedangkan V^S adalah kecepatan gelombang geser. Nilai Z^{V^S} dan V^S ini digunakan sebagai parameter dalam perhitungan guncangan gempa bumi dalam Ground Motion Prediction Equations (GMPE) atau fungsi atenuasi. Sementara Chiou & Youngs 2014 menggunakan $Z^{1.0}$ (kedalaman batuan yang memiliki $V^S=1$ km/s) sebagai referensi *seismic basement*, Campbell & Bozorgnia 2014 menggunakan $Z^{2.5}$. Karena GMPE bersifat independen terhadap lintasan penalaran gelombang dari sumber gempa bumi terhadap posisi di permukaan (*source-receiver path*), pendekatan GMPE memungkinkan kita melihat pengaruh kedalaman cekungan terhadap gundangan gempa bumi di permukaan, dan dapat diterapkan secara luas dalam perhitungan probabilistik (*Probabilistic Seismic Hazard Assessment-PSHA*) bahaya gempa bumi.

Pendekatan kedua adalah pemodelan numerik penalaran gelombang seismik dari sumber melalui medium menuju titik tertentu di permukaan tanah (Graves 1998, Bard & Bouchon 1985 and Furumura & Chen 2005). Pendekatan ini menawarkan hasil yang lebih komprehensif namun karena bergantung pada *source-site path*, maka pemodelan ini sukar untuk diterapkan untuk PSHA.

Dalam studi bahaya guncangan gempa bumi di Jakarta, kami menggunakan pendekatan GMPE dengan pendekatan probabilistik (PSHA) maupun deterministik (*Deterministic Seismic Hazard Assessment-DSHA*), menggunakan model percepatan dari Omang et al 2019 dan Cipta et al 2018. GMPE terkini memasukkan efek cekungan sedimen dengan menggunakan kedalaman pada saat kecepatan gelombang geser mencapai 1.0 km/s, atau disebut sebagai $Z^{1.0}$, (e.g., Chiou & Youngs 2014 and Abrahamson et al 2016, atau 2.5 km/s, dengan notasi $Z^{2.5}$, sebagai referensi

kedalaman dasar cekungan. Menurut Marafi et al 2017, $Z^{2.5}$ memberikan deskripsi yang lebih baik daripada $Z^{1.0}$ dalam mendefinisikan kedalaman cekungan.

Penghitungan guncangan tanah yang dipicu oleh gempabumi subduksi, *interface* dilakukan dengan menggunakan GMPE dari Abrahamson et al (2016) sedangkan guncangan gempabumi berasal dari sumber intraslab dihitung dengan persamaan atenuasi dari Abrahamson et al 2016 (*intraslab*), Atkinson&Boore 2003 dan Zhao 2006. Persamaan atenuasi dari Boore et al 2014, Chiou & Youngs 2014 dan Campbell & Bozorgnia 2014 digunakan untuk menghitung guncangan tanah yang berasal dari gempabumi kerak dangkal (*shallow crustal*). Selanjutnya, dalam tulisan ini Abrahamson et al 2016 (*interface*), Abrahamson et al 2016 (*intraslab*), Atkinson&Boore 2003, Zhao 2006, Boore et al 2014, Chiou & Youngs 2014 dan Campbell & Bozorgnia 2014 masing-masing akan ditulis sebagai, AEA2015I, AEA2015S, AB2003S, ZH2006S, BE2014, CY2014, dan CB2014. Guncangan tanah yang akan dihitung adalah horizontal peak ground acceleration (PGA) and 5%-damped pseudo spectral acceleration (PSA). Dalam hal fungsi atenuasi digunakan bersama dengan $Z^{1.0}$ atau $Z^{2.5}$, maka nilai tersebut didapatkan dari hasil pemetaan oleh Omang et al 2019 dan Cipta et al 2018, yang melakukan inversi kurva *Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio* (HVSr).

Cekungan dalam Jakarta diisi oleh endapan aluvial dan kipas aluvial yang secara berkelanjutan diendapkan selama awal Kuartar hingga sekarang. Penurunan permukaan tanah secara cepat akibat eksploitasi air tanah yang tak terkendali, hingga 26 cm/tahun (Abidin et al 2011, Ng et al 2012), menunjukkan tingginya tingkat kejenuhan air pada sedimen pengisi cekungan. Di bawah batuan Kuartar ini, terlebih dahulu diendapkan batuan vulkanik klastik berumur Plio-Plistosen yang terutama terdiri dari tuff serta breksi tufan, lava dan lahar. Pada kejadian Gempa Michoacán 1985, material vulkanik klastik yang diendapkan di atas batuan dasar di cekungan Meksiko telah terbukti menyebabkan amplifikasi gelombang seismik 50 kali dibandingkan dengan batuan dasar (Cruz-Atienza et al 2016). Di Jakarta, batuan vulkanik klastik, kipas aluvial dan aluvial tertumpuk setebal 300-1400 m di atas batuan dasar berumur Tersier (Cipta et al 2018). Dengan data ini, akan dilakukan pemodelan untuk menghitung besarnya guncangan tanah dan efek amplifikasi yang disebabkan oleh tumpukan sedimen tebal di atas batuan dasar. Pemodelan guncangan gempabumi akan dilakukan baik dengan pendekatan PSHA maupun DSHA.

Fungsi atenuasi atau *Ground Motion Prediction Equation* (GMPE) adalah istilah generik untuk menggambarkan hubungan matematis antara guncangan tanah (*ground motion*), magnitudo gempa dan beberapa ukuran jarak terhadap bidang pecah patahan (*rupture*). GMPE dapat menyediakan fungsi kerapatan probabilitas (*probability density function-pdf*) untuk setiap skenario gempa. Persamaan ini menyediakan deskripsi probabilistik guncangan tanah sebagai fungsi dari parameter gempabumi serta *source path* dan *site effect*. Beberapa GMPE yang termasuk ke dalam fungsi atenuasi generasi baru (*Next Generation Attenuation-NGA*) memperhitungkan estimator tak-terikat seperti magnitudo gempa (f_{mag}), atenuasi geometrik (f_{dis}), jenis patahan (f_{flr}), geometri *hanging-wall* (f_{hng}), *shallow site response* (f_{site}), respon cekungan (f_{sed}), kedalaman hiposentral (f_{hyp}), *rupture dip* (f_{dip}), dan (*apparent*) *anelastic attenuation* (f_{atn}) (Campbell & Bozorgnia 2013). Keduanya memodelkan *ground motion* Y , yang dapat berarti percepatan tanah puncak (*Peak Ground Acceleration-PGA*), kecepatan tanah puncak (*Peak Ground Velocity-PGV*) atau percepatan spektral (*spectral acceleration-SA*) pada perioda yang diinginkan dengan persamaan (1).

$$\ln Y = f_{mag} + f_{dis} + f_{flr} + f_{hng} + f_{site} + f_{sed} + f_{hyp} + f_{dip} + f_{atn} \quad (1)$$

Dari berbagai parameter tersebut, parameter f_{sed} , yang ditujukan untuk mewakili kedalaman cekungan atau ketebalan sedimen, akan menjadi fokus dalam laporan ini. Fungsi atenuasi NGA GMPE yang tersedia dalam perangkat lunak *OpenQuake* akan digunakan untuk menghitung guncangan tanah. *OpenQuake* adalah sebuah perangkat lunak yang dikembangkan oleh Yayasan Global Earthquake Model (GEM) untuk menghitung *hazard* (bahaya) dan *risk* (risiko) gempa (Pagani et al 2011).

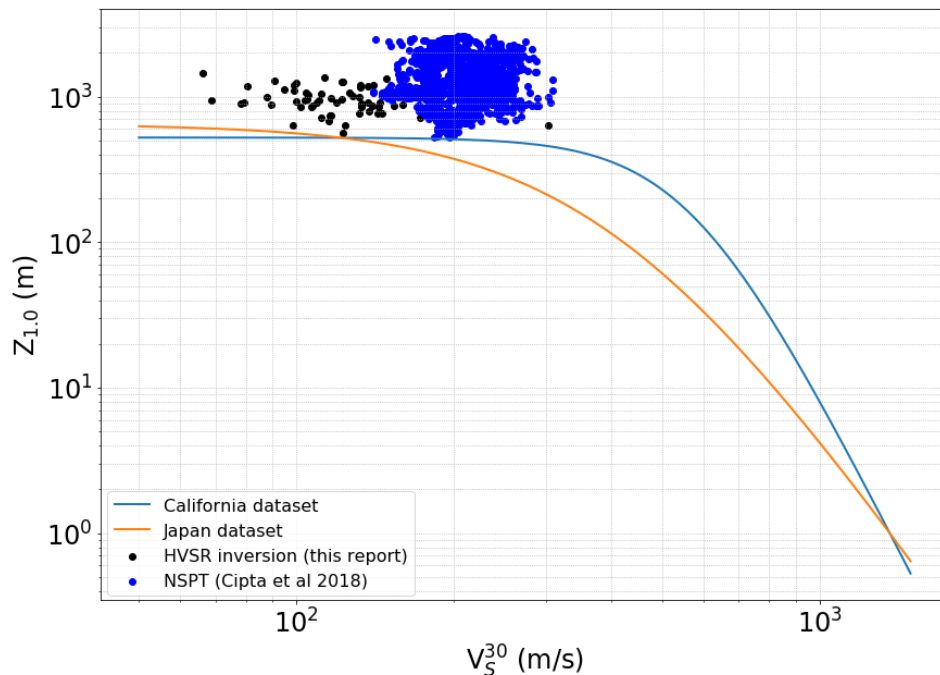
Semua fungsi atenuasi yang telah disinggung diatas, memerlukan parameter geologi permukaan yang direpresentasikan oleh V_s^{30} serta $Z^{1.0}$ atau $Z^{2.5}$ untuk menggambarkan kedalaman cekungan ($Z^{1.0}$ didefinisikan sebagai kedalaman di mana kecepatan gelombang geser [*S-wave- V^S*] pada batuan 1 km/s). Menggunakan fungsi data pengukuran dan simulasi untuk wilayah California dan Jepang, Chiou & Youngs 2014 menyediakan persamaan empiris dan grafik (**Gambar 5**) untuk menghitung $Z^{1.0}$ berdasarkan data V_s^{30} , sedangkan Campbell & Bozorgnia 2013 menyediakan persamaan empiris untuk mengestimasi $Z^{2.5}$.

- **HVSR dan Penentuan tapak lokal**

Secara garis besar tapak lokal dapat dibagi menjadi sifat fisik batuan permukaan (f_{site} dalam persamaan atenuasi) dan ketebalan sedimen di atas batuan dasar (f_{sed} dalam persamaan

atenuasi). Dalam pemodelan, sangat umum bahwa f_{site} diwakili oleh V_s^{30} sedangkan f_{sed} diwakili oleh $Z^{1.0}$ atau $Z^{2.5}$, bergantung pada GMPE yang digunakan.

Secara regional, jika data V_s^{30} sudah tersedia, $Z^{1.0}$ dan $Z^{2.5}$ dapat dihitung dengan persamaan Chiou & Youngs 2014 dan Campbell & Bozorgnia 2013. Namun untuk peta skala besar, perlu dibuktikan apakah persamaan tersebut sesuai untuk diterapkan di Indonesia. Kami membandingkan data V_s^{30} dan $Z^{1.0}$ dari Omang et al 2019 yang diturunkan dari inversi HVSR serta pasangan data V_s^{30} yang dihasilkan dari metoda NSPT (Ridwan 2016 dan Cipta et al 2018) dan $Z^{1.0}$ dari Cipta et al 2018 dengan grafik dari Chiou & Youngs 2014, terlihat bahwa untuk V_s^{30} yang sama, hasil inversi HVSR selalu menghasilkan nilai $Z^{1.0}$ yang lebih besar dibandingkan dengan hasil perhitungan rumus empiris (**Gambar 2.6**). Hal ini menunjukkan bahwa persamaan empiris Chiou & Youngs 2014 tidak dapat serta-merta diterapkan untuk penghitungan bahaya gempa bumi secara terperinci di wilayah Indonesia. Untuk itu, pengukuran geofisika dan/atau geoteknik harus dilakukan untuk mendapatkan nilai V_s^{30} , $Z^{1.0}$ dan/atau $Z^{2.5}$.



Gambar 2.6. Grafik hubungan antara V_s^{30} serta $Z^{1.0}$ dari data yang diukur dan dikomputasi untuk wilayah California dan Jepang dibandingkan data V_s^{30} hasil inversi HVSR (Omang et al , 2019) atau NSPT (Ridwan 2016 dan Cipta et al 2018) dengan $Z^{1.0}$ hasil inversi HVSR

- **Pendekatan Deterministik (*Deterministic Seismic Hazard Assessment-DSHA*)**

Beberapa katalog gempa bumi (e.g. Wichmann [1918, 1922]) mencatat kejadian gempa besar dan tsunami di Indonesia. Katalog ini menegaskan bahwa Jakarta tidak seharusnya dikecualikan dari kemungkinan terlanda guncangan tanah hebat akibat gempa bumi. Wichmann (1918, 1922), mencatat beberapa gempa besar yang melanda Jakarta dan sekitarnya pada 1699, 1780 dan 1834 yang menyebabkan kematian, kerusakan bangunan dan gerakan tanah. Skenario ketiga gempa bumi tersebut telah dimodelkan oleh Nguyen et al 2015 yang menunjukkan bahwa gempa bumi yang bersumber dari zona subduksi, baik interface maupun intraslab, serta patahan kerak dangkal, misalnya Baribis, dapat menimbulkan guncangan tanah yang besar di Kota Jakarta. Gempa bumi dengan magnitudo Mw6.7 dan Mw8.7 yang masing-masing bersumber dari Patahan Cimandiri dan Segmen *West-Central Java* akan dibahas dalam tulisan ini.

Hanya sedikit informasi yang tersedia yang berkaitan dengan patahan aktif di sekitar Jakarta. Beberapa patahan seperti Patahan Lembang telah diidentifikasi sebagai patahan aktif oleh beberapa peneliti seperti Afnimar et al 2015; Meilano et al 2012; Kertapati 2006. Sementara itu Patahan Baribis, dinyatakan sebagai patahan aktif oleh Simandjuntak & Barber 1996, Martodjojo 1984, Bemmelen 1949 dan Koulali et al 2017. Beberapa peneliti seperti Dardji et al 1994, Abidin et al 2009, Supartoyo et al, 2013, Marliyani & Arrowsmith 2014 dan Handayani et al 2017 menyebutkan bahwa Patahan Cimandiri adalah patahan aktif yang tersegmentasi menjadi paling tidak 3 bagian. Persamaan Wells & Coppersmith 1994 berikut akan digunakan untuk menghitung besarnya magnitudo berdasarkan dimensi patahan kerak dangkal.

$$M = \alpha + \beta \times \log(SRL) \tag{2}$$

dimana α dan β sama dengan 5.16 dan 1.12 untuk patahan mendatar; 4.86 dan 1.32 untuk patahan normal; 5.0 dan 1.22 untuk patahan naik, SRL adalah panjang patahan permukaan (*surface rupture length*). Sedangkan untuk menghitung dimensi sumber gempa interface dan intraslab digunakan persamaan dari Papazachos et al 2004:

$$\begin{aligned} \log L &= 0.55M_w - 2.19 & \sigma &= 0.18 \\ \log W &= 0.31M_w - 0.63 \\ \log U &= 0.64M_w - 2.56 \end{aligned} \tag{3}$$

Dimana L, W, U and M_w masing-masing adalah, panjang, lebar, slip dan momen magnitudo. Slab 1.0 (Hayes et al 2012) digunakan untuk menggambarkan geometri bidang *interface*.

- **Pendekatan Probabilistik (*Probabilistic Seismic Hazard Assessment-PSHA*)**

- Model sumber dan waktu ulang kejadian gempabumi**

Model sumber gempabumi yang digunakan dalam perhitungan bahaya gempa, adalah sumber yang dimungkinkan akan memberi pengaruh terhadap wilayah penyelidikan, kira-kira memiliki jarak maksimal 200 km untuk sumber gempabumi patahan kerak dangkal dan 500 km untuk sumber subduksi (*interface*). Untuk memodelkan bahaya gempabumi dengan pendekatan probabilistik di Jakarta, digunakan tiga jenis model sumber yaitu model gempabumi subduksi, model gempabumi patahan kerak dangkal, serta model gempabumi *background* (dangkal dan dalam). Model gempabumi *background* digunakan untuk memodelkan gempabumi-gempabumi yang berasal dari sumber yang belum teridentifikasi dengan jelas dan gempabumi *intraslab*.

Perulangan kejadian gempabumi dapat dihitung secara statistik empiris dengan persamaan Gutenberg-Richter (Gutenberg&Richter, 1944) sebagai berikut

$$\log(N) = -b.M + a \quad (3)$$

Persamaan (3) menggambarkan hubungan statistik antara jumlah kejadian gempa (N) dengan magnitudo (M).

Nilai a dan b , yaitu tingkat kegempaan (*seismicity rate*) dan peluang kemunculan gempabumi dengan M yang lebih besar dibandingkan dengan kemungkinan kejadian gempabumi dengan M lebih kecil, dihitung berdasarkan katalog gempabumi *International Seismological Center-Global Earthquake Model* (ISC-GEM). Nilai a yang besar menunjukkan seismisitas tinggi dan sebaliknya. Makin besarnya nilai b mengindikasikan lebih kecilnya peluang kemunculan gempa dengan magnitudo lebih besar. Nilai a dan b digunakan sebagai parameter sumber gempabumi *background*. Model sumber *background* yang digunakan adalah metode *smoothed seismicity*, yang memberikan peluang kemunculan gempa lebih tinggi pada tempat tempat dimana gempabumi pernah terjadi sebelumnya.

- **Perhitungan bahaya gempabumi**

Metoda PSHA bertujuan menganalisa potensi bahaya dari getaran gelombang seismik akibat gempabumi dengan mempertimbangkan semua kemungkinan gempabumi yang dapat terjadi disuatu wilayah dalam suatu periode tertentu. Dengan metoda ini dapat diprediksi berapa probabilitas bahaya terburuk yang dapat terjadi diwilayah penyelidikan.

Metoda probabilistik ini telah memperhitungkan faktor ketidakpastian dalam kejadian kegempaan dan juga kemungkinan kejadian gempabumi yang melebihi desain pergerakan tanah (skenario terburuk). Semua parameter-parameter dalam metoda deterministik telah tercakup dalam metoda probabilistik ini. Analisis bahaya gempabumi probabilistik ini dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$P[Y > y^*] = \iint P[Y > y^* | m, r] f_M(m) f_R(r | m) dm dr \quad (4)$$

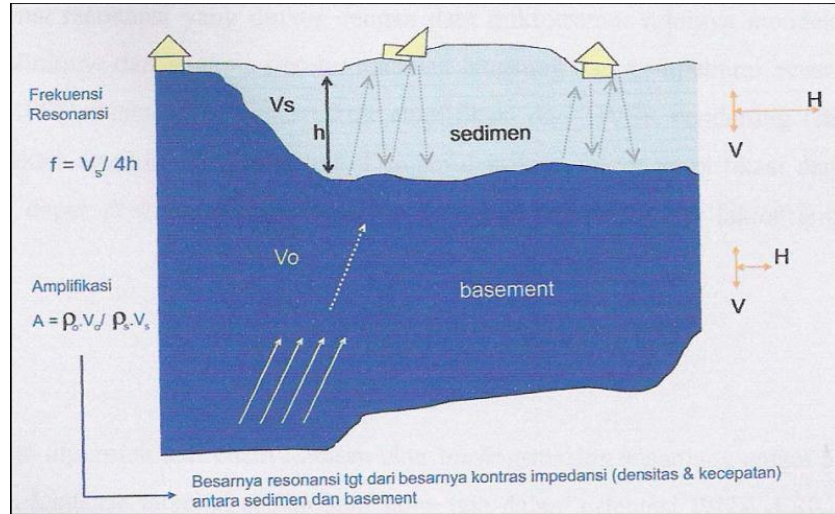
dengan $P[Y > y^* | m, r]$ diperoleh dari persamaan atenuasi dan $f_M(m)$ dan $f_R(r)$ adalah pdf dari magnitudo gempa dan jarak.

Pemodelan dan perhitungan matematis dilakukan dengan menggunakan program OpenQuake yang dikembangkan oleh Global Earthquake Model (GEM) sehingga diperoleh sebaran nilai percepatan tanah puncak (*peak ground acceleration*-PGA) maupun percepatan spektral (*spectral acceleration*-SA)

2.1.2.7 Pemetaan Mikrozonasi Gempa Bumi Area Terpilih

Salah satu cara untuk menurunkan risiko apabila terjadi gempa bumi adalah informasi yang akurat mengenai karakter wilayah berkaitan dengan dampak akibat gempa bumi. Pengukuran mikrozonasi akan memberikan informasi karakter geologi lokal dan potensi penguatan guncangan gempa bumi. Setiap area memiliki karakter sendiri dalam merespon getaran yang mengenainya yang akan memberikan efek kerusakan yang berbeda pula pada area tersebut. Perbedaan respon batuan ketika merespon getaran ditentukan oleh sifat fisis batuan suatu daerah.

Konsep dasar fenomena mikrozonasi gelombang seismik oleh adanya satuan sedimen yang berada di atas basement dengan perbedaan densitas ρ dan kecepatan V_s , V_o yang mencolok. Frekuensi resonansi banyak ditentukan oleh fisik dari lapisan sedimen yaitu ketebalan h dan kecepatan gelombang S (V_s) (Gambar 2.7).



Gambar 2.7. Konsep dasar mikrozonasi gelombang seismik

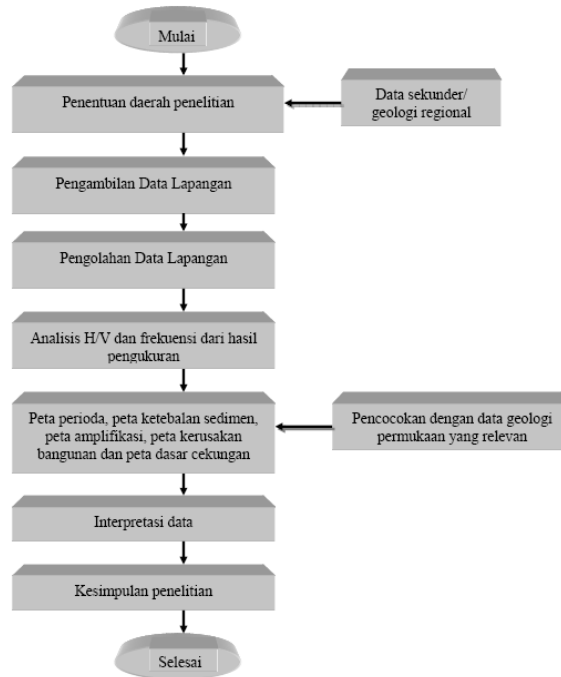
Metoda mikrozonasi dengan melakukan polarisasi rasio H/V pertama kali dikembangkan oleh Nakamura (1989) dengan tujuan untuk mengetahui frekuensi fundamental lapisan batuan. Metoda ini berkembang karena aplikasinya di lapangan yang cukup sederhana. Kegiatan eksperimental yang dilakukan sejalan dengan studi teoretik (Lachet dan Bard, 1994) membuktikan keberhasilan metoda ini dalam menentukan frekuensi fundamental batuan dan para peneliti ini berhasil membuat penjelasan mengenai polarisasi puncak/*peak* rasio H/V melalui elpitisitas moda fundamental gelombang Rayleigh. Selanjutnya metoda ini dikembangkan dan dapat dideterminasi kecepatan gelombang-S (*Shearwave Velocity*), V_s .

Polarisasi rasio H/V diperoleh dari hasil membandingkan spektral komponen horizontal dengan komponen vertikal seperti dirumuskan di bawah ini :

$$P(f) = (H_{EW}^2 (f) + H_{NS}^2 (f))^{1/2} / (V_{UD} (f))$$

Sebagai representasi, pada kurva polarisasi, skala logaritmik digunakan untuk frekuensi sedangkan skala linear digunakan untuk amplituda. Amplituda di sini merupakan nilai mikrozonasi. Alasan mengapa skala logaritmik digunakan untuk frekuensi dikarenakan adanya asosiasi yang dekat antara fundamental frekuensi dengan ketebalan sedimen (*soft soil*). Frekuensi rendah mencerminkan sedimen yang tebal dan frekuensi tinggi mencerminkan sedimen yang tipis.

Secara umum, proses mikrozonasi gempa bumi ditunjukkan oleh diagram alir di bawah ini (Gambar 2.8).



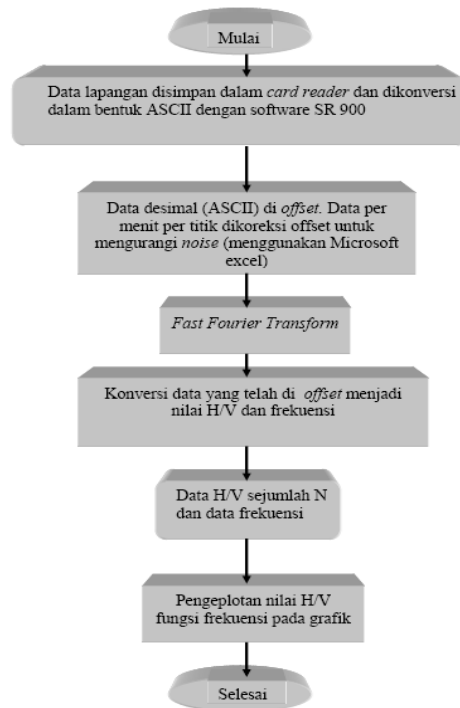
Gambar 2.8. Diagram alir proses penelitian mikrozonasi gempa bumi.

Mikrozonasi gempa bumi untuk mengetahui sebaran mikrozonasi di wilayah Jakarta ini dilakukan dengan melakukan pemasangan seismometer 3-dimensi secara temporer di titik-titik yang telah di grid. Metoda ini menggunakan satu set peralatan pengukuran mikrotremor (seismometer dan data logger) seperti ditunjukkan pada gambar 2.9 di bawah ini.



Gambar 2.9. Peralatan pengukuran mikrozonasi

Data yang telah diperoleh dari pengukuran lapangan diproses dengan tahapan seperti pada diagram alir di bawah ini (Gambar 2.10) dan dihasilkan peta mikrozonasi.



Gambar 2.10. Diagram alir proses pengolahan data

2.1.2.8 Pemetaan Zona Kerentanan Gerakan Tanah (ZKGT) Area Terpilih

- **Analisis Peta Zona Kerentanan Gerakan Tanah**

Analisis kerentanan gerakan tanah dalam penelitian ini menggunakan metode statistik kuantitatif. Metode ini didasarkan pada distribusi kejadian gerakan tanah yang digabung bersama faktor penyebab gerakan tanah dengan perkiraan bahwa gerakan tanah akan terjadi di bawah kondisi setiap faktor yang sama pada kejadian di masa lalu (Van Westen dkk., 2005). Mengacu kepada SNI 8291 tahun 2016 (BSN, 2016) tentang penyusunan dan penentuan Zona Kerentanan Gerakan Tanah (ZKGT), metode pemetaan gerakan tanah meliputi:

1. Metode analisis heuristik, di mana pemetaan menggunakan pengalaman para ahli dalam melakukan penyelidikan atau membuat ZKGT berdasarkan analisis geomorfologi atau pembobotan tiap parameter.

2. Metode analisis statistik didasarkan pada keterkaitan distribusi gerakan tanah atau kerapatan gerakan tanah terhadap faktor pengontrol gerakan tanah pada tiap kelas parameter.
3. Metode analisis deterministik dilakukan berdasarkan analisis faktor keamanan lereng.

Dalam pemetaan ini metode statistik yang dipakai adadalah pendekatan *weight of evidence* (WoE) berbasis sistem informasi geografis (SIG) dan metoda gabungan yaitu WoE dan Metode *logistic regression* (LR) atau logistik regresi.

Metode WoE termasuk ke dalam metode statistik bivariat yang didasarkan pada kerangka probabilitas Bayes yang ditampilkan dalam serangkaian lingkungan SIG (Mezughy dkk., 2011). Model ini merupakan teknik kuantitatif yang dimotori data, menggunakan sejumlah kombinasi data untuk menghasilkan peta dari pembobotan data, baik yang berbentuk sinambung dan berkategori berdasarkan probailitas awal dan sesudahnya.

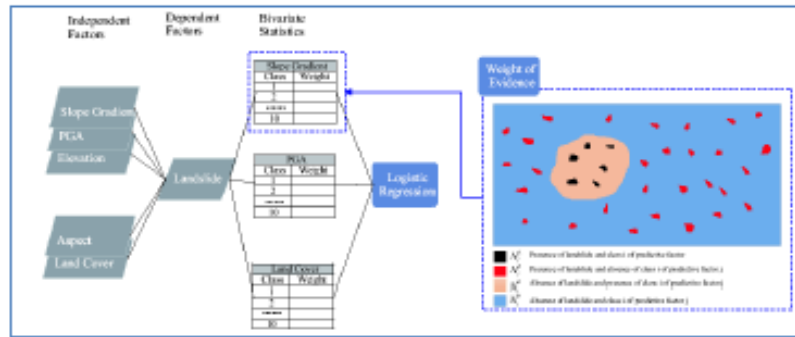
Tabel 2.7 Metode dan skala penusunan ZKGT(BSN, 2016).

Metoda	Skala		Luasan (km2)
Heuristik	kecil	< 1 : 100.000	>10.000
Statistik	menengah	1 : 100.000 s/d 1 : 25.000	1.000 s/d 10.000
Deterministik	besar	> 1 : 25.000	<1.000

Metode logistik regresi dikembangkan oleh McFadden pada tahun 1973. Metode ini digunakan untuk menjelaskan hubungan antara variabel respon berupa data biner dengan variabel bebas yang berupa data berskala interval dan atau kategorik. Model regresi logistik biner digunakan untuk melihat apakah variabel bebas yang berskala dikotomi dipengaruhi oleh variabel bebas yang bebas, kategorik, ataupun numerik. Model ini mengandung kemudahan karena tidak memerlukan asumsi sebelumnya serta dapat digabungkan dengan analisis bivariate seperti WoE.

Dalam penyusunan ZKGT, metode-metode ini dapat juga digabungkan menjadi sebuah metode kombinasi logistik regresi dan WoE. Gabungan kedua metode ini dilakukan dengan harapan dapat memanfaatkan kelebihan dari kedua metode dan mengurangi kelemahan masing-masing metode.

Zhou, dkk., (2016) membuat peta ZKGT berdasarkan kombinasi metode WoE dan LR pada gempa bumi yang memicu gerakan tanah pada gempa Lushan 20 April 2013. Hasilnya menunjukkan bahwa metode LR-WoE menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan hanya menggunakan satu metode.



Gambar 2.11 Ilustrasi perhitungan kelas pembobotan menggunakan metode WoE dan faktor pembobotan menggunakan metode LR (Zhou, dkk., 2016).

Analisis kerentanan gerakan tanah meliputi beberapa tahapan yaitu:

1. Pemerolehan data gerakan tanah dan parameter pengontrol
2. Pemrosesan data gerakan tanah dan parameter pengontrol
3. Analisis (pembobotan/*weighting*) data gerakan tanah dan validasinya
4. Analisis(pembobotan/*weighting*) dan validasi peta kerentanan

Analisis memakai model uji statistik probabilistik yang dimaksudkan untuk mengetahui bagaimana hubungan data parameter pengontrol dan data kejadian gerakan tanah serta keterkaitan di antara keduanya dalam memperkirakan daerah yang rentan terhadap gerakan tanah. Analisis ini menggunakan pendekatan spasial dan statistik dengan grid *raster* sebagai unit analisisnya. Data parameter pengontrol akan diproses sehingga didapatkan data dengan kualitas yang baik saat diinput ke dalam pendekatan statistik.

Salah satu langkah penting dalam pemodelan statistik kuantitatif adalah adanya evaluasi (validasi) terhadap model dan peta hasil prediksi. Tanpa validasi, hasil analisis tidak mempunyai bobot ilmiah yang jelas. Untuk mengevaluasi besarnya pengaruh parameter terhadap gerakan tanah, maka digunakan sebuah metode ambang batas independen (*threshold-independent method*), berupa kurva ROC (*receiver operating characteristic*) (Chung dan Fabbri, 2003). Dasar evaluasi kurva ROC ini adalah dengan memplot hasil nilai-nilai akurasi yang berbeda terhadap nilai ambang batas yang disimpulkan (Swets, 1988; dalam Nefeslioglu dkk., 2011).

Tabel 2.8 Data parameter yang digunakan dalam penentuan ZKGT di wilayah pemetaan Bopunjur.

Data	Tipe	Format	Skala/ Resolusi	Sumber
Gerakan Tanah	Titik	Vektor	15 x 15 m	<ul style="list-style-type: none"> • Database PVMBG (Badan Geologi) • Interpretasi penginderaan jauh • Survei lapangan
Administrasi	Poligon	Vektor	15 x 15 m	Badan Informasi Geospasial
Paramater Pengontrol Gerakan Tanah				
DEM (Lereng dan Elevasi)	Poligon	Raster	15 x 15 m	DEMNAS
Litologi	Poligon	Vektor	1:50.000	PSG (Badan Geologi)
Tata Guna Lahan	Poligon	Vektor	1:25.000	BIG
Kegempaan /PGA	Poligon	Vektor	1:25.000	PVMBG (Badan Geologi)
Jenis Tanah	Poligon	Vektor	1:50.000	Pemerintah Daerah

Validasi dibagi menjadi 2 (dua) (Chung dan Fabbri, 2003) yaitu *success rate* dan *prediction rate*. *Success rate* adalah penghitungan penilaian keberhasilan suatu model. Ini menunjukkan seberapa baik kesesuaian model dengan kejadiannya di masa lalu (prior). *Prediction rate* adalah validasi penghitungan penilaian prediksi. Ini menunjukkan seberapa baik model dapat memprediksikan kejadian yang belum diketahui atau kejadian yang akan datang (posterior). Presentase kejadian gerakan tanah dalam kedua validasi ini dihitung. Hasil perhitungan diplot dalam suatu grafik *area under curve* (AUC), sumbu X adalah presentase luas daerah pemetaan, dan sumbu Y adalah presentase gerakan tanah (Van Westen dkk., 2009, dalam Wahono, 2010). Formula perhitungan AUC, yaitu (Begueria, 2006; dalam Pimiento, 2010):

$$AUC = \sum (x_i - x_{i-1}) y_i = 0 - [(x_i - x_{i-1})(y_i - y_{i-1})^2]$$

dengan:

x_i = persentase area

y_i = persentase area gerakan tanah

Hasil validasi ditunjukkan dalam bentuk tabel atribut dan grafik tingkat prediksi. Daerah di bawah kurva (AUC) adalah salah satu jenis statistik akurasi untuk model prediksi (probabilitas) dalam penilaian/analisis bencana alam (Nefeslioglu dkk., 2011). Daerah AUC merupakan grafik angka indeks yang bervariasi, biasanya antara nilai maksimum 1 (100%) dan 0,5 (50%).

Tabel 2.9 Klasifikasi nilai AUC oleh Yesilnacar (2005, dalam Pourghasemi, dkk., (2013)

Nilai AUC	Keterangan
0,9	Model Sangat Baik
0,8 – 0,9	Model Baik
0,7 – 0,8	Model Sedang/Cukup Baik
< 0,6	Model Jelek

- **Pemodelan Aliran Bahan Rombakan**

Pada daerah yang mempunyai potensi aliran bahan rombakan atau daerah kipas aluvial akan dilakukan Pemodelan Aliran Bahan Rombakan dalam skala yang lebih detil. Pemodelan ini hanya dilakukan pada lokasi-lokasi khusus yang berpotensi terjadi aliran bahan rombakan atau debris flow.

Debris Flow atau Aliran Bahan Rombakan adalah fenomena yang terjadi, ketika percampuran air, lumpur, dan kerikil sampai bongkah mengalir dengan kecepatan tinggi menuruni lereng (Varnes, 1978). Aliran ini umumnya terbentuk akibat curah hujan yang tinggi yang mengikis dan memobilisasi tanah atau batuan lepas di lereng yang curam. Aliran bahan rombakan berbeda dengan banjir berdasarkan komponennya. Wilford et al (2004) menyebutkan bahwa aliran bahan rombakan mempunyai konsentrasi sedimen lebih dari 20% sedangkan banjir normal kurang dari 20%. Selain itu aliran bahan rombakan mampu membawa klastika berukuran besar dan umumnya mempunyai imbrikasi yang buruk.

Biasanya aliran bahan rombakan akan membuat struktur endapan berupa morfologi yang dikenal sebagai kipas aluvial. Aliran bahan rombakan di Indonesia seringkali disebut sebagai banjir bandang. Banjir Bandang adalah banjir yang datang secara tiba-tiba dengan debit air yang besar yang disebabkan terbenyungnya aliran sungai

Metode yang dilakukan adalah pengamatan langsung kondisi sungai di lapangan dari bagian hulu hingga hilir, kondisi batuan, kejadian longsor sebelumnya, hingga dimensi sungai. Tahapan pekerjaan sesuai dengan diagram alir dimulai dari kajian pustaka untuk mendapatkan data data sekunder serta inventarisasi kejadian banjir bandang/aliran bahan rombakan terdahulu. Tahap berikutnya adalah penyelidikan lapangan ke sungai sungai untuk mengetahui karakteristik morfologi dan endapan sungai sehingga didapatkan sungai mana saja yang rentan aliran bahan rombakan dan layak untuk dimodelkan. Setelah itu dilanjutkan dengan melakukan pemodelan banjir bandang menggunakan perangkat lunak RAMMS (*Rapid Mass Movement Simulation*). Pemodelan dengan RAMMS dilakukan dengan memasukkan parameter pemodelan yang sudah

ditentukan sebelumnya. Hasil pemodelan adalah berupa zona daerah bahaya aliran bahan rombakan.

RAMMS adalah sebuah perangkat lunak untuk pemodelan numerik dinamik yang didesain awalnya untuk pemodelan longsor salju (*snow avalanches*) (Christen et al., 2010) yang kemudian diaplikasikan untuk pemodelan aliran massa yang lain seperti lahar (Quan Luna, 2007) dan aliran debris (Kowalski, 2008). RAMMS dikembangkan oleh tim ahli dari *WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF* dan *the Swiss Federal Institute for Forest, Snow, and Landscape Research WSL*.

RAMMS *Debris Flow* dikembangkan untuk mensimulasikan aliran debris pada morfologi/medan yang kompleks. RAMMS menggabungkan metode solusi numerik dengan input fitur yang bermanfaat dan visualisasi yang mudah digunakan. RAMMS menggunakan model kontinum aliran fluida Voellmy-Salm (Salm, 1993) berdasarkan hukum aliran fluida Voellmy. Model ini membagi resistansi friksi menjadi 2 yaitu *dry-Coulomb type friction* dan *viscous-turbulent friction* (ξ). (koefisien ξ). Sehingga persamaan friksi S (Pa) menjadi :

$$S = \mu\rho Hg \cos \phi + \frac{\rho g U^2}{\xi}$$

Dimana :

- ρ : berat jenis aliran
- ω : sudut kelerengan
- g : percepatan gravitasi
- H : tinggi aliran
- U : kecepatan aliran

Persamaan tersebut terus dikembangkan hingga RAMMS versi 1.6.2 dimodifikasi dengan menambahkan kohesi (C). Sehingga persamaannya berubah menjadi :

$$S = \mu N + (1 - \mu)C - (1 - \mu)C \exp\left(-\frac{N}{C}\right) + \frac{\rho g U^2}{\xi}$$

Input data RAMMS meliputi data DEM, daerah inisiasi, parameter gesekan, volume, dan beberapa parameter lain (debit aliran, kecepatan, dan kohesi) tergantung aliran yang ingin dimodelkan. Untuk daerah inisiasi terdapat 2 pilihan menggunakan *block release* atau *hydrograph*. *Block release* dipakai untuk aliran debris sederhana atau dangkal tanpa kanal. Sedangkan *hydrograph* lebih cocok untuk aliran debris besar berkanal seperti banjir bandang.

Pemodelan di sini membutuhkan beberapa parameter seperti : DEM, Berat jenis material, Sudut geser dalam, parameter friksi, Volume, Debit, titik inisiasi aliran. Beberapa parameter dapat menggunakan data terukur atau data sebelumnya seperti berat jenis, debit, dan sudut geser dalam. Namun untuk parameter friksi harus disesuaikan dengan model aliran yang ingin dimodelkan. Parameter Pemodelan dalam kegiatan di wilayah pemetaan di Bopunjur sebagai berikut:

- Titik Inisiasi

Titik inisiasi adalah titik awal mulai pemodelan aliran bahan rombakan. Titik ini sangat penting karena berpengaruh besar untuk model landaan. Dalam penentuan titik awal ini didasarkan pada morfologi sungai, bentuk lembah dan lereng sungai, dan kejadian longsor. Morfologi lereng terjal dengan lembah yang sempit/pertemuan dari beberapa anak sungai berpotensi menjadi tempat terjadinya bendung alam. Oleh karena itu penentuan titik inisiasi adalah titik yang paling berpotensi terjadi pembendungan alam.

- Massa Jenis

Massa jenis material yang akan dimodelkan berdasarkan dari uji laboratorium yang dilakukan oleh Pusat Air Tanah dan Geologi Tata Lingkungan yaitu 2486 Kg/m³. Sedangkan kohesi dianggap 0.

- Parameter friksi

Parameter friksi pada RAMMS mengacu pada model friksi fluida Voellmy (Salm et al, 1993). Model ini membagi resistansi friksi menjadi 2 yaitu *dry-Coulomb type friction* (μ) dan *viscous-turbulent friction* (ξ). Penentuan input parameter untuk μ dan ξ dilakukan melalui kalibrasi dari beberapa kali pemodelan dari beberapa variasi nilai μ dan ξ . Kalibrasi ini perlu dilakukan karena simulasi aliran debris mempunyai komposisi yang bervariasi. Untuk pemodelan aliran bahan rombakan Bopunjur dipakai variasi nilai $\mu = 0,05 - 0,15$ dan $\xi = 500$ dengan asumsi model aliran medium tidak terlalu pekat – encer.

- Volume

Volume yang dipakai adalah 250000 m³ dengan asumsi volume di atas 250000 dianggap *overestimate*.

- Iterasi

Iterasi pemodelan digunakan adalah setiap 100 detik dengan waktu maksimum 15000 detik.

- **Metode Geofisika**

Pemodelan struktur bawah permukaan di lokasi gerakan tanah dilaksanakan dengan metode geofisika. Dalam kegiatan ini dilaksanakan dengan studi kasus 2 lokasi di Kab. Bogor. Metode geofisika yang dipakai adalah metode geolistrik dan *Ground Penetrating Radar (GPR)*.

Metode Geolistrik merupakan salah satu metode geofisika yang mempelajari sifat kelistrikan di dalam bumi dengan cara menginjeksikan arus listrik ke dalam bumi, kemudian mengukur beda potensial serta arus yang terjadi dan dikaitkan dengan jenis konfigurasi elektroda yang dipakai sehingga diperoleh nilai resistivitas lapisan batuan di bawah permukaan (Wahid, 2007). Tahanan jenis batuan yang didapat pada pengukuran di lapangan secara langsung merupakan tahanan jenis semu yang memerlukan suatu pengolahan data lebih lanjut untuk mendapatkan tahanan jenis yang sebenarnya untuk tiap lapisan. Batuan penyusun di dalam bumi yang berfungsi sebagai resistor dapat diukur nilai tahanan jenisnya secara sederhana dengan mengasumsikan bahwa mediumnya merupakan medium yang homogen isotrop (Santoso, 2002).

Ground Penetrating Radar (GPR) adalah salah satu metode survey untuk *soil*, bangunan dan kondisi bawah permukaan (dalam interval beberapa centimeter hingga kedalaman 60 meter). Metode *GPR* ini menggunakan analisa refleksi/pantulan dari gelombang elektromagnetik yang dihasilkan akibat dari perbedaan sifat /konstanta dielektrik benda-benda di bawah permukaan. Secara umum peralatan *GPR* terdiri dari dua komponen utama yaitu peralatan pemancar gelombang radar (*transmitter*) dan peralatan penerima pantulan/refleksi gelombang radar (*tranceiver*). *Transmitter* membangkitkan pulsa gelombang elektromagnetik pada frekuensi tertentu sesuai dengan karakteristik antenna tersebut (10 Mhz-4Ghz). *Receiver* diset untuk melakukan scan yang secara normal mencapai 32 – 512 scan per detik. Setiap hasil scan ditampilkan pada layar monitor sebagai fungsi waktu *two-way time travel time*, yaitu waktu tempuh gelombang elektromagnetik menjalar dari *transmitter* – target – *receiver*. Tampilan ini disebut dengan radargram (Heteren, 1998).

2.1.2.9 Kajian Geologi Teknik Area Terpilih

Metoda kajian geologi teknik yang dilakukan adalah pengumpulan data primer maupun data sekunder. Data primer berupa hasil pengukuran posisi lokasi dan ketinggian elipsoid patok pantau (TP) berdasarkan pengukuran dengan GPS geodetic. Data sekunder diperoleh dari berbagai instansi seperti Dinas PUPR, BAPPEDA, BPS, BIG dan instansi terkait lainnya.

Selanjutnya dari data tersebut dilakukan evaluasi yang meliputi pekerjaan pembuatan laporan, penggambaran, pengecekan terhadap hasil yang diperoleh dari kegiatan lapangan, serta melengkapi kekurangan yang masih ada.

Lingkup pekerjaan Kajian Geologi Teknik Area Terpilih Kawasan Jabodetabekpunjur dibagi dalam beberapa tahapan dengan rincian sebagai berikut :

- **Persiapan**

- a) Dalam tahap persiapan dilakukan pekerjaan yang meliputi persiapan sebelum pemberangkatan tim menuju ke lokasi kajian, antara lain meliputi administrasi, konsolidasi personalia tim, kesiapan transportasi dan peralatan lapangan, serta keperluan-keperluan lain untuk pekerjaan lapangan.
- b) Melakukan pengumpulan peta geologi teknik, peta topografi, data curah hujan, peta hidrogeologi, peta penggunaan lahan dan peta geologi.
- c) Melakukan studi literatur dari laporan-laporan terdahulu

- **Pekerjaan lapangan**

- a) Pengukuran ketinggian patok di titik pantau (TP) dengan titik tetap (referensi) *CORS* dengan menggunakan *GPS Geodetic*.
- b) Pengamatan fenomena geologi teknik/geodinamika

- **Analisis Data dan Pelaporan**

Analisis data dimaksudkan untuk mempelajari dan mencari hubungan serta pengaruh dari faktor-faktor morfologi, geologi, struktur geologi, penggunaan lahan dan aktifitas manusia terhadap laju penurunan tanah dan stratigrafi bawah permukaan di daerah kajian. Sedangkan pekerjaan pembuatan laporan terdiri dari laporan hasil kajian dan evaluasi geologi teknik yang dilengkapi dengan peta tematik.

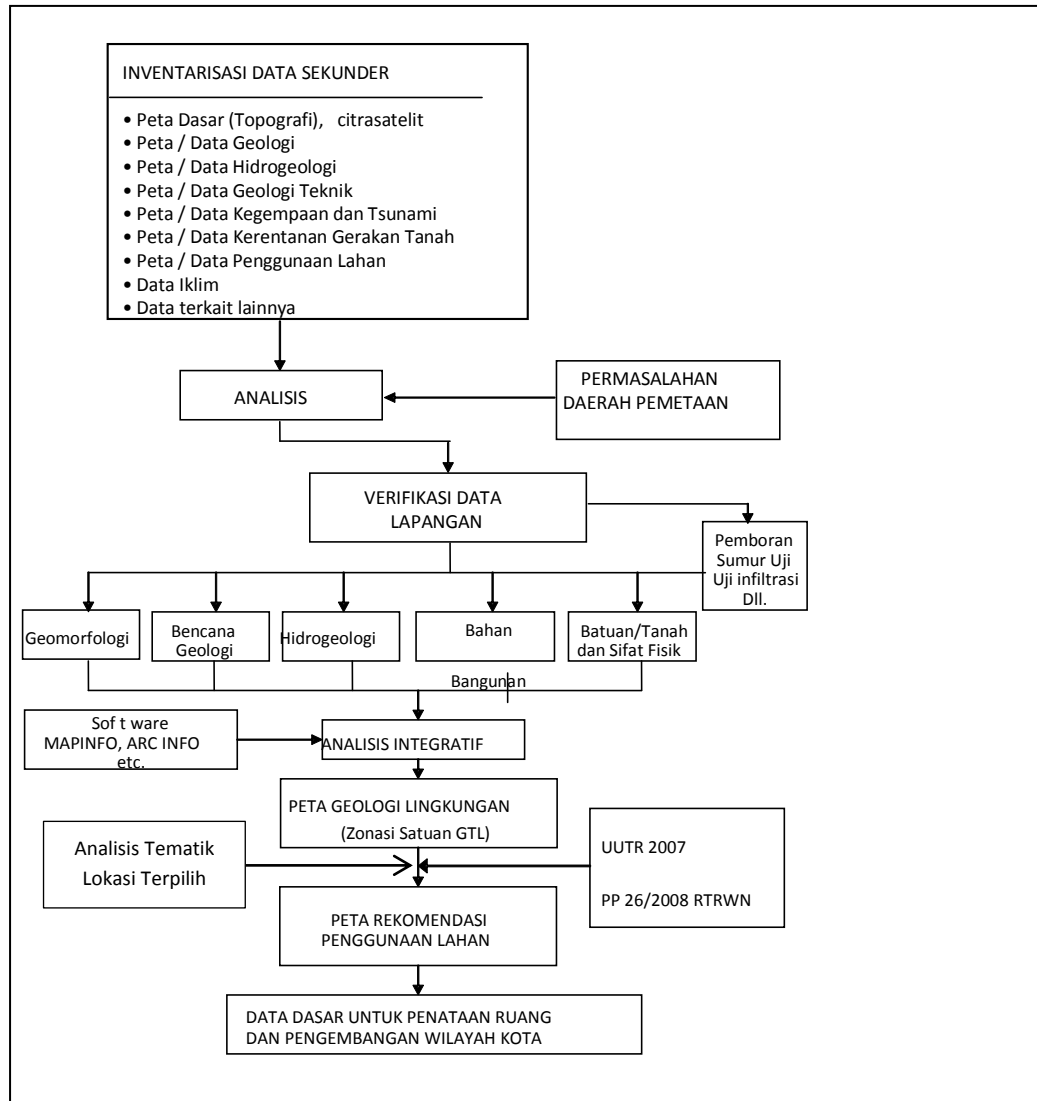
2.2. Tahapan Analisis Geologi Lingkungan Perkotaan

Analisis geologi lingkungan merupakan analisis terhadap komponen-komponen geologi lingkungan yang menjadi faktor pendukung maupun faktor kendala/pembatas fisik dalam pengembangan suatu wilayah dan bagaimana cara melakukan pengelolaan lingkungan.

Sedangkan tahapan kegiatan analisis geologi lingkungan untuk pengembangan wilayah perkotaan meliputi: tahapan persiapan (pengumpulan dan kajian data sekunder), tahapan pekerjaan lapangan (pengamatan dan verifikasi data sekunder), tahapan pengolahan data dan

analisis (pembobotan dan tumpang susun peta-peta tematik, penggambaran peta), dan tahapan penyusunan laporan.

Metodologi kegiatan penyelidikan geologi lingkungan ini mengikuti tahapan kegiatan sebagaimana bagan alir di atas, yaitu terdiri atas empat kegiatan utama yaitu, (a). Persiapan dan kajian data sekunder, (b). Verifikasi lapangan data sekunder, (c). Pengolahan data dan penggambaran peta (d). Penyusunan laporan.



Gambar 2.12. Bagan alir lingkup kegiatan analisis geologi lingkungan Perkotaan

2.2.1. Persiapan dan Kajian Data Sekunder

Dalam tahapan ini mencakup pembuatan surat izin survey/penyelidikan, penyediaan

peta dasar (peta topografi, peta geologi, foto udara/citra satelit), studi pustaka, pengadaan peralatan lapangan dan penyusunan rencana kerja. Metodologi untuk mengolah data sekunder ini diantaranya adalah menginventarisasi data yang berhubungan dengan aspek geologi lingkungan. Interpretasi citra satelit untuk mengetahui keadaan awal lingkungan fisik seperti bentang alam (*landscape*), penggunaan lahan (tutupan lahan), infra struktur, dan atau pembuatan peta dasar topografi dari *Sattelit Radar Topographic Mission (SRTM)* melalui *Globel Mapper* .

2.2.2. Verifikasi lapangan data Sekunder

Pengumpulan verifikasi data sekunder adalah penyelidikan lapangan dengan kegiatan sebagai berikut :

2.2.2.1. Jenis Pekerjaan Verifikasi Lapangan Data Sekunder

A. Komponen Daya Dukung Geologi

- **Verifikasi Data dan Peta morfologi**, dilakukan dengan memperhatikan secara langsung bentangalam (*landscape*) dibandingkan dengan data sekunder untuk mendapatkan informasi bentukan permukaan lahan yang mencerminkan kondisi satuan bentangalam, tanah/batuan pembentuknya, proses geologi yang mempengaruhi dan penggunaan lahan (*existing landuse*). Data keruangan ini dituangkan dalam bentuk Peta Morfologi skala 1 : 50.000.
- **Verifikasi Data dan Peta Geologi Permukaan**, dilakukan untuk mendapatkan data dan informasi sifat fisik dan keteknikan tanah/batuan penyusun di daerah kajian. Peta yang dibuat berupa peta tematik geologi permukaan skala 1 : 50.000.
Pemetaan sebaran tanah dan batuan hasilnya lebih dikenal dengan peta formasi geologi teknik, secara umum berdasarkan dominasi suatu jenis litologi batuan dipermukaan yang ada pada formasi tertentu di daerah pemetaan. Penyusunan satuan formasi geologi teknik ini dilakukan dengan cara pengelompokan dari satuan batuan yang dominant yang mempunyai sifat fisik dan keteknikan yang sama atau hampir sama.
- **Verifikasi Data dan Peta Hidrogeologi**, dengan cara pengamatan/pemetaan terhadap kondisi batuan pembawa air (akuifer), termasuk di dalamnya informasi yang penting seperti kedalaman kedudukan muka air tanah dan keberadaan mata air.

Selanjutnya aspek hidrogeologi akan menyangkut dua hal, yaitu penyebaran dan cara terdapatnya air tanah serta bagaimana sikap batuan terhadapnya.

B. Komponen Bahaya Geologi

- **Gerakan Tanah**, untuk mengidentifikasi gerakan tanah atau longsor dilakukan secara langsung di lapangan yaitu dengan memperhatikan bentuk permukaan tanah (berikut sudut lereng), jenis dan sebaran satuan tanah dan batuan berikut ketebalan serta sifat fisik dan keteknikannya, struktur geologi, penggunaan lahan dan kegempaan.
- **Kegempaan**, bersumber dari informasi kegempaan yang dilakukan dengan mempelajari data sekunder maupun informasi yang diperoleh dari instansi terkait. Untuk keperluan analisis data gempa terbagi berdasarkan angka MMI (*Modified Mercalli Intensity*), percepatan gempa (α) dan besaran angka *Richter*.

C. Komponen Penyisih Geologi

- **Zona Sesar Aktif**, merupakan struktur geologi yang berkembang berupa pematahan atau pergerakan sebagian kecil hingga suatu blok besar massa kerak bumi akibat gaya kompresi dan gaya tarik yang dipengaruhi oleh pergerakan tektonik yang terjadi pada Kala Holosen (11.000 tahun yang lalu) hingga sekarang. Untuk mendapatkan informasi sesar aktif tersebut selain dari instansi terkait yaitu Pusat Survey Geologi.
- **Kerentanan Gerakan Tanah Tinggi**, berupa pengamatan gejala gerakan tanah yang akan dilakukan di lapangan terutama di daerah bersudut kemiringan lereng curam dengan batuan yang memiliki karakteristik tertentu terhadap aspek kelongsoran.

4. Komponen Penyisih Non-Geologi

- **Kawasan Lindung**, tidak layak apabila obyek perencanaan pembangunan di dalam kawasan lindung, berkaitan dengan peraturan dan perundang-undangan yang berlaku. Data kawasan lindung dapat diperoleh dari Peta Rencana Pola Ruang daerah penyelidikan.
- Daerah Banjir, jika terdapat potensi banjir maka kesesuaian lahan menjadi rendah.

2.2.3. Pengolahan dan Analisis Semi Kuantitatif

Analisis geologi lingkungan sebagai informasi awal bagi para perencana penataan ruang, pengelolaan lingkungan, dan pengambil kebijakan, maka dapat diwujudkan dalam tingkat keleluasaan suatu wilayah untuk dikembangkan, baik sebagai kawasan pemukiman, industri, jasa dan perdagangan (Hardoyo, 2004). Tingkat keleluasaan yang merupakan zonasi pengembangan wilayah perkotaan menggambarkan tingkat kesulitan dalam pengorganisasian ruang untuk alokasi kegiatan maupun pemilihan jenis penggunaan lahan. Berdasarkan tingkat keleluasaan tersebut dapat dilakukan evaluasi penggunaan lahan. Hasil evaluasi ini berupa rekomendasi penggunaan lahan. Gambaran tingkat keleluasaan dan rekomendasi penggunaan lahan dapat digunakan sebagai acuan dalam penyusunan maupun untuk mengevaluasi rencana tata ruang wilayah.

2.2.4. Penggambaran Peta dan Penyusunan Laporan

Menyusun laporan hasil analisis geologi lingkungan wilayah perkotaan termasuk penyuntingan, pemberian kode yang dilengkapi dengan peta-peta, tabel, gambar, dan foto-foto lapangan.

2.2.4.1. Peta Tematik

Peta tematik terdiri dari peta tematik geologi dan peta tematik non-geologi. Kesemua peta tematik disajikan dalam skala yang sama, yaitu skala 1 : 50.000. Peta tematik geologi adalah peta yang menggambarkan setiap aspek lingkungan geologi dan digunakan untuk analisis serta penyusunan peta geologi lingkungan dan peta rekomendasi penggunaan lahan.

Peta tematik geologi terdiri dari, peta kemiringan lereng, peta geologi teknik/daya dukung tanah, peta hidrogeologi dan peta bencana geologi. Sedangkan peta tematik non-geologi, terdiri dari, peta penggunaan lahan saat ini dan peta rencana pola ruang

Peta tematik non-geologi bersama-sama dengan peta geologi lingkungan dipakai sebagai dasar analisis untuk mendapatkan arahan dan rekomendasi bagi penataan ruang dalam rangka pengembangan wilayah dan pengelolaan lingkungan

2.2.4.2. Peta Kesesuaian Lahan

Peta Kesesuaian Lahan beraspek Geologi Lingkungan menggambarkan karakteristik kesesuaian lahan untuk pengembangan perkotaan berdasarkan aspek geologi lingkungan.

2.2.4.3. Penyusunan Laporan

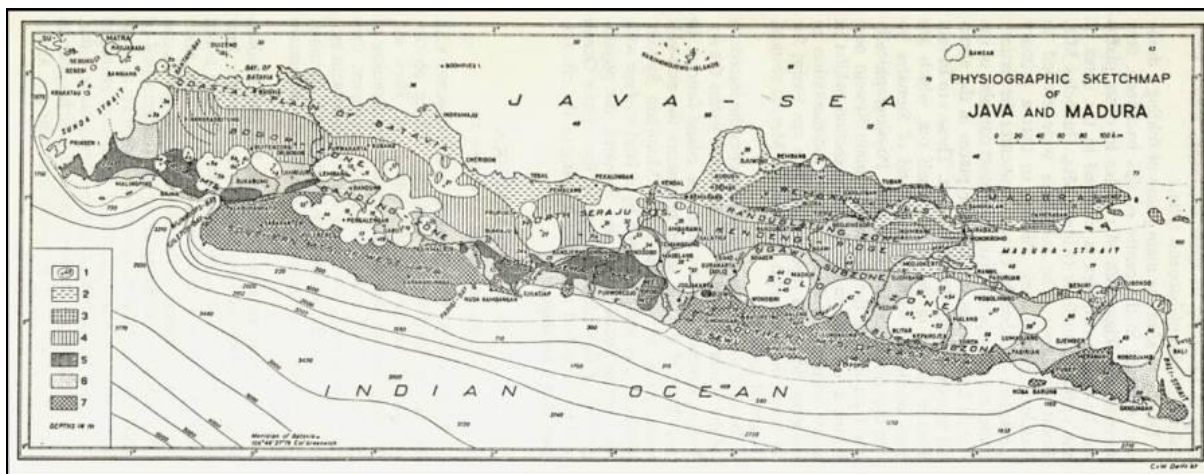
Semua data, baik data sekunder maupun data primer yang telah dianalisis, selanjutnya disusun dalam bentuk buku laporan yang dilampiri peta-peta, baik peta tematik, dan peta tingkat kekeluaasaan beraspek geologi lingkungan untuk pengembangan perkotaan.

BAB III GAMBARAN UMUM

3.1 Kondisi Geologi Umum

3.1.1. Fisiografi

Menurut Van Bemmelen (1949), Jawa bagian barat dibagi menjadi 5 zona yaitu Zona Dataran Rendah Pantai Jakarta, Zona Bogor, Zona Bandung, Zona Pegunungan Bayah, dan Zona Pegunungan Selatan Jawa Barat. Daerah penelitian (Jabodetabekpunjur) termasuk dalam Zona Dataran Rendah Pantai Jakarta, dan sebagian termasuk Zona Bogor (Gambar 3.1).



Gambar 3.1 Fisiografi Jawa menurut Van Bemmelen (1949)

Zona dataran rendah pantai Jakarta terletak di tepi Laut Jawa dengan lebar kurang lebih 40 km dan terbentang mulai dari Serang hingga ke Cirebon. Zona ini didominasi oleh endapan alluvial hasil pengendapan sungai – sungai yang bermuara di Laut Jawa seperti Citarum, Ciliwung, Cisadane, Cimanuk, Ciasem dan Cikeruh. Endapan kipas aluvial juga terbentuk pada beberapa tempat dari zona ini yang merupakan hasil endapan lahar Gunung Gede, Gunung Pangrango, dan Gunung Tangkuban Parahu.

Zona Bogor terdapat di bagian selatan Zona Dataran Rendah Pantai Jakarta, dan membentang dari barat ke timur, yaitu mulai dari Rangkasbitung, Bogor, Subang, Sumedang, dan berakhir di Bumiayu dengan panjang kurang lebih 40 km. Zona Bogor ini merupakan daerah antiklinorium yang cembung ke utara dengan arah sumbu lipatan barat – timur. Inti antiklinorium ini terdiri dari lapisan-lapisan batuan berumur Miosen dan sayapnya ditempati batuan yang lebih

muda yaitu berumur Pliosen – Pleistosen. Pada Zona Bogor, terdapat beberapa morfologi intrusi berupa boss. Batuannya terdiri atas batupasir, batulempung dan breksi yang merupakan endapan turbidit, disertai beberapa intrusi *hypabisal*, konglomerat dan hasil endapan gunungapi. Disamping itu juga terdapat lensa-lensa batugamping. Endapannya terdiri oleh akumulasi endapan Neogen yang tebal dengan dicirikan oleh endapan laut dalam.

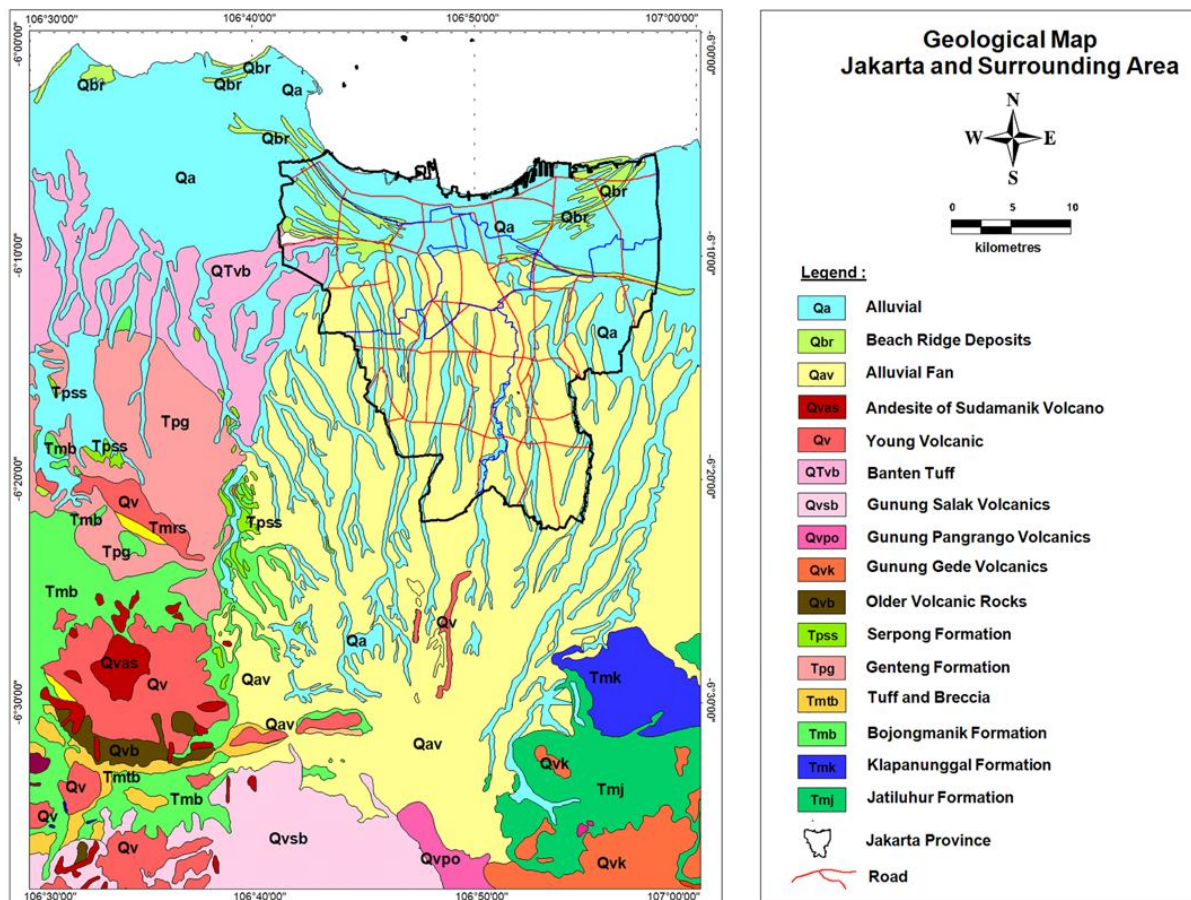
3.1.2. Stratigrafi

Secara umum stratigrafi daerah penelitian ke dalam Peta Geologi lembar Jakarta dan Kepulauan Seribu Skala 1:100.000 (Turkandi dkk, 1992), Peta Geologi Lembar Bogor Skala 1:100.000 (Effendi dkk, 1974) , Peta Geologi Lembar Karawang (Achdan, dkk., 1992), Peta Geologi Lembar Cianjur Skala 1:100.000 (Sudjatmiko, 2003) dan Peta Geologi Lembar Serang Skala 1:100.000 (Rusmana, dkk, 1991)). Berdasarkan rangkuman stratigrafi dari keempat peta geologi regional tersebut urutan batuan dari paling muda ke tua (Gambar 3.2) aluvium, kipas aluvium, endapan pematang pantai, Tuf Banten dan Formasi Serpong. Semakin ke arah selatan, disusun oleh batuan yang lebih tua yaitu Formasi Vulkanik Muda, Formasi Vulkanik Tua, Formasi Genteng, Formasi Bojongmanik dan Formasi Jatiluhur. Aluvium berupa lempung sampai bongkah; kipas aluvium berupa tuf halus dan tuf pasir berselingan tuf konglomeratan; endapan pematang pantai berupa pasir halus sampai kasar dengan cangkang moluska; Tuf Banten berupa tuf, tuf batu apung dan batupasir tufan serta Formasi Serpong berupa perselingan konglomerat, batupasir, batulanau dan batulempung dengan sisa tanaman.

Di bagian selatan Formasi Vulkanik muda dikelompokkan menjadi vulkanik muda, batuan vulkanik mengandung pumis dan batuan vulkanik muda, Batuan yang paling atas terdistribusi luas dan terdiri dari lempung tufaan, pasir, konglomerat, endapan lahar, lapuk. Formasi Vulkanik Tua, Formasi ini terbagi kedalam 4 anggota yaitu Breksi lahar, Aliran Lava Vulkanik Tua, batuan Vulkanik Tua Terpropilitisasi dan Vulkanik Tua yang sulit dibedakan. Penyebaran formasi ini sangat luas di daerah selatan, pegunungan barat dan timur. Formasi Genteng berada di daerah Tangerang, sekaligus merupakan bagian dasar sungai Cisadane. Formasi ini tersusun oleh batu pasir kasar tufaan, lempung, gabungan fragmen pumis. Formasi Bojongmanik mempunyai tiga anggota dari yang paling bawah berupa batu gamping dengan selang-seling antara lempung dan pasir, anggota batulempung terdiri dari lempung, batu pasir kuarsa, batu tuf dengan kandungan fosil moluska, dan anggota batu pasir, yang tersusun oleh

lempung, batu pasir tuf kasar, dengan selang seling batu gamping. Formasi Jatiluhur tersusun oleh batu lempung berlapis, pasir kuarsa, dan napal.

Sejarah geologi regional daerah penelitian (Martodjodjo, 2003) diantaranya dimulai pada awal Miosen Tengah. Pada kala tersebut, Jakarta merupakan laut dangkal dan Formasi Parigi yang didominasi batugamping terendapkan. Pada Miosen Akhir, endapan lempung-pasir terendapkan di daerah penelitian yang telah menjadi daerah pantai dan transisi. Kemudian pada Kala Pliosen busur magmatik bergerak ke arah tengah Jawa. Lalu pada Kala Pliosen-Plistosen, daerah Jawa Barat terangkat. Daerah Jakarta menjadi kaki gunung dan material yang datang terendapkan sebagai endapan kipas alluvium di sungai yang mengalir ke Laut Jawa.



Gambar 3.2 Peta Geologi Regional Daerah Jakarta dan Sekitarnya (Modifikasi dari Turkandi dkk, 1992; Rusmana dkk, 1974)

3.1.3. Struktur Geologi

Sebagian daerah penelitian merupakan bagian dari Cekungan Jawa Barat Utara dan Cekungan Bogor. Cekungan Jawa Barat Utara terdiri dari dua area, yaitu laut (offshore) di Utara dan darat (onshore) di Selatan (Darman dan Sidi, 2000). Seluruh area didominasi oleh patahan ekstensional (extensional faulting) dengan sangat minim struktur kompresional. Cekungan didominasi oleh rift yang berhubungan dengan patahan yang membentuk beberapa struktur deposenter (half graben), antara lain deposenter utamanya yaitu Sub-Cekungan Arjuna dan Sub-Cekungan Jatibarang, juga deposenter yang lain seperti : Sub-Cekungan Ciputat, Sub-Cekungan Pasirputih. Deposenter-deposenter itu didominasi oleh sikuen Tersier dengan ketebalan melebihi 5500 m.

Struktur yang penting pada cekungan tersebut yaitu terdiri dari bermacam-macam area tinggian yang berhubungan dengan antiklin yang terpatahkan dan blok tinggian (*horst block*), lipatan pada bagian yang turun pada patahan utama, keystone folding dan mengena pada tinggian batuan dasar. Struktur kompresional hanya terjadi pada awal pembentukan rift pertama yang berarah relatif barat laut-tenggara pada periode Paleogen. Sesar ini akan aktif kembali pada Oligosen. Tektonik Jawa Barat dibagi menjadi tiga fase tektonik yang dimulai dari Pra Tersier hingga Plio-Pliostosen.

3.2 Iklim

Temperatur Provinsi DKI Jakarta pada tahun 2017 tertinggi di bulan Juni (35,20C) dan terendah di bulan Oktober (23,00C), dengan kelembaban 35 sampai 97 persen. Curah hujan tertinggi di bulan Februari (520,28mm²) dan terendah di bulan Agustus (0,8mm²). Selama tahun 2017, hampir seluruh kecamatan di Kota Tangerang mengalami banjir, kecuali Kecamatan Tangerang dan Kecamatan Batuaceper. Secara umum, wilayah Kota Tangerang berada 14 meter di atas permukaan laut, curah hujan tertinggi terjadi pada bulan Februari yaitu sebanyak 507,6 mm. Sedangkan rata-rata kelembaban udara 81,3 persen dan temperatur udara 27,9°C. Suhu udara yang terjadi di Kabupaten Bekasi berkisar antara 28⁰ – 32⁰ C. Curah hujan tertinggi dan hari hujan terbanyak terjadi pada bulan Februari. Kondisi iklim di Kota Bogor suhu rata-rata tiap bulan 27,3o C dengan suhu terendah 22,2o C dengan suhu tertinggi 33,0o C. Kelembaban udara 82 %, Curah hujan rata-rata setiap bulan sekitar 345 mm dengan curah hujan terbesar pada bulan Februari 2017.

3.3 Kependudukan

Pertumbuhan penduduk dapat dipengaruhi oleh kelahiran, kematian, dan migrasi. Pada tahun 2016 jumlah penduduk Provinsi DKI Jakarta mencapai 10.277.628 jiwa. Dilihat dari komposisi penduduk menurut jenis kelamin, jumlah penduduk laki-laki Provinsi DKI Jakarta tahun 2015 sebanyak 5.159.683 jiwa atau 50,20 persen dari jumlah keseluruhan penduduk, sedikit lebih banyak dibandingkan jumlah penduduk perempuan yaitu sebanyak 5.117.945 jiwa atau 49,80 persen. Oleh karenanya, Provinsi DKI Jakarta pada tahun 2016 memiliki *sex ratio* sebesar 100,8 penduduk laki-laki per 100 penduduk perempuan. Rincian perkembangan komposisi penduduk dari tahun 2012 sampai dengan tahun 2016 adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1 Perkembangan Jumlah Penduduk Provinsi DKI Jakarta Tahun 2012-2016

No.	Uraian	Tahun					
		SP2000	2012	2013	2014	2015	2016
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1.	Laki-laki	4.223.125	4.976.048	5.023.454	5.069.925	5.115.357	5.159.683
2.	Perempuan	4.123.958	4.886.040	4.946.494	5.005.385	5.062.567	5.117.945
3.	Jumlah	8.347.083	9.862.088	9.969.948	10.075.310	10.177.924	10.277.628
4.	Pertumbuhan	0,78	1,13	1,09	1,06	1,09	0,98
5.	Densitas (Ribu jiwa/ km ²)	12,60	14,89	15,05	15,23	15,37	15,51
6.	Sex Ratio	102,00	101,80	101,60	101,70	101,04	100,8

Sumber: Badan Pusat Statistik Provinsi DKI Jakarta, 2018

Jumlah penduduk Provinsi DKI Jakarta cenderung terus meningkat dari tahun ke tahun, dengan pertumbuhan pada tahun 2012 sebesar 1,13 persen, tahun 2013 sebesar 1,09 persen, tahun 2014 sebesar 1,06 persen, tahun 2015 sebesar 1,09 persen, dan tahun 2016 sebesar 0,98 persen. Provinsi DKI Jakarta memiliki kepadatan penduduk tertinggi dibandingkan dengan provinsi lainnya di Indonesia, dengan kepadatan penduduk 15,51 ribu jiwa/Km².

Struktur penduduk Provinsi DKI Jakarta menunjukkan dominasi penduduk usia produktif (15-64) sebagaimana terlihat pada Gambar 2.9 Pada tahun 2016, penduduk usia produktif tercatat sebanyak 7.324.391 jiwa atau sebesar 71,27 persen dari total penduduk, penduduk yang belum produktif (0-14 tahun) sebanyak 2.553.915 jiwa atau 24,85 persen, dan penduduk yang tidak produktif lagi atau melewati masa pensiun sebanyak 399.302 atau 3,89 persen. Dengan struktur penduduk tersebut, angka ketergantungan (*dependency ratio*) DKI Jakarta pada tahun 2016 sebesar 40,32 persen yang berarti dari 100 penduduk usia produktif DKI Jakarta akan menanggung secara ekonomi sebesar 40,32 penduduk usia tidak produktif.

Secara umum, komposisi penduduk menurut jenis kelamin memiliki tren yang hampir sama antar wilayah Kota/Kabupaten Administrasi, penduduk laki-laki cenderung berjumlah sama banyak dibandingkan penduduk perempuan. Jumlah penduduk tertinggi adalah Kota Administrasi Jakarta Timur yaitu sebanyak 2.892.783 jiwa, sedangkan jumlah penduduk terendah terdapat pada Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu yaitu sebanyak 23.987 jiwa.

3.4. Tata Guna Lahan

Berdasarkan Peta Tata Ruang Wilayah Nasional, Kawasan Jabodetabek dan Kawasan Bopunjur (Keppres 114/99) digabung menjadi satu Kawasan Jabodetabek-Punjur karena keduanya merupakan satu kesatuan ekosistem wilayah dari hulu sampai dengan hilir. RTRWN menetapkan Jabodetabekpunjur sebagai kawasan tertentu yang disebut Kawasan Jabodetabekpunjur sebagai bagian Metropolitan Pusat Kegiatan Nasional (PKN). Kawasan Jabodetabekpunjur meliputi:

- Seluruh wilayah DKI Jakarta;
- Sebagian wilayah Provinsi Jawa Barat, mencakup seluruh wilayah Kabupaten Bekasi, seluruh wilayah Kota Bekasi, seluruh wilayah Kota Depok, seluruh wilayah Kabupaten Bogor, seluruh wilayah Kota Bogor, dan sebagian wilayah Kabupaten Cianjur yang meliputi Kecamatan Cugenang, Kecamatan Pacet dan Kecamatan Sukaresmi.
- Sebagian wilayah Provinsi Banten, mencakup seluruh wilayah Kabupaten Tangerang dan seluruh wilayah Kota Tangerang.

Sebagai kawasan tertentu Jabodetabekpunjur mempunyai ciri-ciri:

- Masalah nasional yang penataannya diprioritaskan;
- Melibatkan lintas sektor dan lintas wilayah (contoh penanganan banjir);
- Satu kesatuan ekosistem;
- Mempunyai pengaruh besar terhadap upaya pengembangan tata ruang di wilayah sekitarnya.

Permasalahan Tata Ruang Jabodetabekpunjur antara lain:

- Peningkatan jumlah penduduk.
- Perkembangan pembangunan yang tidak terkendali, khususnya pembangunan yang terjadi di lintas wilayah yang memiliki keterkaitan dengan fungsi dan struktur.

- Meningkatnya kebutuhan perumahan dan fasilitas lainnya untuk memenuhi kebutuhan penduduk.
- Perubahan alih fungsi lahan.
- Terjadi penurunan fungsi kawasan hutan/perkebunan dan tanaman tahunan.
- Penyimpangan di sepanjang bantaran sungai dan terjadi pemanfaatan ruang di wilayah retensi air dimana seharusnya tidak boleh.
- Perkembangan pembangunan di bagian hulu kawasan, telah mempersempit vegetasi yang menutup permukaan tanah.
- Penyempitan sungai akibat sedimentasi dari partikel-partikel yang terbawa berdampak pada meningkatnya aliran air permukaan (*run-off*).
- Perubahan lahan alami ke lahan terbangun menimbulkan bahaya erosi dan menurunkan infiltrasi air tanah.
- Meningkatnya limbah industri dan rumah tangga.
- Terjadinya genangan di kawasan pantai lama yang mengalami amblesan (*land subsidence*).

Perubahan tata guna lahan tersebut berakibat dengan terjadinya penurunan nilai infiltrasi yang dapat mengurangi potensi air tanah dan akan menambah besarnya aliran air permukaan sehingga akan memperbesar kemungkinan adanya banjir di bagian hilirnya. Hasil penelitian Bambang Sunarwan (1999) membuktikan bahwa perubahan tata lahan di DAS Ciliwung Hulu dan Tengah antara kurun waktu 1981 – 1999 telah menurunkan nilai koefisien infiltrasi 0,616 % di DAS Ciliwung Hulu dan 350 % di DAS Ciliwung Tengah. Perubahan nilai infiltrasi tersebut telah menyebabkan penambahan aliran permukaan di kedua bagian DAS Ciliwung di atas. Peningkatan aliran air permukaan ini akan berkaitan dengan terjadinya banjir di Provinsi DKI-Jakarta dan mengurangi potensi/ cadangan air tanah di Provinsi DKI-Jakarta.

Penggunaan lahan terbagi menjadi kawasan budidaya dan kawasan lindung. Kawasan budidaya terdiri dari kawasan peruntukan hutan produksi, pertanian, pertambangan, industri, pariwisata, permukiman, pendidikan tinggi, pesisir dan pulau-pulau kecil, serta kawasan militer dan kepolisian.

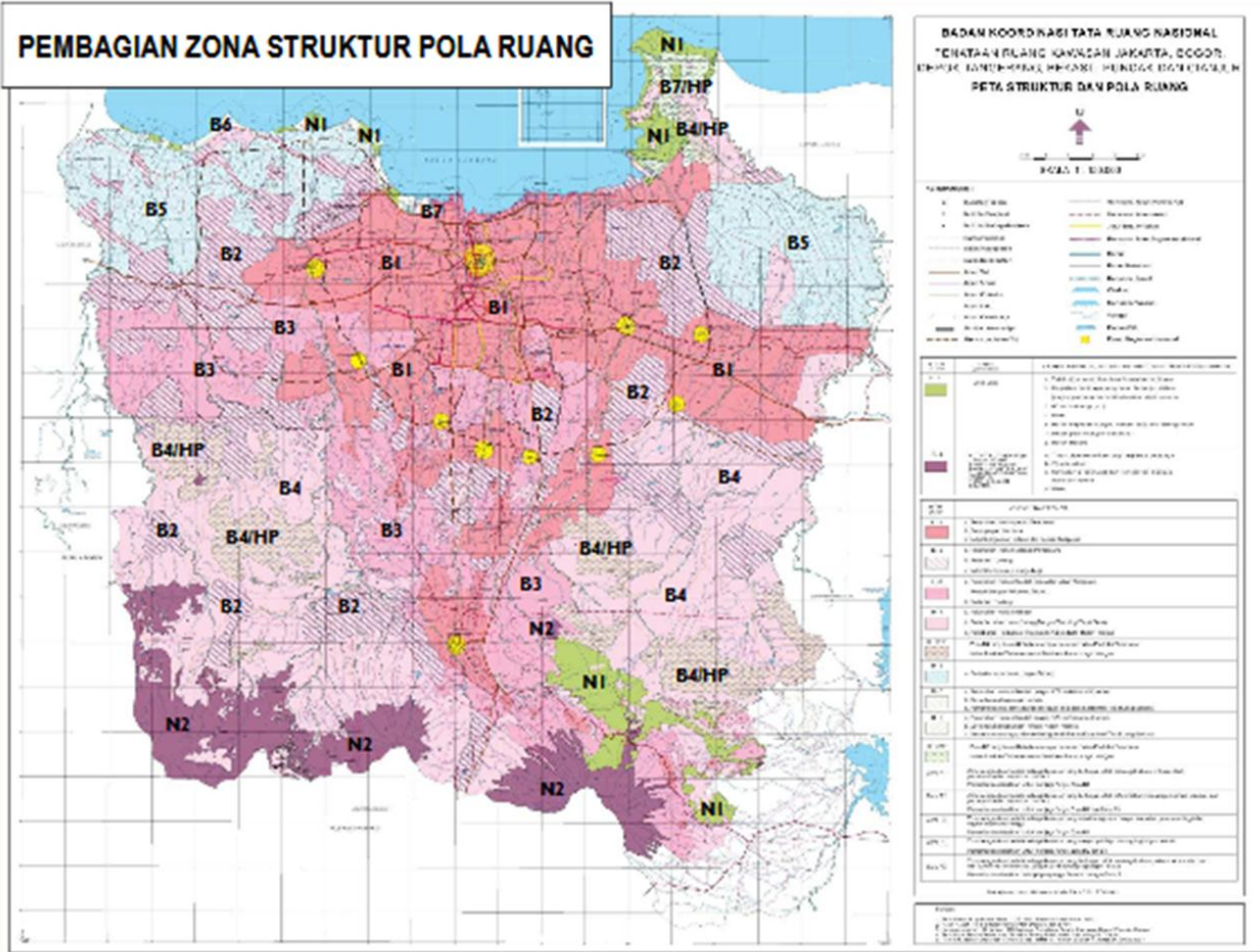
Dalam beberapa dekade terakhir, perkembangan fisik wilayah DKI Jakarta ditandai oleh semakin luasnya lahan terbangun. Perkembangan lahan terbangun berlangsung dengan pesat seiring dengan pertumbuhan penduduk dan aktifitasnya. Kecenderungan tersebut

mengindikasikan bahwasanya ketersediaan lahan menjadi permasalahan yang penting bagi pembangunan Provinsi DKI Jakarta. Pembangunan fisik di Jakarta terus mengalami perkembangan yang cukup signifikan. Hal ini ditandai oleh pembangunan gedung perkantoran, sarana ekonomi dan sosial serta infrastruktur kota lainnya. Semua ini merupakan konsekuensi logis dari semakin majunya pembangunan dan perekonomian Jakarta. Gambaran penggunaan lahan di DKI Jakarta dapat dilihat pada gambar berikut.

Peruntukan lahan untuk perumahan menduduki proporsi terbesar, yaitu 48,41 persen dari luas daratan utama DKI Jakarta. Sedangkan luasan untuk peruntukan bangunan industri, perkantoran dan perdagangan hanya mencapai 15,68 persen.



Gambar 3.3. Pembagian pola ruang dan pola struktur pada RTR Jabodetabekpunjur.



Gambar 3.4. Peta pembagian zona struktur pola ruang Jabodetabekpunjur.

BAB IV
TEMATIK LOKASI TERPILIH
UNTUK PENGEMBANGAN WILAYAH PERKOTAAN

4.1 Pemetaan Geologi Inderaan Jauh

Dari hasil kegiatan lapangan daerah Jabodetabekpunjur ini diperoleh gambaran rinci mengenai kondisi geologi daerah tersebut. Dalam kegiatan ini dijumpai beberapa hal menarik yang berbeda dengan hasil pemetaan sebelumnya dan tidak sedikit pula dijumpai bukti bukti baru yang menguatkan hasil pemetaan terdahulu.

4.1.1 Geomorfologi Bagian Barat

Berdasarkan analisis citra indera jauh Digital Elevation Model SRTM 30 m, melalui analisis klasifikasi ke tinggian relatif dan tingkat kemiringan lereng; geomorfologi daerah penelitian dari selatan ke utara terdiri dari kompleks pegunungan, endapan kipas aluvial dan pedataran pantai. Kompleks pegunungan membentang dari timur ke barat dengan ketinggian mencapai 3000 m (Gn. Gede – Pangrango) dan menurun sampai ketinggian mencapai 2000 m (Gn. Kendeng – Kencana). Tepat dibagian tengah daerah pemetaan; diantara dua kompleks pegunungan tersebut, membentuk endapan kipas aluvial besar; yang mengalirkan dan mengendapkan material erosional dari kompleks pegunungan ke arah utara menuju Teluk Jakarta.

Lebih rinci, geomorfologi daerah pemetaan di bagian barat yang meliputi wilayah Jakarta, Bogor, Serang Puncak dan Leuwidamar dapat dibagi menjadi 3 (tiga) bentukan asal, yaitu: 1) Bentukan asal gunungapi, 2) Bentukan asal denudasi, dan 3) Bentukan asal fluvial. Bentukan asal gunungapi dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu : 1) Kerucut gunungapi dan 2) Pegunungan vulkanik dengan puncak tertoreh. Bentukan asal denudasi, dapat dikelompokkan dalam 2 satuan geomorfologi, yaitu : 1) Perbukitan sisa denudasi dan 2) Perbukitan denudasi berpuncak runcing. Kelompok terakhir adalah bentukan asal fluvial yang dapat dibagi menjadi 2 kelompok, yaitu : 1) Kipas aluvial dan 2) Pedataran pantai.

4.1.2. Litologi Bagian Barat

Litologi pada areal dapat dikelompokkan menjadi beberapa kelompok batuan menurut genesa dan umurnya. Pembagian kelompok batuan dan penarikan batas satuan batuan didasarkan pada analisis data indera jauh yang meliputi aspek morfologi, pola pengaliran, rona, warna, tekstur, pola, bentuk, dan asosiasi objek. Hasil analisis kemudian divalidasi

melalui peninjauan lapangan (*ground checking*) yang tersebar di beberapa titik pengamatan dan ditambah dengan hasil pengamatan lapangan data sekunder.

Satuan batuan di daerah Jabodetabekpunjur bagian barat terdiri atas 68 (enam puluh delapan) satuan, yang secara garis besar dikelompokkan dalam 11 (sebelas) genesa batuan. Kelompok satuan atuan tersebut adalah sebagai berikut :

1. Endapan Permukaan, terdiri atas endapan aluvial, Endapan sungai dan endapan kipas aluvial.
2. Endapan Sedimen Kuarter
3. Batuan Gunungapi Pangrango
4. Batuan Gunungapi Salak
5. Batuan Gunungapi Gede
6. Batuan Gunungapi Bogor
7. Batuan Gunungapi Sundamanik
8. Batuan Gunungapi Cianjur
9. Batuan Gunungapi Tapos
10. Batuan Gunungapi Endut
11. Batuan Sedimen Neogen
12. Batuan terobosan.

Batuan paling tua pada daerah ini adalah batuan sedimen berumur Miosen Awal yaitu batuan dari Formasi Jatiluhur dan Formasi Bojongmanik. Sedangkan batuan termuda pada daerah ini adalah endapan permukaan; berupa endapan aluvial, rawa, pantai dan aluvium sungai.

4.1.3. Struktur Geologi Bagian Barat

Secara umum daerah pemetaan didominasi oleh struktur maupun kelurusan yang berarah Disamping itu terdapat sejumlah kelurusan utama yang berarah baratlaut-tenggara dan timurlaut-baratdaya. Struktur geologi yang umum dijumpai pada batuan sedimen Neogen adalah lipatan dan kekar; sedangkan pada batuan vulkanik kuarter sangat jarang dijumpai struktur geologi secara langsung di lapangan, namun elemen struktur berupa kekar umum ditemukan pada batuan ini.

Pada daerah kaki Gunung Salak dijumpai beberapa sesar naik dan sesar normal yang berarah timurlaut-baratdaya. Penciri adanya struktur tersebut diantaranya adalah banyaknya ditemukan titik-titik lokasi air terjun yang membentuk kelurusan berarah timurlaut-baratdaya sepanjang kaki pegunungan.

4.1.4 Geomorfologi Bagian Timur

Daerah pemetaan terdiri atas 4 satuan morfologi yaitu Gunungapi, Perbukitan Struktural, Perbukitan Vulkanik dan Dataran Aluvial. Satuan morfologi Pegunungan Vulkanik dibentuk oleh dua gunungapi utama yaitu Gunungapi Gede dan Pangrango yang berada di bagian selatan areal kerja. Sebagian besar dari material hasil aktifitas kedua gunungapi tersebut tersebar ke arah Puncak Bogor dan Cianjur. Material vulkanik penyusun satuan terdiri atas breksi baik breksi gunungapi maupun laharik, batupasir tufan, lava serta material hasil lapukan batuan gunungapi tersebut. Daerah ini menunjukkan tingkat pelapukan yang tinggi dan menghasilkan soil yang tebal.

Satuan perbukitan vulkanik menempati bagian daerah Bogor dan Cianjur bagian utara. Umumnya tersusun oleh batuan gunungapi yang relatif tua berumur Plistosen. Breksi dengan komponen andesitik-basaltik, lava dan tuf gunungapi merupakan litologi utama penyusun satuan morfologi ini. Satuan perbukitan struktural dijumpai pada bagian tengah daerah kerja di daerah Bogor bagian timur serta pada bagian barat daerah kerja. Secara umum satuan ini tersusun oleh batuan sedimen berumur Neogen seperti Batulempung Formasi Jatiluhur, Batugamping Klapanunggal, Batulempung Formasi Bojongmanik dan batuan sedimen lainnya. Dataran alluvial menempati bagian tengah sampai ke bagian utara areal pemetaan yang meliputi daerah Depok, Bekasi, Jakarta dan Karawang. Pada beberapa lokasi dijumpai adanya kipas aluvial seperti Kipas Aluvial Jakarta, Kipas Aluvial Bekasi, dan Kipas Aluvial Cianjur.

4.1.5 Litologi Bagian Timur

Litologi pada areal dapat dikelompokkan menjadi beberapa kelompok batuan menurut genesa dan umurnya. Batuan paling tua pada daerah ini adalah batuan sedimen berumur Miosen Awal yaitu batuan dari Formasi Jatiluhur dan Formasi Klapanunggal. Sedangkan batuan termuda pada daerah ini adalah endapan permukaan baik berupa endapan alluvial, rawa, pantai maupun sungai. Urutan kelompok batuan dari yang paling muda sampai yang paling tua adalah sebagai berikut:

1. Endapan Permukaan
2. Batuan Sedimen Kuarter
3. Batuan Gunungapi Kuarter
4. Batuan Terobosan Neogen
5. Batuan Gunungapi Neogen
6. Batuan Sedimen Neogen

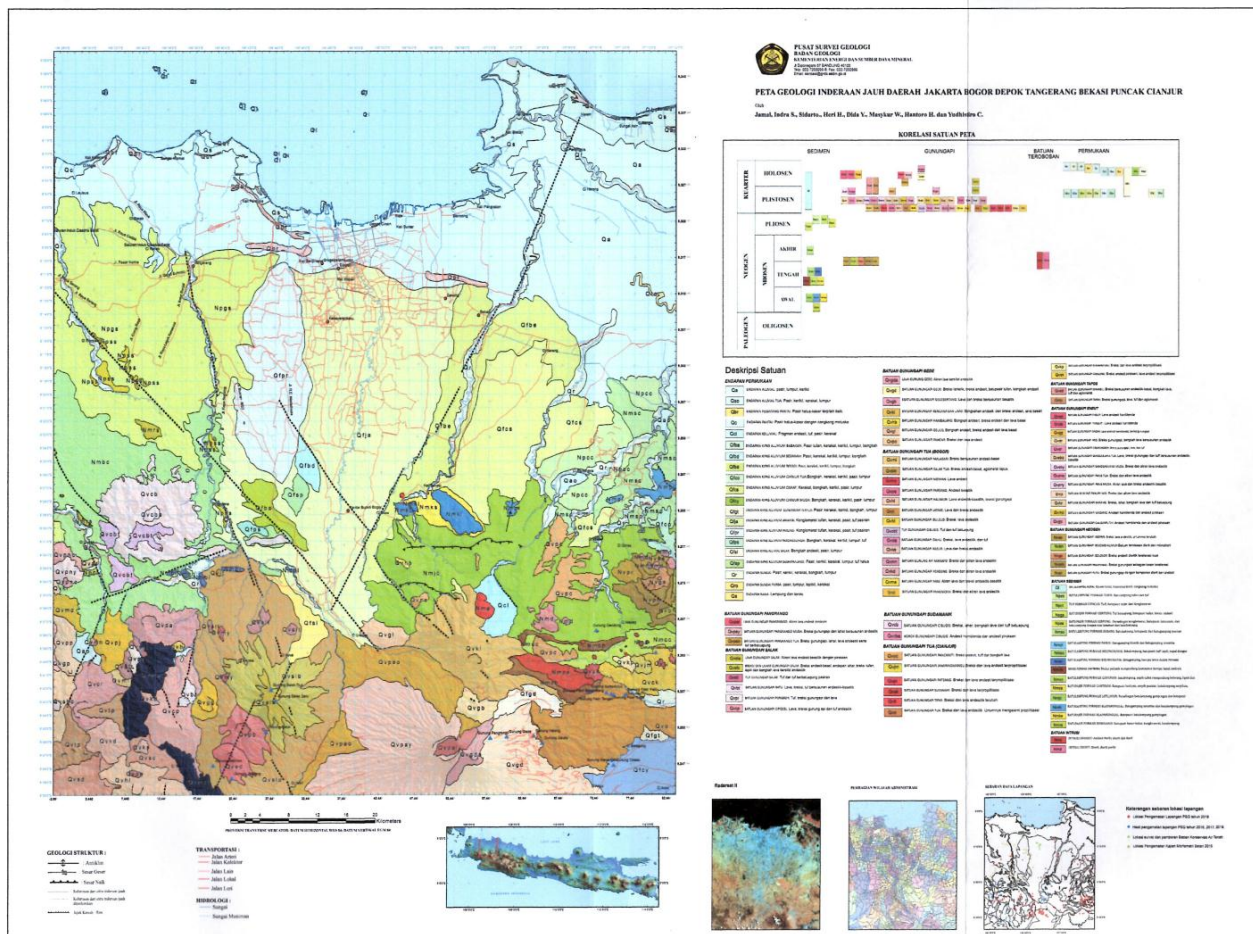
4.1.6. Struktur Geologi Bagian Timur

Secara umum daerah pemetaan didominasi oleh struktur maupun kelurusan yang berarah Disamping itu terdapat sejumlah kelurusan utama yang laut-tenggara dan barat daya-timur laut serta barat-timur. Struktur geologi sangat umum dijumpai pada batuan sedimen Neogen berupa sesar, lipatan maupun kekar sedangkan pada batuan vulkanik kuartar sangat jarang dijumpai struktur geologi secara langsung di lapangan. Pada daerah ini dijumpai beberapa sesar naik yang berarah barat-timur seperti yang dijumpai di daerah Klapanunggal. Sesar naik tersebut diperkirakan sebagai kelanjutan dari Sesar Baribis. Sesar geser umumnya berarah barat laut-tenggara dan barat daya-timur laut. Sesar geser Cigentis tersingkap dengan baik di sepanjang Sungai Cigentis di bagian timur area kerja. Sesar ini berarah barat daya – timur laut dan memotong batuan vulkanik Neogen.

4.1.7. Sumberdaya dan Kebencanaan Geologi Bagian Timur

Pemetaan geologi tidak dapat dipisahkan dengan sumberdaya maupun kebencanaan geologi. Pada daerah pemetaan dijumpai beberapa sumberdaya geologi yang dapat dimanfaatkan sebagian besar berupa bahan galian. Daerah tersebut kaya akan batuan vulkanik seperti andesit, basal dan batuan intrusi seperti andesit porfir, mikrodiorit dan diorite. Potensi bahan galian umumnya dijumpai di bagian selatan area kerja seperti di daerah Bogor dan Cianjur Utara. Sebagian bahan galian tersebut sudah ditambang baik oleh perorangan maupun badan usaha. Disamping itu batugamping Formasi Klapanunggal merupakan bahan baku yang baik untuk industri semen seperti yang diusahakan oleh PT. Indocement.

Disisi lain daerah ini juga menyimpan potensi kebencanaan yang perlu dipertimbangkan yaitu longsor dan aliran massa gaya berat terutama di daerah vulkanik seperti di Puncak Bogor. Lapisan tanah yang tebal dari lapukan batuan vulkanik serta material vulkanik yang bersifat lepas perlu diwaspadai terutama selama musim penghujan. Sebagai contoh longsor dan banjir bandang yang terjadi di daerah Ciburial, Puncak Bogor perlu diwaspadai agar tidak terulang di kemudian hari.



Gambar 4.1 Peta Geologi Inderaja Kawasan Jabodetabekpunjur

4.2 Pemetaan dan Penelitian Seismotektonik

Seismotektonik dan potensi bencana gempa bumi merupakan dua hal pokok yang saling berkaitan satu dengan lainnya. Seismotektonik membahas mengenai sumber dan kuantifikasi penyebab terjadinya bencana sedangkan bencana yang terjadi adalah merupakan produk sebagai akibatnya.

4.2.1 Seismotektonik Jabodetabekpunjur

Seismotektonik Jabodetabekpunjur adalah merupakan studi bersifat komprehensif yang menggambarkan suatu gerakan neotektonik/tektonik Kuartar yang masih berlangsung hingga masa kini yang dapat menyebabkan terjadinya gempabumi. Untuk membuat sebuah peta seismotektonik, dibutuhkan pendekatan keragaman disiplin ilmu dan ketersediaan data geologi (geomorfologi, stratigrafi - litologi, geologi struktur aktif dan kondisi tektonik terkini) dan geofisika (gayaberat regional - rinci, kegempaan, sejarah gempabumi merusak). Sebuah peta seismotektonik akan menyediakan suatu informasi dasar yang dapat dipakai oleh ahli gempabumi untuk mengevaluasi asal usul sumber gempabumi dan potensi

kebencanaannya. Peta seismotektonik dapat digunakan juga oleh ahli teknik sipil dan perencanaan untuk membuat peta risiko gempa bumi. Beberapa ketentuan mengenai peta seismotektonik adalah sebagai berikut :

- Peta seismotektonik adalah sebuah peta yang menggambarkan kondisi seismogenetik dengan tujuan menganalisis potensi risiko gempa bumi untuk mitigasi risiko gempa bumi.
- Peta seismotektonik menggambarkan hubungan tektonik dan struktur geologi dan kegempaan suatu daerah sehingga dapat memberikan informasi dasar kondisi dan sejarah tektonik terkini dan keberadaan kegempaan yang tercakup di dalam wilayah peta.
- Informasi dalam peta seismotektonik memiliki sedikit interpretasi, jelas dan relatif simpel, dan isinya dapat dimengerti oleh yang bukan spesialisasinya.
- Peta seismotektonik bukanlah merupakan Peta Resiko Gempabumi.
- Kerincian tingkat aktivitas tektonik terkini dengan nilai informasi yang diberikan akan dibedakan pada skala peta seismotektonik yang dihasilkan.
- Deformasi dalam peta seismotektonik menampilkan perubahan bentuk tubuh batuan (formasi batuan) akibat tekanan/gaya masa lalu dan masa kini.
- Neotektonik dalam peta seismotektonik dapat memberikan informasi tektonik yang terjadi pada kurun waktu Miosen Atas – Resen.
- Mekanisme fokal yang tergambar dalam peta seismotektonik merupakan gambaran mekanisme gerak patahan di pusat gempa bumi yang menggambarkan kondisi seismogenetik sebagai asal usul kejadian gempabumi.
- Zonasi dalam peta seismotektonik adalah pembagian wilayah berdasarkan kesamaan kondisi seismogenetik.
- Informasi yang diberikan peta seismotektonik diharapkan memberikan informasi dasar untuk keperluan penilaian potensi bencana gempa bumi dalam penilaian risiko yang dapat terjadi untuk evaluasi tapak pengembangan wilayah dan penataan ruang.

Peta seismotektonik terdiri dari tiga tingkatan :

Tingkat I, bersifat regional/nasional, berskala 1 : 1.000.000 – 1 : 5.000.000

Tingkat II, bersifat semi regional, berskala 1 : 500.000

Tingkat III, bersifat lokal, berskala 1 : 100.000 – 1 : 50.000

Definisi dan ketentuan – ketentuan dalam keseismotektonikan tersebut diatas sesuai dengan *Report of Working Group on Seismotectonic Maps (European Seismological Commission/E.S.C, 1987* dan ketentuan- ketentuan dalam penyusunan peta seismotektonik sesuai SNI 13-5013-1998.

Pemetaan dan penelitian Seismotektonik Jabodetabekpunjur dan sekitarnya berskala 1 : 100.000, dilakukan mengacu pada kondisi geologi, tektonik dan struktur geologi pada peta geologi lembar Jakarta dan Kepulauan Seribu, lembar Bogor, lembar Cianjur dan lembar Karawang berskala 1 : 100.000 (Puslibang Geologi/Pusat Survei Geologi,1992, 1998, 1972 dan 1992). Selain peta-peta dasar tersebut peta seismotektonik juga mengacu pada potensi kegempaan wilayah berupa sebaran pusat-pusat gempa bumi dan intensitas kegempaan yang pernah terjadi. Peta seismotektonik Jabodetabekpunjur dan sekitarnya yang dihasilkan dalam kegiatan ini lebih ditekankan pada analisis neotektonik patahan aktif dan potensial aktif serta kegempaan bersifat lokal, yang berasosiasi dengan patahan-patahan aktif yang berada di daerah pemetaan dan penelitian.

Demensi seismotektonik patahan aktif dan potensial aktif hasil pemetaan dan penelitian ini dihitung menggunakan pendekatan dari rumus – rumus imperis yang dibuat dari hasil – hasil penelitian Wells and Coppersmith (1994) dan Papazachos B.C drr (2004).

Dalam pemetaan dan penelitian seismotektonik Jabodetabekpunjur dan sekitarnya ini dapat ditentukan keberadaan patahan-patahan aktif dan patahan-patahan potensial aktif yang berbasis pada karakteristik geomorfologi (morfogenesis dan morfometri), neotektonik, gayaberat, geomagnetik, Seismik dan kegempaan. Patahan-patahan aktif tersebut diatas adalah sebagai berikut:

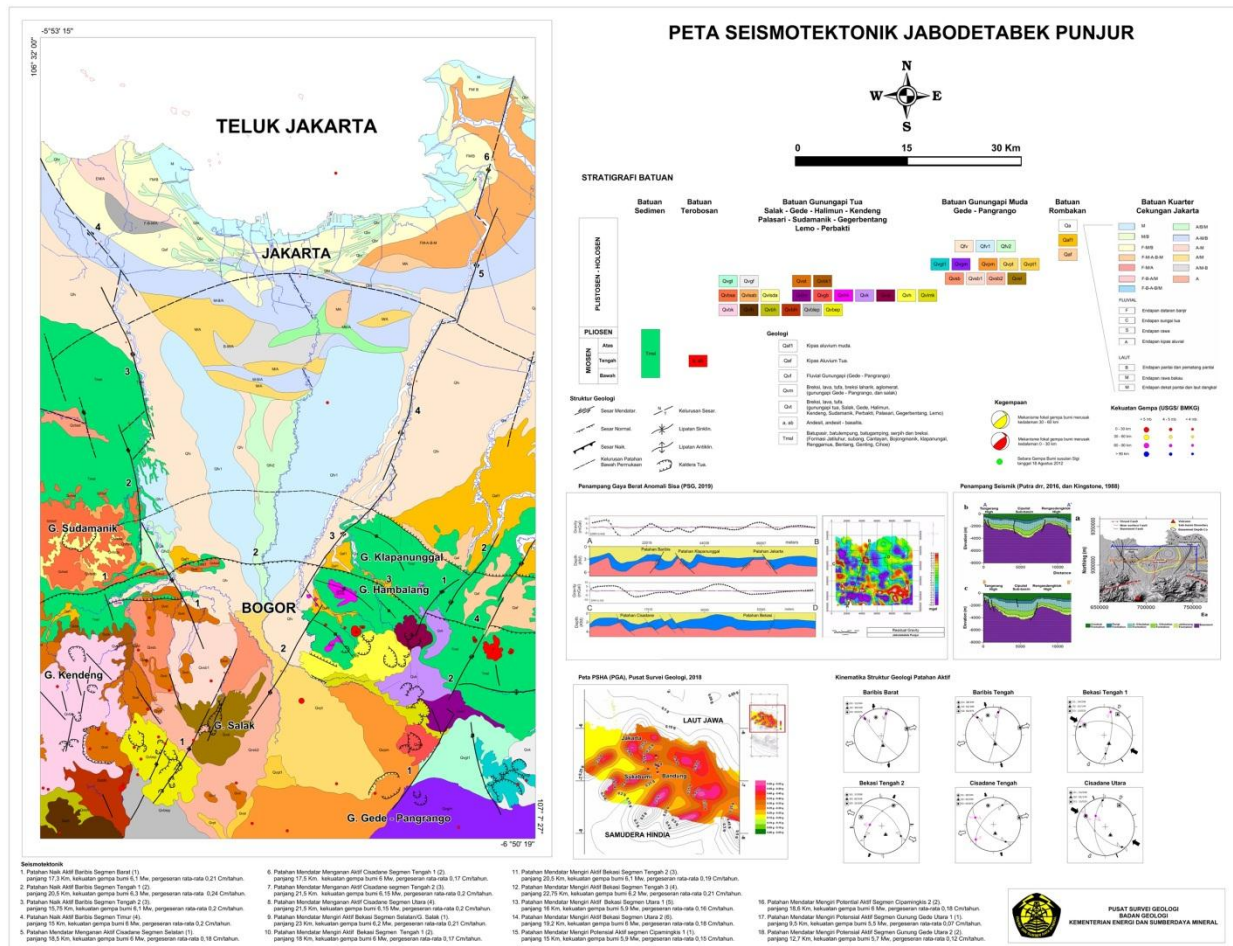
1. Patahan Naik Aktif Baribis Segmen Barat (1) mempunyai panjang 17,3 Km, kekuatan gempa bumi 6,1 Mw, pergeseran rata-rata 0,21Cm/tahun.
2. Patahan Naik Aktif Baribis Segmen Tengah 1 (2), mempunyai panjang 20,5 Km, kekuatan gempa bumi 6,3 Mw, pergeseran rata-rata 0,24 Cm/tahun.
3. Patahan Naik Aktif Baribis Segmen Tengah 2 (3), mempunyai panjang 15,75 Km, kekuatan gempa bumi 6,1 Mw, pergeseran rata-rata 0,20 Cm/tahun.
4. Patahan Naik Aktif Baribis Segmen Timur (4), mempunyai panjang 15 Km, kekuatan gempa bumi 6 Mw, pergeseran rata-rata 0,20 Cm/tahun
5. Patahan Mendatar Menganan Aktif Cisadane Segmen Selatan (1), mempunyai panjang 18,5 Km, kekuatan gempa bumi 5,4 Mw, pergeseran rata-rata 0,18 Cm/tahun.
6. Patahan Mendatar Menganan Aktif Cisadane Segmen Tengah 1 (2), mempunyai panjang 17,5 Km. kekuatan gempa bumi 6 Mw, pergeseran rata-rata 0,17 Cm/tahun.
7. Patahan Mendatar Menganan Aktif Cisadane segmen Tengah 2 (3), mempunyai panjang 21,5 Km. kekuatan gempa bumi 6,15 Mw, pergeseran rata-rata 0,20 Cm/tahun.

8. Patahan Mendatar Menganan Aktif Cisadane Segmen Utara (4), mempunyai panjang 21,5 Km, kekuatan gempa bumi 6,15 Mw, pergeseran rata-rata 0,20 Cm/tahun.
9. Patahan Mendatar Mengiri Aktif Bekasi Segmen Selatan/G. Salak (1), mempunyai panjang 23 Km, kekuatan gempa bumi 6,2 Mw, pergeseran rata-rata 0,21 Cm/tahun.
10. Patahan Mendatar Mengiri Aktif Bekasi Segmen Tengah 1 (2), mempunyai panjang 18 Km, kekuatan gempa bumi 6 Mw, pergeseran rata-rata 0,17 Cm/tahun.
11. Patahan Mendatar Mengiri Aktif Bekasi Segmen Tengah 2 (3), mempunyai panjang 20,5 Km, kekuatan gempa bumi 6,1 Mw, pergeseran rata-rata 0,19 Cm/tahun.
12. Patahan Mendatar Mengiri Aktif Bekasi Segmen Tengah 3 (4), mempunyai panjang 22,75 Km, kekuatan gempa bumi 6,2 Mw, pergeseran rata-rata 0,21 Cm/tahun.
13. Patahan Mendatar Mengiri Aktif Bekasi Segmen Utara 1 (5), mempunyai panjang 16 Km, kekuatan gempa bumi 5,9 Mw, pergeseran rata-rata 0,16 Cm/tahun.
14. Patahan Mendatar Mengiri Aktif Bekasi Segmen Utara 2 (6), mempunyai panjang 19,2 Km, kekuatan gempa bumi 6 Mw, pergeseran rata-rata 0,18 Cm/tahun.
15. Patahan Mendatar Mengiri Potensial Aktif segmen Cipamingkis 1 (1), mempunyai panjang 15 Km, kekuatan gempa bumi 5,9 Mw, pergeseran rata-rata 0,15 Cm/tahun.
16. Patahan Mendatar Mengiri Potential Aktif Segmen Cipamingkis 2 (2), mempunyai panjang 18,6 Km, kekuatan gempa bumi 6 Mw, pergeseran rata-rata 0,18 Cm/tahun.
17. Patahan Mendatar Mengiri Potensial Aktif Segmen Gunung Gede Utara 1 (1), mempunyai panjang 9,5Km, kekuatan gempa bumi 5,5 Mw, pergeseran rata-rata 0,07 Cm/tahun.
18. Patahan Mendatar Mengiri Potensial Aktif Segmen Gunung Gede Utara 2 (2), mempunyai panjang 12,7 Km, kekuatan gempa bumi 5,7 Mw, pergeseran rata-rata 0,12 Cm/tahun.

Seperti telah dikemukakan diatas, bahwasanya peta seismotektonik bukanlah merupakan peta risiko bencana gempa bumi dan ikutannya, melainkan memberikan gambaran mengenai potensi bencana gempa bumi dan ikutannya yang dapat digunakan untuk analisis potensi risiko gempa bumi dan ikutannya untuk tujuan mitigasi.

Dimensi seismotektonik yang telah ditentukan di dalam peta seismotektonik tersebut diatas adalah merupakan potensi bencana gempa bumi yang dicerminkan oleh panjang patahan (Km), kekuatan gempa bumi (Mw) dan pergeseran rata-rata (Cm/tahun). Selain besaran potensi secara kuantitatif tersebut diatas, juga dapat telah di deliniasi daerah – daerah potensi bencana ikutan gerakan tanah dan letusan Gunungapi Galunggung pada saat dan

sesudah terjadi gempa bumi kuat di Jabodetabekpunjur dan sekitarnya. Zonasi potensi kerentanan bencana ikutan gerakan tanah dan bencana gunungapi dapat dilihat dalam peta seismotektonik.



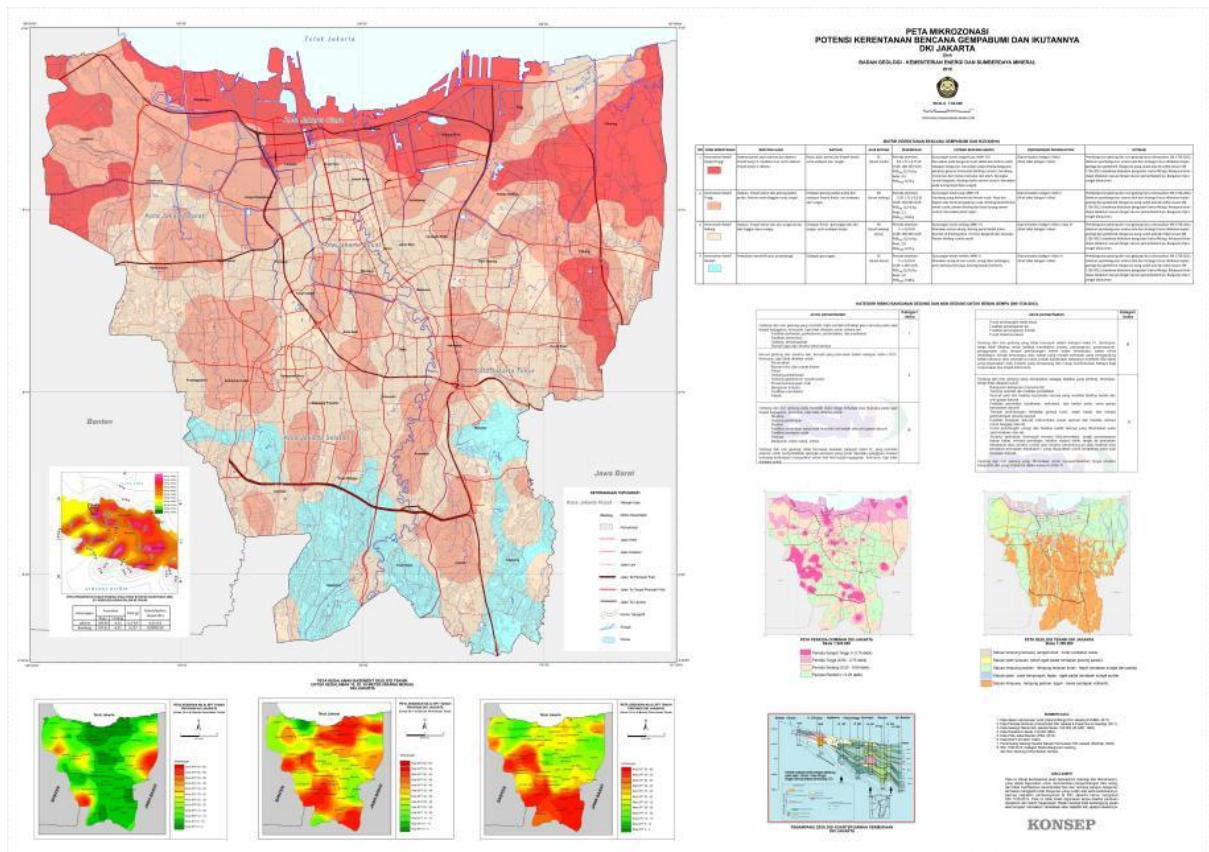
Gambar 4.2 Peta Seismotektonik Kawasan Jabodetabekpunjur

4.2.2 Potensi Bencana Gempabumi

Potensi bencana gempa bumi yang dapat terjadi di daerah Jabodetabekpunjur antara lain guncangan tanah, patahan gempa bumi, gerakan tanah (longsor), retakan tanah, liquifaksi dan tsunami. Potensi guncangan tanah direfleksikan oleh nilai percepatan gempa bumi dalam satuan gal atau cm/detik^2 . Nilai percepatan tanah probabilistic telah dibahas dalam Bab Geofisika Kegempaan. Besar kecilnya nilai percepatan gempa bumi di suatu daerah atau wilayah merupakan nilai kuantitatif potensi bencana sebagai penyebab terjadinya risiko gempa bumi. Hasil analisis bencana gempa bumi probabilistik (PSHA), menunjukkan daerah Jabodetabekpunjur terletak pada wilayah dengan $\text{PGA} = 0,25 - 0,45 \text{ g}$, 2% probabilistic dalam 50 tahun pada situs batuan SB. Nilai ini dapat disetarakan dengan intensitas VI – VIII

MMI. Berdasarkan kondisi tersebut diatas, dinilai bahwa potensi bencana gempa bumi dan risiko tinggi dapat terjadi di daerah yang memiliki kepadatan penduduk dan infrastruktur padat, seperti di kawasan perkotaan dan kecamatan. Besar kecilnya potensi bencana gempa bumi sangat tergantung pada kondisi geologi dekat permukaan hingga kedalaman 30 meter. Batuan yang terletak 30 meter dibawah permukaan ini disebut sebagai batuan dasar geologi teknik (*geotechnical basement*). Data dan informasi sifat fisik batuan dan tanah setempat yang berperan kuat dalam merespon getaran gempa bumi adalah ragam batuan/tanah (batuan/SA, diluvium/SB, alluvium/SC dan alluvium lunak/SD), kecepatan rambat gelombang S pada kedalaman 30 meter di bawah permukaan disebut sebagai Vs30, frekwensi atau perioda dominan batuan dan tanah, besaran geoteknik nilai N spt. Kajian mikrozonasi Kota Jakarta berdasarkan data sekunder yang dimiliki, peta mikrozonasi potensi bencana gempa bumi dan ikutannya seperti terlihat dalam Gambar 4.3.

Gerakan tanah atau longsor dapat terjadi di daerah ini diakibatkan guncangan tanah kuat pada saat terjadi gempa bumi kuat. Bencana seperti ini disebut sebagai bencana ikutan gempa bumi atau *collateral earthquake hazard*. Daerah yang sangat berpotensi terjadinya bencana ini yakni di daerah pegunungan gunungapi muda Gunung Salak dan Gede-Pangrango serta gunungapi tua seperti Salak, Gede, Kendeng, Halimun, Palasari, Lemo, Perbakti, Sudamanik, Gegerbentang, terutama di daerah sekitar kawah muda dan kawah tua gunungapi, berupa morfologi gawir melingkar atau *creater rim*. Retakan tanah dan patahan gempa bumi sangat berpotensi terjadi di sepanjang jalur patahan aktif dan daerah pedataran yang disusun oleh batuan lunak. Liquefaksi dapat terjadi pada saat guncangan tanah kuat akibat gempa bumi kuat sangat berpotensi terjadi di kawasan pantai Utara Jakarta dan sekitarnya, terutama di daerah dengan Vs30 rendah.



Gambar 4.3. Peta mikrozonasi potensi bencana gempa bumi dan ikutannya DKI Jakarta.

4.3 Kajian Morfotektonik Area Terpilih

Hasil survei lapangan dapat dibagi menjadi dua kelompok yaitu : yang pertama berupa hasil pengamatan dan pengukuran di lapangan dan yang kedua hasil pengolahan data dan interpretasi dari objek pemetaan.

4.3.1. Hasil Pengamatan Lapangan

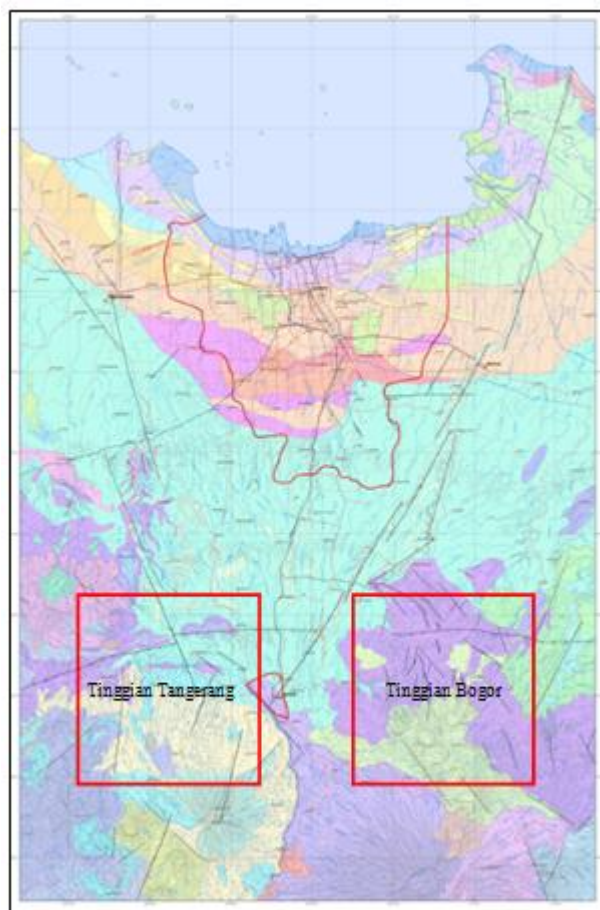
Tinggian Bogor ; dalam pengukuran terletak di bagian selatan agak tenggara kira-kira 60 – 65 km dari Ibukota Jakarta, dimana terdapat dominasi pola aliran utama Sungai Bekasi dengan kelurusan aliran sungai relatif timurlaut – baratdaya dan bermuara di Teluk Jakarta bagian timur. Secara geologi regional mengacu pada Lembar Jakarta-Bogor Skala 1:100.000, tinggian ini di domisili oleh sebaran batulempung Fm. Jatiluhur berumur Miosen Tengah sebagai batuan tertua ditemukan di wilayah ini. Kemudian batulempung Fm. Jatiluhur di tindih secara selaras oleh batugamping Fm. Klapanunggal berumur Miosen Akhir dan cukup tebal. Dan dibagian atasnya dari formasi ini terdapat endapan vulkanik muda, endapan terestrial berumur Pluiosen - Pleistosen dan endapan aluvial berumur Holosen. Umumnya vulkanik muda berupa tufa bersentuhan langsung secara tidak selaras dengan batulempung Fm. Jatiluhur maupun dengan Batugamping Fm. Klapanunggal.

Tinggian Tangerang ; pengukuran juga terdapat di bagian selatan agak mengarah baratdaya kira-kira 61 - 70 km dari Ibukota Jakarta. Lintasan pengukuran singkapan yang ditemukan sepanjang pola aliran sungai dan beberapa disepanjang transportasi. Pola aliran utama di dominasi oleh Sungai Cisadane dengan kelurusan sungai relatif utara – selatan dan bermuara di Teluk Jakarta bagian barat. Mengacu dari peta geologi regional skala 1:100.000 Lembar Jakarta – Cikarang, batuan tertua tersingkap di wilayah di Desa Ciampea yaitu Anggota batugamping Fm. Bojongmanik berumur Miosen Tengah, tebal,, meter, dan beberapa tempat ditemukan batupasir karbonatan Fm. Bojongmanik di bagian hulu sepanjang Sungai Cisadane. Fm. Bojongmanik bersentuhan secara takselaras oleh vulkanik tufa dan breksi vulkanik berumur Miosen Akhir, dan hadirnya batuan intrusi vulkanik juga menerobos Fm. Bojongmanik diperkirakan diterobos pada umur Pliosen. Endapan aliran lava bersifat breksian berumur Pleistosen hadir bersentuhan secara takselaras dengan batupasir karbonatan Fm. Bojongmanik. Dan pada batuan termuda yaitu berupa vulkanik tufa berumur Pleistosen Akhir menutupi secara tidak selaras kepada batuan yang lebih tua di bawahnya.

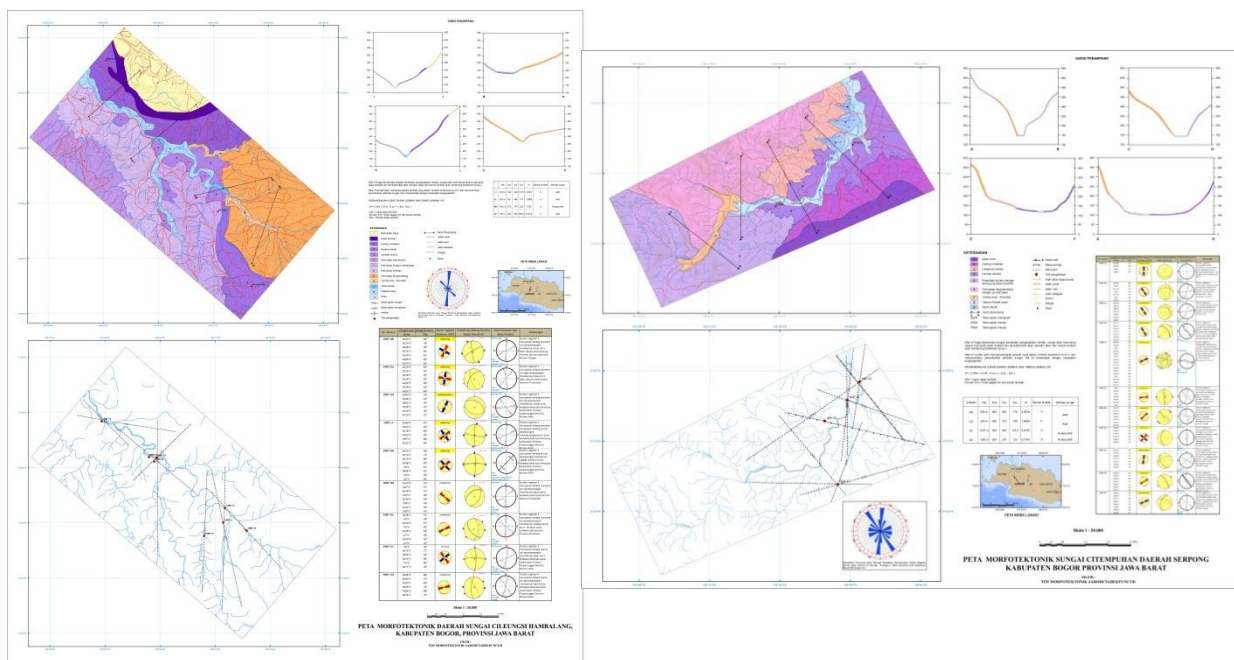
Secara Geografis Daerah Penelitian/Pemetaan Morfotektonik Jabodetabekpuncur terletak pada Koordinat : $6^{\circ} 00'$ - $6^{\circ} 45'$ LS dan $106^{\circ} 30'$ - $107^{\circ} 00'$ BT . , dan secara administratif daerah penelitian masuk dalam Tinggian Bogor dan Tinggian Tangerang.

Geomorfologi Daerah Jakarta dan Sekitarnya dapat dibagi menjadi 8 Bentuk Asal yang terdiri dari 27 Bentuk lahan. Hasil analisa Morfometri DAS, menunjukkan daerah penelitian baik Dataran Tinggi Bogor maupun Dataran Tinggi Tangerang termasuk kedalam daerah tektonik aktif. Hasil analisa Morfometri Non DAS, menunjukkan daerah penelitian baik Dataran Tinggi Bogor maupun Dataran Tinggi Tangerang termasuk kedalam daerah tektonik aktif.

Hasil analisa Struktur Geologi dijumpai adanya struktur berupa sesar normal, sesar mendatar maupun sesar naik. Hasil analisa dari Diagram Mawar Kelurusan Sesar menunjukkan yang paling dominan adalah arah Baratlaut dan Tenggara yaitu sesuai dengan Segmen Kelurusan Sesar Cisadane. Untuk dominan yang ke dua ditempati oleh arah Utara-Timurlaut dan Baratdaya-Selatan yang mana arah tersebut sesuai dengan Segmen Kelurusan Sesar Bekasi. Untuk yang ke tiga yaitu paling kecil berarah Barat dan Timur yang mana arah tersebut sesuai dengan Segmen Kelurusan Sesar Baribis.



Gambar 4.4. Daerah pengamatan lapangan di Daerah Tangerang dan di Daerah Bogor



Gambar 4.5. Peta Morfotektonik Daerah Hambalang dan Serpong

4.3.2. Kesimpulan

Secara Geografis Daerah Penelitian/Pemetaan Morfotektonik Jabodetabekpuncur terletak pada Koordinat : $6^{\circ} 00'$ - $6^{\circ} 45'$ LS dan $106^{\circ} 30'$ - $107^{\circ} 00'$ BT . , dan secara administratif daerah penelitian masuk dalam Tinggian Bogor dan Tinggian Tangerang.

Geomorfologi Daerah Jakarta dan Sekitarnya dapat dibagi menjadi 8 Bentuk Asal yang terdiri dari 27 Bentuklahan.

Hasil analisa Morfometri DAS, menunjukkan daerah penelitian baik Dataran Tinggi Bogor maupun Dataran Tinggi Tangerang termasuk kedalam daerah tektonik aktif

Hasil analisa Morfometri Non DAS, menunjukkan daerah penelitian baik Dataran Tinggi Bogor maupun Dataran Tinggi Tangerang termasuk kedalam daerah tektonik aktif.

Hasil analisa Struktur Geologi dijumpai adanya struktur berupa sesar normal, sesar mendatar maupun sesar naik.

Hasil analisa dari Diagram Mawar Kelurusan Sesar menunjukkan yang paling dominan adalah arah Baratlaut dan Tenggara yaitu sesuai dengan Segmen Kelurusan Sesar Cisadane. Untuk dominan yang ke dua ditempati oleh arah Utara-Timurlaut dan Baratdaya-Selatan yang mana arah tersebut sesuai dengan Segmen Kelurusan Sesar Bekasi. Untuk yang ke tiga yaitu paling kecil berarah Barat dan Timur yang mana arah tersebut sesuai dengan Segmen Kelurusan Sesar Baribis.

4.4 Kajian Stratigrafi dan Fasies Kuartar

4.4.1. Lintasan dan Lokasi Pengamatan

Pemilihan lintasan dan lokasi pengeboran adalah mengacu kepada ketersediaan *coring* di Balai Konservasi Air Tanah, yang sudah di bor oleh Pusat Air Tanah dan Geologi Tata Lingkungan dan Distamben Provinsi DKI Jakarta. Pada kegiatan penelitian ini mendeskripsi serta menganalisa sebanyak 8 (delapan) titik bor dengan totak kedalaman 1680 m pada daerah Glodok, Pesanggrahan, Pulo Gebang, Rawa Badak Universitas Satyagama Kamal, Pasar Minggu, Jalan Pramuka, dan Jalan Ahmad Yani yang mewakili daerah pedataran selatan Jakarta hingga pesisir pantai dengan rincian 5 *coring* sedalam 300 m dan 3 *coring* sedalam 60 m (Gambar 4.7).



Gambar 4.7. Lokasi Pemboran Yang Telah Dideskripsi dan Dianalisa

Dari 8 *Coring* yang sudah dideskripsi dibuat 2 lintasan barat-timur dan 1 lintasan utara-selatan dengan tujuan agar memahami karakteristik cekungan Jakarta keseluruhan. Adapun lintasan yang dibuat adalah sebagai berikut :

1. Rangkaian Stratigrafi A-B berarah barat-timur dengan lokasi dari barat hingga timur yaitu: Univ Satyagama Kamal, Glodok, dan Pulo Gebang Cakung.
2. Rangkaian Stratigrafi B – C berarah utara –selatan dengan lokasi dari utara hingga selatan yaitu: Rawa Badak, Glodok, dan Pasar Minggu.
3. Rangkaian Stratigrafi E-F berarah barat-timur dengan lokasi dari barat hingga utara yaitu: Pessangrahan, Jalan Pramuka, dan Jalan Ahmad Yani.

4.4.2. Litologi

Litologinya yang menyusun sedimen kuartar di lokasi penelitian umumnya masih *uncosolidated*, bersifat urai, lepas dan pejal. Pada beberapa interval terdapat sedimen yang sudah bersifat teguh dan padat. Kondisi umum di setiap lokasi pemboran dapat diuraikan litologinya yang terdiri dari, perselingan lanau dan pasir, perselingan lanau dan lempung, lanau, pasir koral yang mengandung moluska, gambut lempungan hingga lempung gambutan, pasir, perselingan lempung dan pasir, lempung, dan lempung tufan, pasir tufaan, tuf dan koral berikut cangkang laut lainnya. Secara sepintas komposisi litologi daerah penelitian relatif kompleks, sistem klastik halus dari sedimen laut dan sistem darat cukup menonjol dibanding sistem transisi. Oleh karena itu, fasies lingkungan pendapan yang terdapat dalam sistem-

sistem tersebut juga cukup bervariasi seperti perubahan warna, butiran, kandungan flora dan fauna, derajat kebundaran, tingkat pelapukan dan sebagainya. Komposisi litologi demikian pada dasarnya dapat dibedakan menjadi fraksi endapan klastik berbutir kasar (pasir) dan halus (lempung, lanau, dan lempung dengan sedikit kandungan humus) dan tidak diketemukan lapisan gambut yang selanjutnya ditutupi oleh *soil* atau urugan. *Soil* sebagai tanah penutup berukuran lempung, lanau, pasir, berwarna coklat sampai kelabu, oksida besi dan mengandung akar-akar tanaman.

4.4.3 Fasies dan Lingkungan Pengendapan

Berdasarkan data geologi bawah permukaan yang berasal dari log bor, sedimen Kuartar di daerah penelitian dapat dibedakan menjadi fraksi endapan klastika berbutir kasar (pasir) dan halus (lempung, lanau, dan lempung berhumus/ bergambut). Komposisi sedimen klastika tersebut tidak homogen karena terbentuk dari percampuran ukuran butir, seperti: pasir lempung, lempung lanauan berpasir, pasir lempungan dan sebagainya yang merupakan ciri khas dalam sedimen yang belum terkonsolidasikan (*unconsolidated sediments*). Bagian atas fasies tersebut pada umumnya ditutupi oleh *soil*. *Soil* sebagai tanah penutup berukuran lempung, pasir-lempung berwarna coklat kotor, sisa-sisa keramik dan sampah plastik, batu, kerikil, warna abu-abu kecoklatan, kompak, agak *friable* (mudah diremas), mengandung karbon, oksida besi (Fe), lempung-lanauan bereaksi dengan HCl-Karbonatan yang kemungkinan besar merupakan tanah urugan.

Energi yang membentuk litologi sedimen Kuartar tersebut di atas, pada hakekatnya diperankan oleh energi aliran yang berasal dari alur sungai seperti arus traksi dan suspensi. Kerja arus suspensi bagian bawah yang umumnya laminar sering dijumpai, akan tetapi sistem arus traksi yang menyeret muatan tidak diketemukan. Selain itu, energi yang berasal dari laut seperti arus gelombang dan suspensi umum dijumpai yang bekerja di bagian wilayah pasang surut hingga lepas pantai. Selain itu, energi aliran yang hampir-hampir tidak mengalir membentuk wilayah genangan juga dijumpai walaupun relatif tidak sedominan sistem yang dibentuk oleh darat dan laut. Kejadian-kejadian dari erupsi gunungapi juga terlihat dengan diketemukannya Tuf. Seluruhnya itu tercermin dari komposisi setiap litologi yang terkait dengan lingkungan pengendapannya.

Berdasarkan ciri litologi yang menyusun sedimen Kuartar di daerah penelitian, selanjutnya bisa dibedakan menjadi endapan-endapan yang berasal dari sistem darat yaitu: Endapan Alur Sungai, Endapan Cekungan Banjir, Endapan Limpah Banjir, Endapan Rawa, dan juga, Erupsi Gunungapi. Dari sistem transisi yang terdapat di daerah penelitian hanya terdapat Endapan Rawa Bakau yang umumnya penyebarannya relatif jarang. Sedangkan

fasies klastika linier yang berasosiasi dengan lingkungan laut, dibedakan menjadi endapan-endapan diantaranya Endapan Pantai, Endapan Tidal, Endapan Laut Dekat Pantai dan Endapan Laut Lepas Pantai.

Adapun ciri fasies pengendapan tersebut dapat diuraikan, sebagai berikut :

- **Fasies Endapan Darat (*Onland Deposits*)**

Fasies endapan darat (*onland deposits*) dibedakan menjadi endapan alur sungai (*palaeochannel deposits*) dan endapan cekungan banjir (*floodbasin deposits*). Fasies alur sungai dicirikan oleh kerakal/ kerikil sampai pasir sangat halus; berwarna abu-abu, abu-abu kuning kecoklatan, coklat-kuning; membulat tanggung sampai menyudut; mengandung fragmen kuarsa, pecahan batuan dan material vulkanik serta sedikit felspar; umumnya pemisahan butiran sempurna serta mengandung sisa-tumbuhan pada pasir berbutir sangat halus. Fasies endapan cekungan banjir terutama diisi oleh material jatuhnya erupsi gunungapi berupa tuf halus – kasar, berwarna merah – merah kecoklatan, agak padat sampai padat dan umumnya tidak terkonsolidasi secara baik. Perkembangan endapan limpah banjir (*floodplain deposits*) di cekungan banjir ini ditandai oleh: butiran lempung, pasir dan pasir lempungan; agak pejal dan kadang-kadang mengandung sisa tumbuhan; dan perulangan lapisan tipis pasir halus di dalam fraksi lempung. Endapan rawa yang dijumpai dicirikan oleh fraksi lempung lanauan, berwarna abu-abu kehitaman sampai hitam kecoklatan; berhumus dan mengandung sisa-sisa tumbuhan yang berlimpah serta lunak. Selain itu, dari hasil pemboran yang dilakukan di sekitar waduk Sunter menunjukkan bahwa lingkungan pengendapannya adalah danau. Dikarenakan data tersebut bersifat lokal, maka tidak digunakan dan diuraikan dalam korelasi lebih lanjut.

- **Fasies endapan transisi (*transition deposits*)**

Fasies endapan transisi (*transition deposits*) di beberapa tempat berkembang fasies transisi seperti endapan rawabakau (*marsh deposits*). Juga ditemukan endapan pasang-surut (*tidal deposits*) berskala kecil. Secara umum, fasies rawabakau ini tersusun dari lempung, lempung lanauan, lempung humusan, lempung gambutan, gambut dan humus tipis; berwarna hitam sampai coklat kehitaman; lunak dengan kandungan kebasahan tinggi; mengandung sisa tumbuhan yang berlimpah dan batang/ daun bakau.

- **Fasies endapan linierklastika (*linierclastic deposits*)**

Endapan ini dibedakan menjadi endapan-endapan: pantai atau pematang pantai (*beach – beachridge deposits*), laut dekat pantai (*nearshore deposits*) dan laut lepas pantai (*offshore deposits*). Fasies ini umumnya berupa lapisan lunak lempung (*fine-grains*) dan pasir (*coarse-*

grains). Pasir berukuran halus sampai kasar, berwarna abu-abu kekuningan hingga coklat kehitaman. Umumnya bersusunan butir kuarsa, membulat baik sampai menyudut tanggung, kadang-kadang mengandung fragmen/ material batuan vulkanik dan cangkang kerang. Fasies ini diinterpretasikan sebagai endapan pantai - pematang pantai. Butiran halus seperti lanau, lanau pasiran dan pasir lanauan berlempung; lengket dan lunak sampai sangat lunak; bewarna abu-abu kehijauan hingga hijau; mengandung *foraminifera* dan cangkang kerang. Diinterpretasikan sebagai endapan laut dekat pantai. Dengan komposisi litologi yang hampir sama akan tetapi ukuran butir berbeda yaitu lempung dan lempung pasiran dengan kandungan *foraminifera* yang berlimpah berwarna dominan hijau sampai hijau kebiruan, diduga sebagai endapan laut lepas pantai.

4.4.4. Stratigrafi

Endapan kuarter pada dasarnya merupakan endapan sedimen yang belum terkonsolidasi dan berbicara dengan skala waktu yang sangat singkat jika dibandingkan dengan periode umur seperti tersier dan pra-tersier sehingga konsep Litofasies sangat sulit diterapkan untuk mengetahui dinamika pada cekungan Kuarter khususnya Jakarta. Moechtar (1994) menyatakan bahwa rangkaian rangkaian asal-usul pembentukan batuan sedimen dapat diyakini merupakan suatu rekaman peristiwa bumi yang terjadi secara teratur pada kurun waktu geologi. Atau dapat juga disebut sebagai suatu proses dan rangkaian siklus kejadian yang terbentuk secara teratur. Dilandasi oleh pemikiran dan fakta-fakta tersebut diatas maka, penelitian Cekungan Jakarta ini menggunakan konsep stratigrafi yang kurun waktunya lebih kecil dari konsep Sekuen Stratigrafi agar bisa menjawab dinamika yang terjadi selama proses pembentukan Cekungan Jakarta. Studi Siklus Sekuen Stratigrafi sudah dipopulerkan oleh Perlmutter & Matthews (1989), menghasilkan pola siklus pengendapan yang dihasilkan oleh perubahan iklim dan tektonik yang dijabarkan kedalam kurva siklus Milakovitch. Plink dkk (1992) menyatakan bahwa ada 5 (lima) ordo dari siklus perubahan muka laut berkaitan dengan sekuenstratigrafi, yaitu ordo 1 (200 – 400 juta tahun), ordo 2 (10 – 100 juta tahun), ordo 3 (1 – 10 juta tahun), ordo 4 (500.000 – 200.000 tahun) dan ordo 5 (200.000 – 10.000 tahun). Pada penelitian cekungan kuarter Jakarta ini digunakan konsep Siklus Sekuen Stratigrafi pada ordo 5 yaitu menganalisis setiap kejadian setiap 20.000 tahun untuk menjawab keterbentukan cekungan Jakarta khususnya terhadap faktor Eksternal. Walker and James (199) menyebutkan faktor eksternal yang mempengaruhi pembentukan suatu cekungan adalah Tektonik, Perubahan Muka Air Laut, Perubahan Iklim, serta Erupsi Gunungapi.

Batas stratigrafi atau susunan lapisan antara batuan/endapan berumur Kuarter dan Tersier dibawah permukaan tidak dapat secara tegas ditelusuri dikarenakan hasil pemboran-

pemboran hingga 300m tidak ada yang menyampai *basement* daripada Cekungan Kuarter Jakarta. Moechtar (2015) menyebutkan bahwa fasies linear klastika pada jaman Kuarter dan Tersier dicirikan oleh turun-naiknya muka laut. Namun, pada Tersier cekungannya lebih dalam dengan diketemukannya batugamping. Oleh karena itu, kriteria pembeda antara sedimen Kuarter dan Tersier di cekungan Jakarta diakibatkan oleh turunnya muka laut pada akhir Pliosen. Pemisahan batuan atau endapan sedimen berumur tersier dan kuarter bukan disebabkan oleh hilangnya lapisan atau ketidakselarasan melainkan terhentinya proses pengendapan akibat turunnya muka laut secara drastis sebagai faktor penyebab utamanya. Fasies batuan tersier yang mengalasi pengendapan Kuarter ini diduga termasuk kedalam Formasi Bojongmanik. Adapun, endapan kuarter pada cekungan Jakarta dicirikan oleh interaksi endapan darat dan laut mulai dari fasies pantai hingga laut lepas pantai. Tingginya pasokan material hasil dari erupsi gunungapi, erosi permukaan alur sungai, genang dan susutnya muka laut merupakan karakteristik yang terbentuk dari rangkaian fasies endapan di Cekungan Jakarta. Telah terjadinya mekanisme dan proses pengendapan disaat muka laut rendah dan tinggi lalu diikuti dengan kejadian muka laut kembali rendah. Indikasi fasies endapan darat lebih terfokuskan pada puncak berkembangnya alur sungai pada interval tertentu termasuk aktifitas dari erupsi gunungapi.

Dari 8 lokasi pemboran tersebut diatas, dibuat lintasan yang selanjutnya dirangkaikan atau dikorelasikan menjadi 3 (tiga) lintasan penampang atau rangkaian stratigrafi, yaitu:

1. Rangkaian Stratigrafi A-B berarah barat-timur dengan lokasi dari barat hingga timur yaitu: Univ Satyagama Kamal, Glodok, dan Pulo Gebang Cakung.
2. Rangkaian Stratigrafi B – C berarah utara –selatan dengan lokasi dari utara hingga selatan yaitu: Rawa Badak, Glodok, dan Pasar Minggu.
3. Rangkaian Stratigrafi E-F berarah barat-timur dengan lokasi dari barat hingga utara yaitu: Pessangrahan, Jalan Pramuka, dan Jalan Ahmad Yani.

Didasari korelasi dan hubungan antar generasi elemen sistem fasies pengendapan maka, beberapa indikator yang berhubungan dengan dinamika proses pengendapannya dapat ditelusuri.

Secara umum dari 3 (tiga) rangkaian Stratigrafi, terdapat 19 siklus 20.000 tahunan (Siklus A-T) dan setiap siklus terdapat 3 sub siklus (1-3) yang dikontrol oleh faktor eksternal seperti perubahan iklim dan fluktuasi muka laut yang artinya umur cekungan Jakarta pada kedalaman 300m berkisar pada 378.000 tahun yang lalu. Hasil dari pemboran sedalam 300m tidak ditemukan basement dari Cekungan Kuarter ini artinya umur Cekungan Jakarta lebih dari kisaran tersebut.

Pada sistem laut tercermin siklus yang disebabkan oleh fluktuasi muka air laut. Setiap sub siklus yang dikontrol oleh fluktuasi muka air laut terjadi Muka laut minimum menuju maksimum (transgresi) pada sub-siklus 1 lalu puncak muka air laut pada sub-siklus 2 dan air laut kembali turun (regresi) pada sub-siklus 3. Pada sistem darat yang mayoritas merupakan *fluvial system* dapat tercermin *paleoclimate* yang pada sub-siklus 1 kelembaban minimum menuju optimum atau *dry* menuju *humid* lalu, pada sub-siklus 2 kelembaban optimum (*humid*), dan kelembaban optimum menuju minimum (*humid* menuju *dry*). Atau dengan kata lain, ciri yang paling mudah terlihat adalah berkembang dan menyusutnya sungai purba seperti contohnya sub-siklus 1 sungai mulai berkembang, sub-siklus 2 merupakan puncak dari meluasnya sistem alur sungai dan sub-siklus 3 sungai mengalami penyusutan.

Tabel 4.1. Pembagian Siklus dan Sub-siklus Berdasarkan Perubahan Iklim dan Fluktuasi Muka Laut di Cekungan Jakarta

SIKLUS	SUB-SIKLUS	PERUBAHAN IKLIM	FLUKTUASI MUKA LAUT
A-T	3	KELEMBAPAN MINIMUM (HUMID - DRY)	MUKA LAUT RENDAH (MINIMUM SEA-LEVEL) REGRESI
	2	KELEMBAPAN OPTIMUM (HUMID)	MUKA LAUT TINGGI (MAKSIMUM SEALEVEL) HIGH SEA LEVEL
	1	KELEMBAPAN MINIMUM (DRY - HUMID)	MUKA LAUT RENDAH (MINIMUM SEA LEVEL) TRANSGRESI

Proses sedimentasi merupakan proses yang kejadiannya berangsur namun, di beberapa tempat ada yang mengalami perubahan lingkungan secara tiba-tiba yang lebih lanjut dapat dijelaskan setiap kejadiannya pada sub-bab rangkaian stratigrafi. Peristiwa-peristiwa tersebut merupakan pengaruh dari sesar naik berarah barat-timur yang menyebabkan di selatan Jakarta yang menyebabkan cekungan Kuarter Jakarta mengalami penurunan (Moechtar, 1994) dan juga pengaruh dari *strike-slip* berarah utara-selatan pada barat, tengah, dan timur pada cekungan Jakarta. Lebih lanjut analisa tektonik dan kontrol stuktur Geologi secara regional dijelaskan pada bab selanjutnya.

Secara umum terdapat 10 (sepuluh) kejadian yang terekam dari hasil korelasi Stratigrafi yang tercermin dari lingkungan darat, transisi, dan laut.

1. Lingkungan Darat

- Bergesernya alur sungai (*shifting*) dan menyusutnya alur sungai (*stacking*) disaat kelembapan Optimum. Peristiwa tersebut mengindikasikan bahwa telah terjadinya tektonik.
- Puncak berkembangnya alur sungai pada interval tengah yang bagian atas dan bawahnya menyusut, termasuk berkembang dan menyusutnya lingkungan darat. Efek perubahan iklim mengikuti siklus terekam pada peristiwa tersebut
- Erupsi Gunungapi terkait korelasinya dengan lingkungan darat.
- Lingkungan darat ditutupi lingkungan laut yang akhirnya ditutupi kembali lingkungan darat. Peristiwa tersebut identik dengan muka laut maksimum setara dengan kelembapan optimum - (IGS) Kaitannya iklim dengan turun naiknya muka laut
- Lingkungan limpah banjir ditutupi cekungan banjir yang seolah - olah terangkat selanjutnya ditutupi oleh lingkungan rawa, atau perulangan lingkungan rawa dan limpah banjir. Peristiwa itu dapat dijadikan gambaran bahwa telah terjadinya tektonik.
- Perulangan lingkungan antar lingkungan darat.

2. Lingkungan Transisi

- Wilayah tempat berkembangnya tumbuhan bakau yang dipengaruhi pasang surut umumnya sebagai indikasi permukaan turun atau subsidence atau tidak stabil . Peristiwa tersebut berkaitan erat dengan kejadian tektonik.

3. Lingkungan Laut

- Kejadian siklus yang mengikitu genang dan susut laut - fluktuasi muka laut Global - (GS)
- Lingkungan pasang surut cenderung mengindikasikan dasar cekungan bergerak naik turun atau tidak stabil. Hal tersebut mengindikasikan terjadinya tektonik secara regional
- Muka laut turun menyebabkan lingkungan laut tiba - tiba beralih menjadi lingkungan darat. Peristiwa ini berarti kecepatan penurunan atau pengangkatan lebih besar dari kecepatan naik turunnya muka laut. Hal tersebut mengindikasikan telah terjadinya tektonik.
- Muka laut naik yang menyebabkan lingkungan laut tiba - tiba menutupi lingkungan darat. Hal tersebut mengindikasikan telah terjadinya tektonik.

4.4.5. Penurunan Alami Cekungan Jakarta

Salah satu model dari konsep sekuenstratigrafi secara mudah dapat dipahami, yaitu merupakan suatu genesa pengendapan yang berhubungan dengan kumpulan sedimen di sepanjang paparan kontinen (*continental margin*) sebagai tanggapan dari berbagai fasa-fasa pada perubahan relatif muka laut (Haq, 1991). Menurut dia, interaksi tektonik regional (*subsidence/ uplift*), eustasi dan kecepatan pasokan sedimen akan menghasilkan berubahnya muka laut secara relatif.

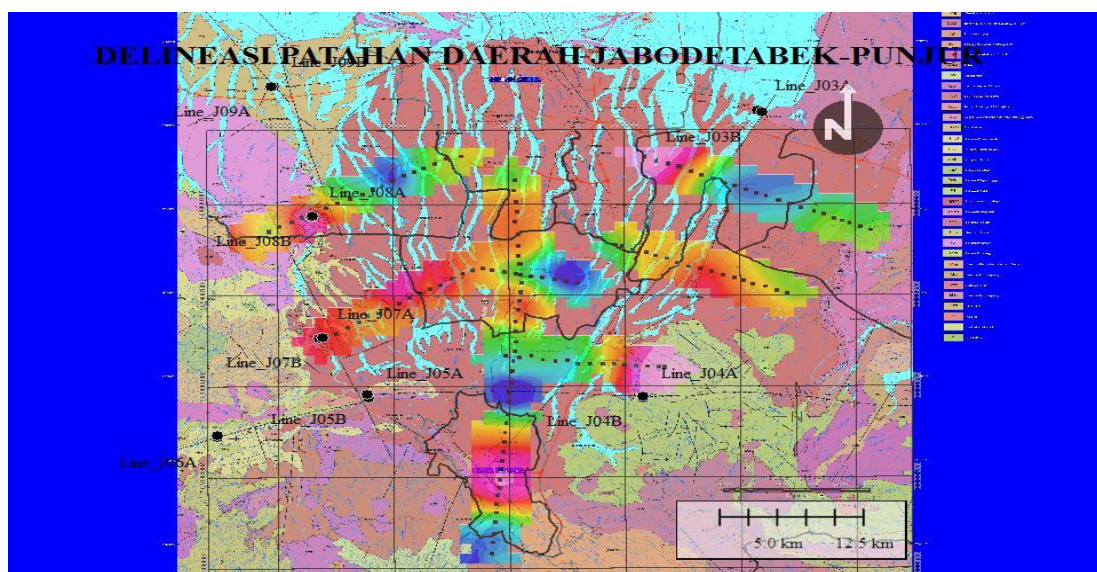
Berdasarkan manifestasi dari endapan-endapan kuartar pada Cekungan Jakarta yang terbentuk, cekungannya adalah aktif turun (*subsidence*). Penurunan tersebut diduga akibat adanya sesar naik aktif di selatan. Hal ini dibuktikan dari kumpulan lapisan-lapisannya, dimana turun-naiknya muka laut adalah berkaitan dengan naik-turunnya dasar cekungan. Pendapat tersebut sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan (Moechtar, 2004) yang menyebutkan bahwa cekungan Jakarta aktif turun yang disebabkan oleh Sesar naik aktif secara regional yang dimaksud, mungkin berada di sekitar selatan Bogor, dimana daerah tersebut merupakan zona tinggian (*axial zone*). Hubungan antara tektonik, turun-naiknya muka laut dan pasokan material yang mengisi cekungan Di saat muka laut rendah di utara diikuti oleh aktifnya sesar di selatan. Bersamaan dengan itu terjadi perombakan di selatan dan masuk ke cekungan. Secara perlahan cekungan turun dan diikuti oleh naiknya muka laut. Proses selanjutnya, seiring dengan penurunan kondisi muka laut tinggi hingga mencapai maksimum. Kondisi ini adalah merupakan bagian tengah dari setiap rangkaian fasies endapan yang terbentuk dimana intensitas tektonik menurun hingga ke kondisi minimum, maka secara perlahan zona tinggian menjadi turun. Akibatnya, dasar cekungan pada zona penurunan akan mengalami pembubungan (naik) kembali, yang diikuti oleh turunnya permukaan laut.

Pada penelitian ini, Cekungan Jakarta mengalami penurunan alami yang diakibatkan oleh gaya vertikal di selatan dan gaya mendatar di utara dengan kisaran penurunan 0,06-0,10 cm/tahun. Terdapat 2 *event* pendalaman cekungan yaitu pendalaman cekungan yang diduga bersifat regional yang disebabkan oleh gerak vertikal (*uplifting*) berarah barat-timur yang menyebabkan penurunan (*subsidence*) dan pendalaman cekungan yang diduga bersifat lokal yang disebabkan oleh gerak mendatar (*strike slip fault*) berarah utara-selatan. Efek tektonik lokal menyebabkan cekungan Jakarta ini terbentuk cekungan miring (*stepping basin*). Berdasarkan uraian diatas maka kecepatan penurunan alami cekungan Jakarta berdasarkan 8 titik pemboran terbagi menjadi 2 zona yaitu zona dengan rate penurunan $<0,075$ cm/tahun dan $>0,075$ cm/tahun.

4.5. Kajian Geofisika Bawah Permukaan (Gayaberat dan Geolistrik)

4.5.1. Lokasi Penyelidikan

Lokasi penyelidikan Geofisika bawah permukaan di daerah JABODETABEK-PUNJUR dibatasi dengan koordinat -5.99° LS dan 106.5° BT sampai dengan -6.78° LS dan 107.14° BT. Daerah target penyelidikan dibatasi pada tiga zona sesar, yaitu zona Sesar Baribis, Sesar Cisadane dan Sesar Bekasi. Lokasi lintasan kajian Gayaberat ditunjukkan dengan garis berwarna kuning, sedangkan lokasi kajian Geolistrik ditunjukkan dengan titik-titik warna hitam. Titik-titik ini merepresentasikan lokasi kedua ujung lintasan geolistrik, karena panjang setiap lintasan geolistrik yang tidak terwakili dalam skala peta.



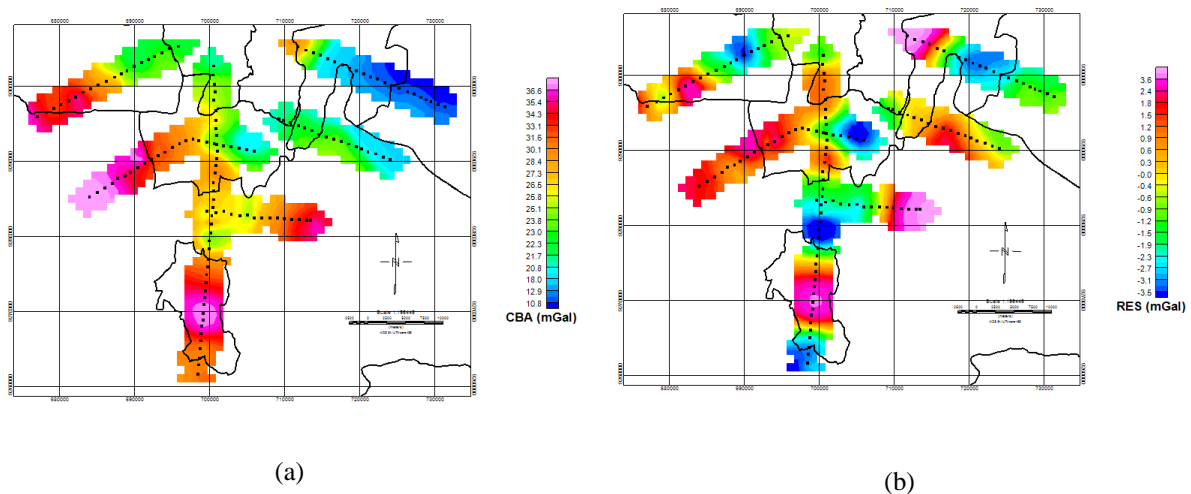
Gambar 4.8. Lokasi penyelidikan Geofisika bawah permukaan di daerah JABODETABEK-PUNJUR berdasarkan metode Gayaberat (lintasan kuning) dan Geolistrik (titik hitam).

Secara umum, lokasi daerah penelitian meliputi beberapa wilayah kota dan kabupaten, seperti Kabupaten Bekasi, Kota Bekasi, Kota Tangerang, Kabupaten Tangerang, Kota Bogor, Kabupaten Bogor dan Kota Depok. Daerah penelitian merupakan daerah perkotaan sehingga akses kesampaian ke lokasi pengukuran dapat dikatakan mudah, terutama untuk metode Gayaberat, namun untuk metode Geolistrik hal ini cukup menyulitkan karena pengukuran Geolistrik tidak mungkin dilakukan di tengah-tengah kota. Dengan demikian lintasan geolistrik sedikit bergeser ke lokasi yang jauh dari permukiman.

4.5.2. Hasil Penyelidikan

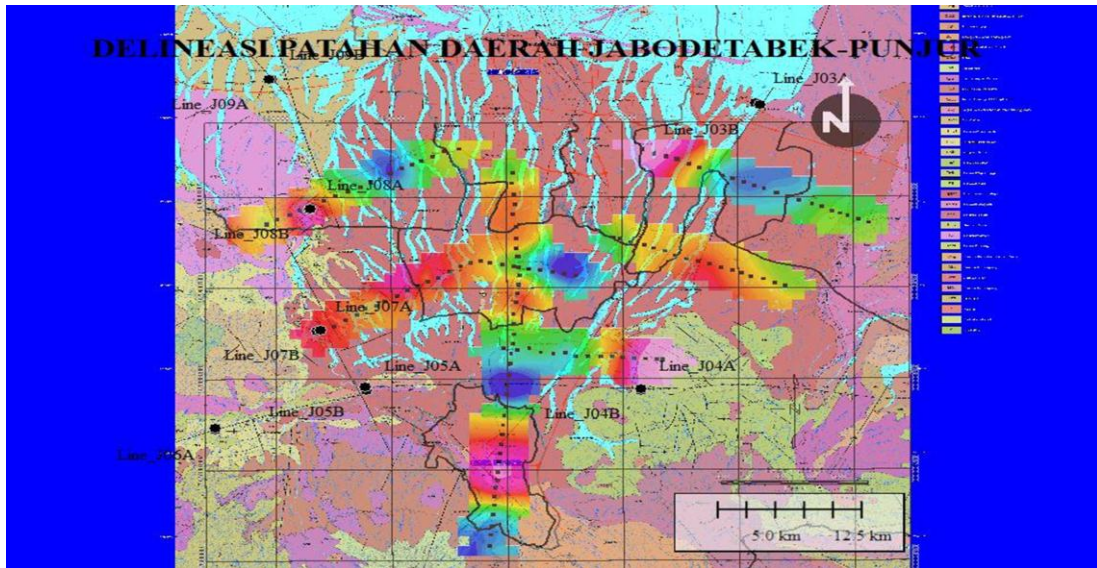
Hasil kajian Geofisika bawah permukaan terbagi menjadi dua metode yaitu metode Gayaberat dan metode Geolistrik. Pengukuran metode Gayaberat dilakukan dalam 7 lintasan

ukur dengan total panjang lintasan ± 138 Km. Pengukuran tersebut dilakukan dalam interval ± 1 Km, sehingga total perolehan titik pengukuran adalah 138 titik ukur Gayaberat. Pengukuran metode Geolistrik dilakukan dalam 9 lintasan dengan target yang sama, yaitu Sesar Baribis, Sesar Cisadane dan Sesar Bekasi. Selain mode pengukuran yang umum dilakukan, penyelidikan Geofisika bawah permukaan ini juga melakukan pengukuran tambahan dengan menerapkan metode pengukuran *vertical gradient*. Metode pengukuran ini dapat dengan cepat mengenali objek-objek sesar atau patahan di suatu daerah.



Gambar 4.9 Pola anomali Gayaberat Jabodetabek-Punjur yang terdiri dari anomali Bouguer (a) dan anomali Residual (b).

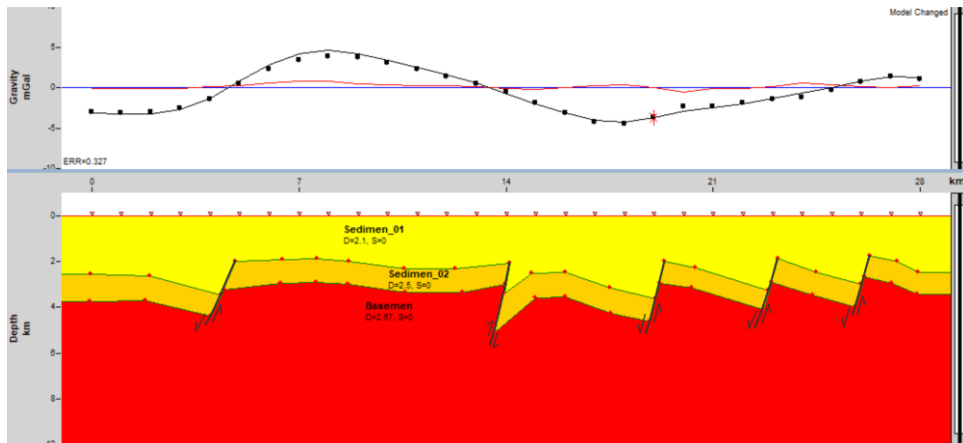
Anomali tinggi data Gayaberat di daerah Jabodetabek-Punjur berkisar pada 37.9 mGal, sedangkan anomali rendah data berada pada level 10.8 mGal. Secara umum, anomali tinggi tersebar di sebelah selatan dan baratdaya daerah penelitian sedangkan anomali rendah terkonsentrasi di sebelah utara dan timurlaut daerah penelitian. Pemisahan anomali Gayaberat dilakukan berdasarkan analisis spektral melalui transformasi Fourier. Berdasarkan analisis spektral diperoleh kedalaman rata-rata regional berada pada kisaran 3 ~ 6 Km, sedangkan kedalaman rata-rata residual kurang dari 3 Km. Analisis densitas dominan dilakukan dengan menggunakan metode Nettleton, dimana densitas dominan di daerah Jabodetabek-Punjur berkisar 2.1 gr/cc. Kemudian densitas batuan alas dipilih sebesar 2.67 gr/cc. Berikut representasi data anomali Bouguer dan anomali Residual Gayaberat di daerah Jabodetabek-Punjur yang ditumpang susun dengan peta batas wilayah kabupaten dan kota di daerah Jabodetabek-Punjur.



Gambar 4.10 Delineasi struktur patahan di daerah JABODETABEK-PUNJUR berdasarkan metode Gayaberat.

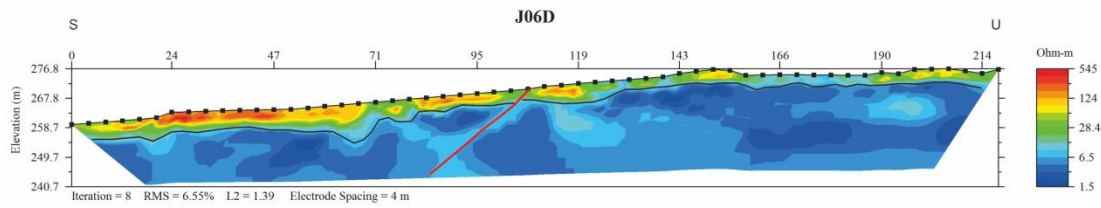
4.5.3. Pemodelan Struktur Bawah Permukaan

4.5.3.1. Sesar Baribis



Gambar 4.11 Model penampang bawah permukaan lintasan Gayaberat di Zona Sesar Baribis.

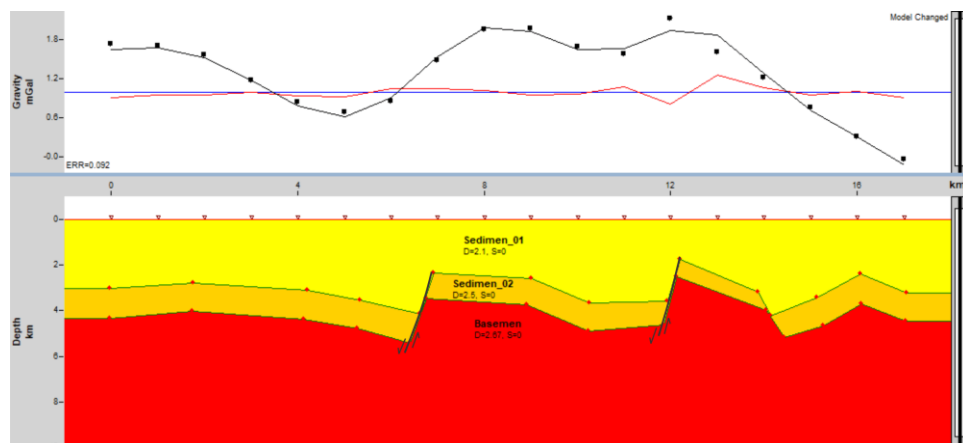
Pemodelan bawah permukaan berdasarkan data Gayaberat di Zona Sesar Baribis dilakukan dengan menggunakan 3 model lapisan dengan distribusi densitas 2.1 gr/cc, 2/5 gr/cc dan 2.67 gr/cc. Berdasarkan pemodelan tersebut terdapat beberapa sesar normal dan sesar naik. Sesar naik terdapat di Kota Bogor, hal ini terlihat dari pola anomali residual yang relative lebih tinggi dari daerah di sekitarnya. Hal yang sama dijumpai pula dari penampang resistivity pada lintasan J06D. Berdasarkan penampang resistivity tersebut diduga Sesar Baribis memiliki kemiringan ke arah selatan.



Gambar 4.12 Salah satu penampang resistivity hasil pengukuran geolistrik di Zona Sesar Baribis pada lintasan J06D.

Salah satu hasil pengukuran Geolistrik di daerah JABODETABEK-PUNJUR dengan target pengukuran adalah mengkonfirmasi keberadaan Sesar Baribis adalah lintasan ukur Geolistrik J06D. Panjang lintasan J06D ini adalah ± 224 m dengan konfigurasi pengukuran Dipole-dipole. Lintasan J06D ini ditunjukkan dengan titik hitam pada gambar 4.12 di atas. Lintasan pengukuran berada pada litologi Formasi Bojongmanik yang didominasi oleh batupasir. Di beberapa singkapan sekitar area pengukuran ditemukan juga singkapan batulempung. Bedding perlapisan sedimen miring kearah utara sekitar 50° . Penampang tahanan jenis menunjukkan pada bagian atas mempunyai nilai tahanan jenis yang relatif tinggi yang diperkirakan karena batuan sudah terekspos di permukaan sehingga kondisi batuan sangat kering, sedangkan bagian bawah secara umum merupakan batupasir. Pola anomali yang miring ke arah utara diperkirakan berkaitan dengan pola kemiringan lapisan sedimen sedangkan pola anomali yang miring ke selatan diinterpretasikan sebagai sesar.

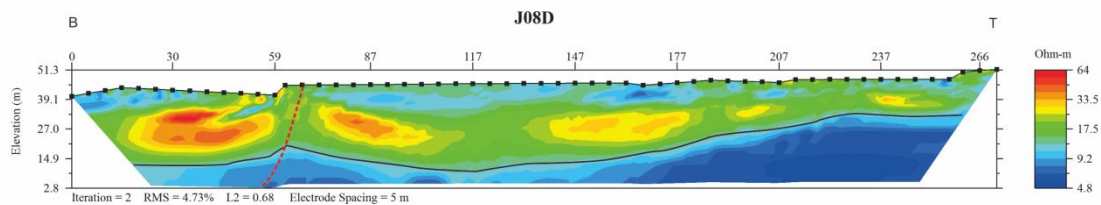
4.5.3.2. Sesar Cisadane



Gambar 4.13 Model penampang bawah permukaan lintasan Gayaberat di Sesar Cisadane.

Pemodelan struktur geologi bawah permukaan di Zona Sesar Cisadane memperlihatkan adanya pola struktur *half-graben*. Hal ini menunjukkan adanya mekanisme

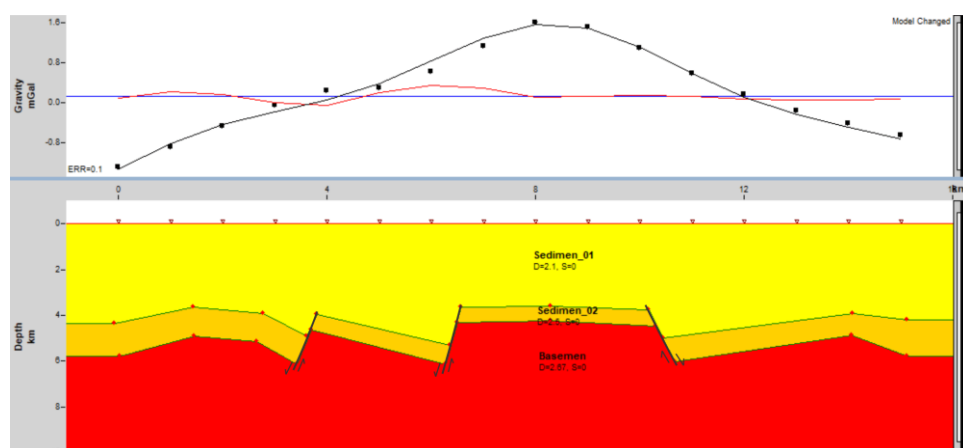
ekstensional yang terjadi di sebelah utara daerah penelitian. Pola struktur serupa juga diperoleh dari penampang resistivitas dari data Geolistrik pada lintasan J08D yang ditandai dengan titik hitam pada gambar 4.13 di atas.



Gambar 4.14 Salah satu penampang resistivity hasil pengukuran geolistrik di Zona Sesar Cisadane pada lintasan J08D.

Lintasan pengukuran merupakan bekas tambang pasir yang merupakan endapan vulkanik yang didominasi oleh lahar. Batuan ini menempati bagian atas dari daerah pengukuran yang mempunyai nilai tahanan jenis relatif tinggi. Adapun bagian bawah dari penampang tahanan jenis diperkirakan merupakan batupasir Formasi Bojongmanik yang juga tersingkap di sekitar lintasan pengukuran. Pengukuran geolistrik di daerah ini hanya bisa menjangkau bagian atas Formasi Bojongmanik, sehingga agak sulit untuk menginterpretasi keberadaan sesar dari pola anomali tahanan jenis. Namun demikian kemungkinan sesar berada di bagian barat lintasan yang ditunjukkan oleh gangguan pola anomali pada endapan lahar.

4.5.3.3. Sesar Bekasi

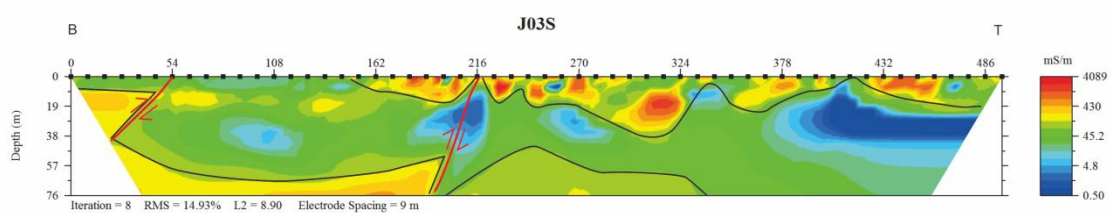


Gambar 4.15 Model penampang bawah permukaan lintasan Gayaberat di Sesar Bekasi.

Berdasarkan hasil pemodelan data Gayaberat di Zona Sesar Bekasi, terlihat adanya mekanisme pergerakan ekstensional. Meskipun sesar Cisadane dan sesar Bekasi diyakini sebagai sesar mendatar, namun pergerakannya diikuti dengan mekanisme ekstensional /

bukaan. Hasil pengukuran Gayaberat yang telah dilakukan tidak memadai untuk memperlihatkan pola dan mekanisme pergeseran sesar mendatar yang ada di lokasi penelitian karena pengukuran dilakukan secara lintasan. Penampang resistivitas pada lintasan J03S di tandai dengan titik berwarna hitam pada gambar 4.15 di atas.

Lintasan survei merupakan daerah perbatasan dan antara daerah endapan sungai dan satuan batupasir tufan di daerah Kota Bekasi. Secara umum daerah lintasan survei merupakan hutan lamtoro. Bagian atas penampang tahanan jenis (warna hijau) diinterpretasikan merupakan endapan sungai yang diendapkan di atas satuan batupasir tufaan. Keberadaan sesar terlihat jelas berupa sesar naik yang terlihat dari offset satuan batupasir tufaan.



Gambar 4.16 Salah satu penampang resistivity hasil pengukuran geolistrik di Zona Sesar Bekasi pada lintasan J03S.

4.5.3.4 Kesimpulan

Keberadaan Sesar Baribis terdeteksi di selatan Jabodetabek, hal ini memperkuat hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Koulali (2016). Diperkirakan Sesar Baribis tersebut menerus hingga Kabupaten Banten. Sesar Baribis diduga merupakan sesar naik dengan pola Jawa (barat-timur). Sedangkan Sesar Cisadane dan Sesar Bekasi diduga merupakan sesar mendatar dengan diikuti mekanisme ekstensional, sehingga terbentuk beberapa struktur patahan *half graben* di kedua zona sesar tersebut (Sesar Cisadane dan Sesar Bekasi).

Pengukuran Gayaberat yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan konsep *line* atau lintasan Gayaberat, sehingga data-data yang ada tersebut kurang kuat dalam menjelaskan mekanisme sesar mendatar di Zona Sesar Cisadane dan Zona Sesar Bekasi. Penelitian lanjutan sangat diperlukan guna mengetahui jenis pergeseran kedua zona sesar tersebut. Dan apabila penelitian lanjutan tersebut ada, sebaiknya pengukuran Gayaberat yang akan dilakukan menggunakan konsep *mapping*.

4.6 Pemetaan Kawasan Rawan Bencana (KRB) Gempa Bumi

Metoda HVSR untuk mengolah data mikrotremor dapat diterapkan untuk mendapatkan citra bawah permukaan. Kedalaman batuan dasar di Kota Jakarta, sebagai

fungsi dari kecepatan gelombang-S (V_S), telah dipetakan oleh Cipta et al 2018 dan Omang et al 2019. Sementara Cipta et al 2018 menggunakan referensi $V_S = 1100$ m/s untuk mendefinisikan batuan dasar, Omang et al 2019 menggunakan $V_S = 1000$ m/s sebagai dasar penentu ketebalan lapisan sedimen di atas batuan dasar.

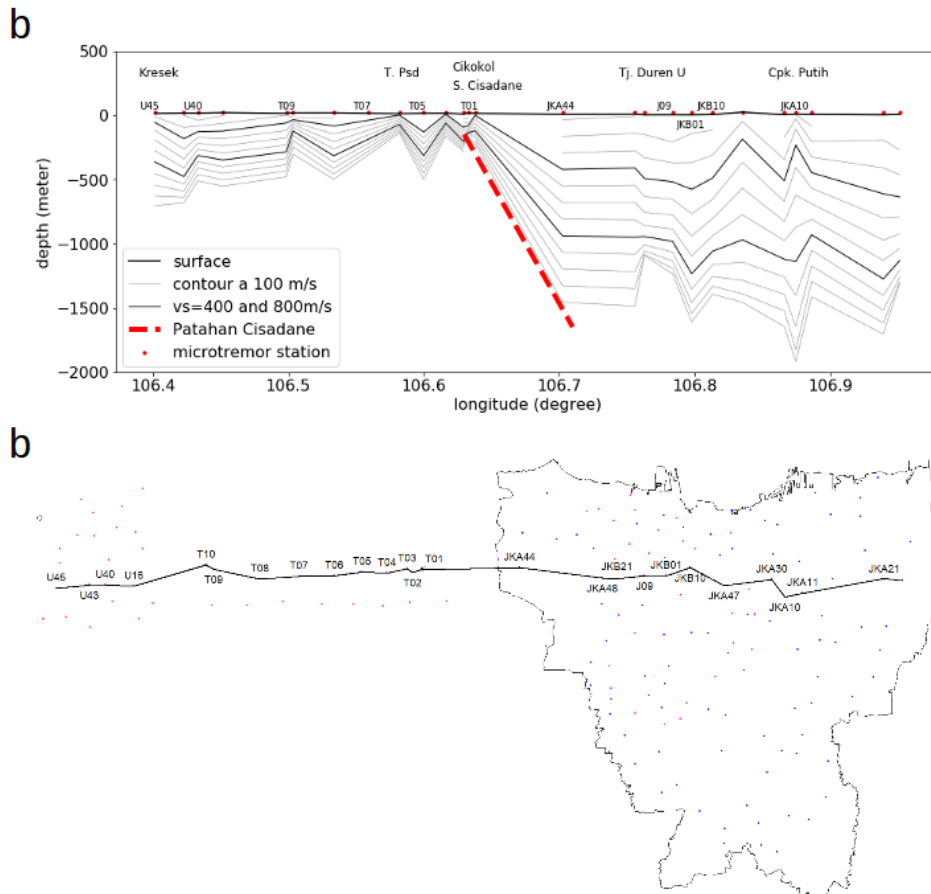
Selain untuk memetakan kedalaman cekungan atau ketebalan sedimen total di atas batuan dasar serta menggambarkan geometri cekungan dalam ruang 3-dimensi, metoda HVSR juga dapat digunakan untuk mendeteksi keberadaan struktur geologi. Tarabusi&Caputo 2016 menggunakan kurva elliptisitas untuk mengidentifikasi antiklin Mirandola di Italia Utara, dalam tulisan ini, inversi HVSR dilakukan untuk menegaskan keberadaan Patahan Cisadane seperti yang dilasnr oleh Moechtar 2015.

4.6.1. HVSR dan Geologi Bawah Permukaan

Herman (2015) menduga bahwa Cekungan Jakarta atau Cekungan Ciputat adalah cekungan tektonik yang keberadaannya dikontrol oleh Patahan Cisadane di sebelah barat dan Patahan Kali Bekasi di sebelah timur. Selain itu Patahan Ciliwung memotong Kota Jakarta dari selatan ke utara. Ketiga patahan tersebut diperkirakan adalah patahan mendatar yang memiliki komponen normal, sehingga pada dasarnya Cekungan Jakarta adalah sebuah graben.

Hasil inversi HVSR terhadap titik-titik sepanjang lintasan berarah barat-timur, mulai dari U45 di Desa Koper, Kecamatan Kresek, Tangerang hingga JKA21 di Cakung, Jakarta Timur, menunjukkan adanya perubahan kedalaman secara drastis di bawah aliran Sungai Cisadane, di sekitar Cikokol. Di Kota Tangerang, dari titik T01 hingga JKA44, kedalaman batuan dasar (didefinisikan sebagai batuan yang memiliki $V_S \geq 1000$ m/s) secara tiba-tiba berubah dari 170 m menjadi 1200 m. Jarak antara T01 dan JKA44 adalah 7.14 km. Dari titik T01 ke arah barat, kedalaman batuan dasar berubah secara berangsur menjadi 540 m di titik U45 (jarak T01-U45 adalah 26.17 m). Sementara itu dari JKA44 ke arah timur hingga JKA21, kedalaman batuan dasar bervariasi dari 1200 m hingga 1640 m (Gambar 4.17).

Jika permukaan batuan dasar dibayangkan sebagai paleo-topografi, topografi purba sebelum diendapkannya material sedimen, maka akan nampak bahwa sekitar titik T01-T03 merupakan puncak suatu antiklin. Puncak tinggian topografi ini disebut sebagai Tinggian Tangerang (*Tangerang High*). Tinggian Tangerang disusun oleh formasi batuan berumur Miosen yang telah mengalami pengangkatan (Delinom 2008). Sementara itu, Putra 2016 menyebutkan bahwa batuan dasar Cekungan Ciputat adalah batuan karbonat yang termasuk ke dalam bagian atas Formasi Parigi yang berumur Miosen Tengah-Miosen Atas.



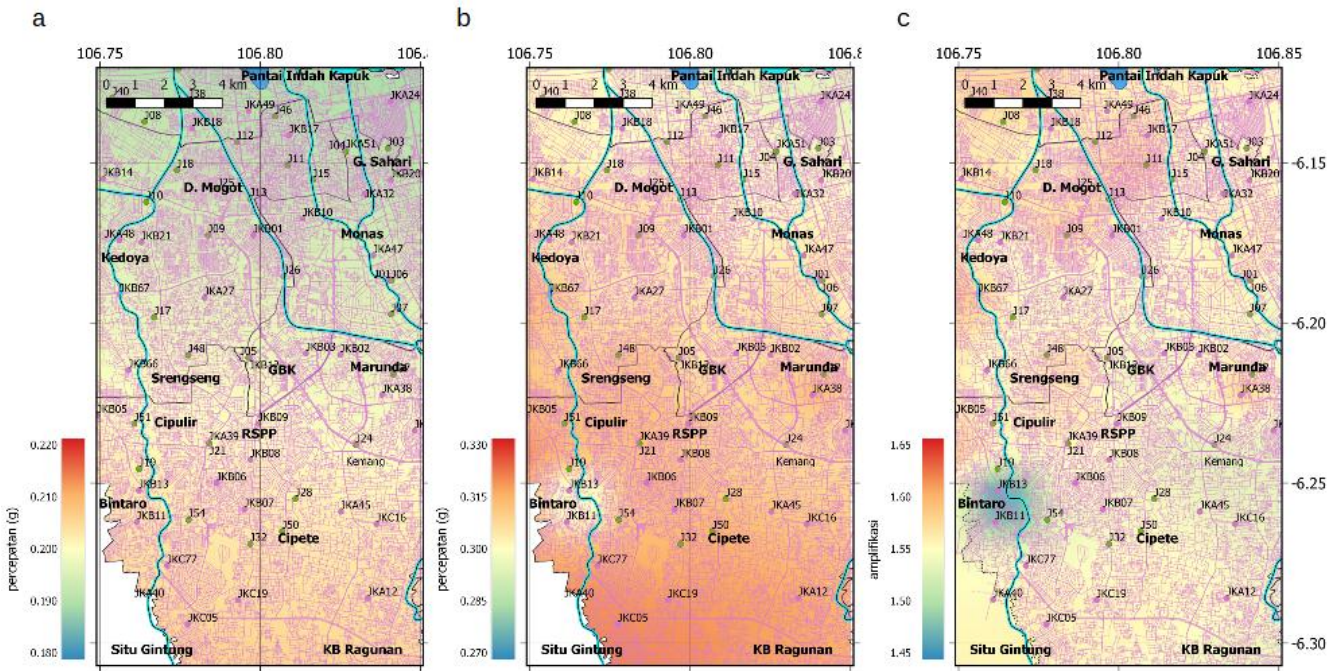
Gambar 4.17. (a) Penampang melintang barat-timur memperlihatkan struktur geologi yang dapat diinterpretasi sebagai Patahan Cisadane. Kontur kecepatan gelombang-S (V_S) diperoleh dari hasil inversi HVSr. (b) Lokasi penampang dan titik pengukuran mikrotremor., titik berwarna biru dan magenta adalah titik pengukuran mikrotremor dalam Cipta et al 2018 dan Omang et al 2019.

4.6.2 Bahaya Guncangan Gempabumi Secara Probabilistik

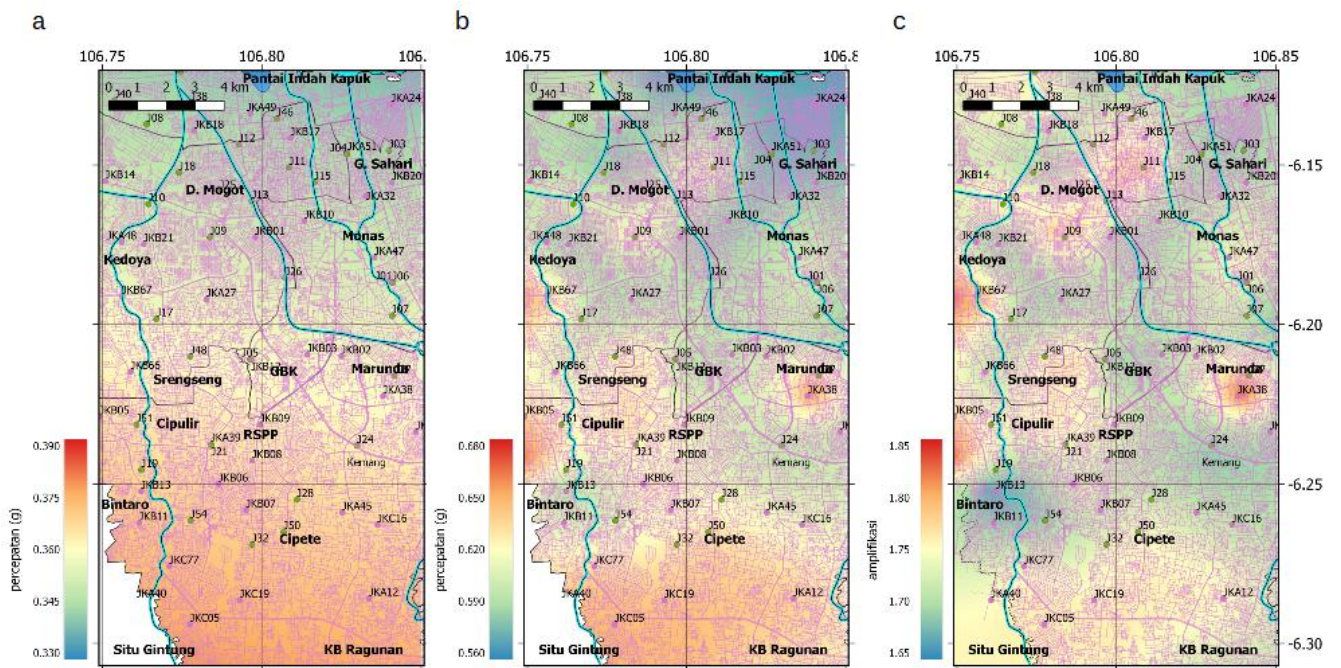
Hasil pemodelan guncangan gempabumi, baik dengan pendekatan probabilistik maupun deterministik, yang disajikan dalam tulisan ini berupa percepatan (PGA dan SA) dengan satuan g (*gravity*, $1g = 9.8m/s$). Untuk membuat model percepatan pada batuan dasar, V_S^{30} untuk semua titik dianggap sama yaitu $1100 m/s$, sedangkan dalam pemodelan percepatan pada tanah, V_S^{30} yang digunakan adalah masih inversi, baik oleh Cipta et al 2018 maupun Omang et al 2019. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa jika V_S^{30} seragam, maka nilai percepatan hanya akan dipengaruhi oleh magnitudo dan jarak titik amat terhadap *rupture*. Oleh sebab itu **Gambar 4.18a**, **Gambar 4.19a**, **Gambar 4.20a**, dan **Gambar 4.21a** menunjukkan bahwa percepatan di Jakarta selatan lebih besar dibandingkan dengan di Jakarta utara. Artinya, makin jauh dari sumber gempabumi, percepatan makin kecil, seiring dengan adanya atenuasi selama gelombang gempabumi merambat.

Sementara itu, percepatan pada tanah permukaan selain dipengaruhi oleh magnitudo gempa dan jarak titik amat terhadap rupture, juga dikontrol oleh sifat fisik batuan, baik batuan dekat permukaan yang diwakili oleh V_s^{30} , maupun kedalaman total sedimen di atas batuan dasar yang diwakili oleh nilai $Z^{1.0}$. Bahkan V_s^{30} dan $Z^{1.0}$ dapat memegang peranan yang lebih penting daripada jarak dalam memperbesar (amplifikasi) percepatan gempabumi, sehingga daimungkinkan daerah yang lebih jauh dari sumber gempabumi mengalami guncangan yang lebih besar daripada daerah yang lebih dekat. Sebagai contoh, daerah-daerah Kedoya, Daan Mogot dan Kedoya berpotensi mengalami guncangan yang lebih besar daripada Bintaro, padahal keempat daerah tersebut berjarak relatif sama terhadap sumber gempabumi (**Gambar 4.18b**, **Gambar 4.19b**, **Gambar 4.20b**, dan **Gambar 4.21b**).

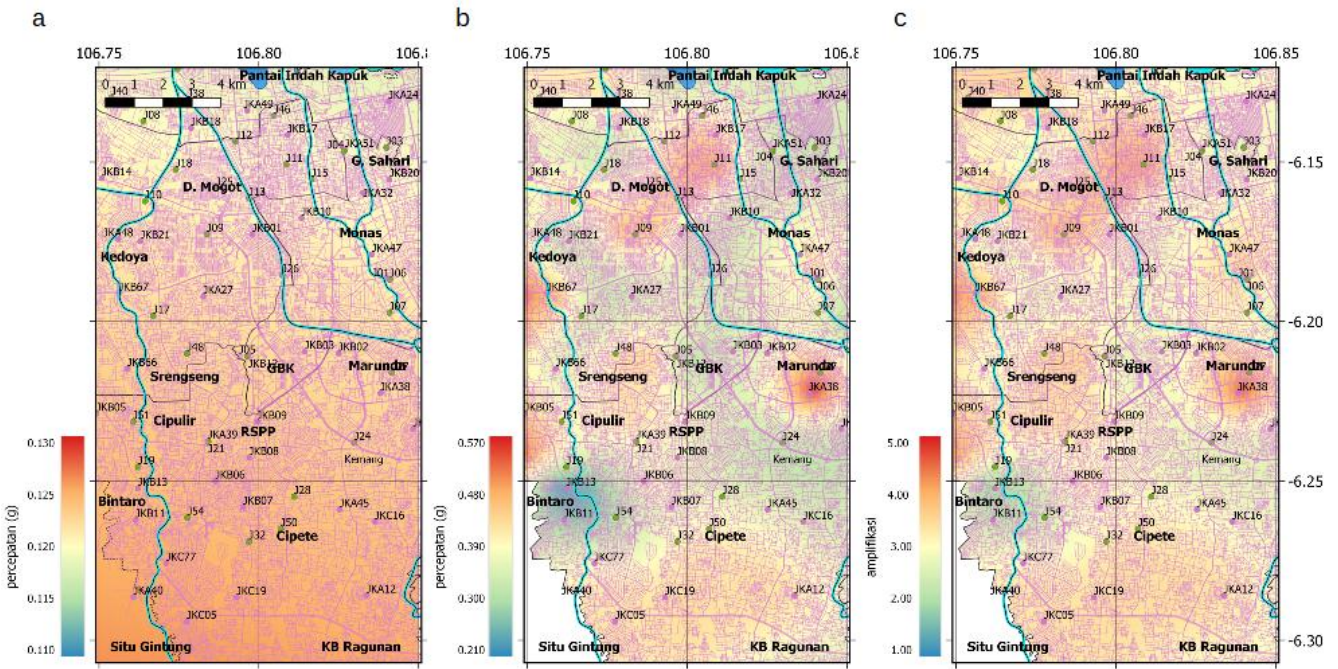
Monas dan Pantai Indah Kapuk yang berada di Jakarta utara mengalami guncangan yang lebih besar daripada Pondok Ranggon di ujung selatan Jakarta (**Gambar 4.24a** dan **Gambar 4.25a**), padahal sumber gempabumi utama yang berpotesni mengguncang Jakarta adalah Subduksi Sunda, terutama Segmen *West-Central Java* yang berada di selatan P. Jawa. Dari fakta ini dapat diartikan bahwa sifat fisik batuan, baik V_s^{30} maupun $Z^{1.0}$ dapat mengamplifikasi guncangan gempabumi. Besarnya amplifikasi, rasio antara percepatan pada tanah permukaan dan batuan dasar, dapat dilihat pada **Gambar 4.18c**, **Gambar 4.19c**, **Gambar 4.20c**, **Gambar 4.21c**, **Gambar 4.24b** dan **Gambar 4.25b**. Dari **Gambar 4.21c** tersebut terlihat bahwa faktor amplifikasi pada spektra 4.0 s dapat mencapai 12 kali, sedangkan pada spektra 0.0 s (PGA), 0.2 s dan 1.0 s, amplifikasi mencapai 1.65, 1.85 dan 5 kali.



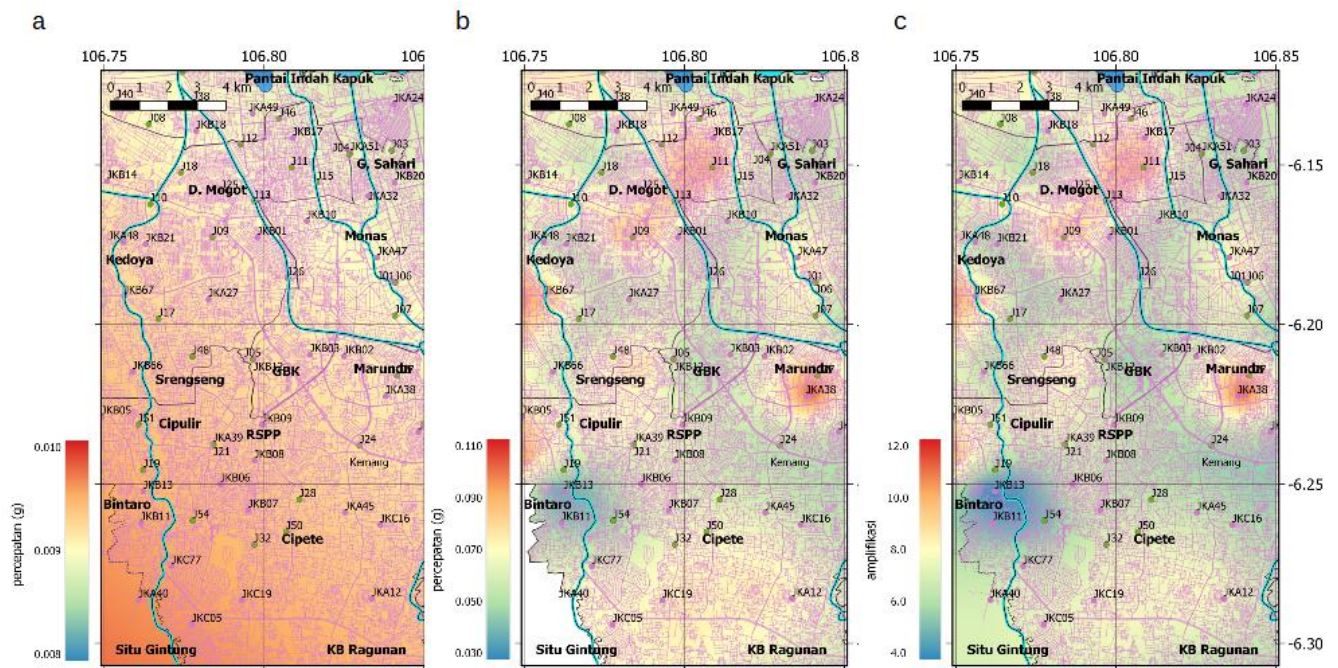
Gambar 4.18. Percepatan tanah puncak (PGA) pada (a) batuan dasar, (b) tanah permukaan dan (c) amplifikasi, hasil pemodelan probabilistik. Data V_s^{30} dan Z^{10} diambil dari Omang et al 2019.



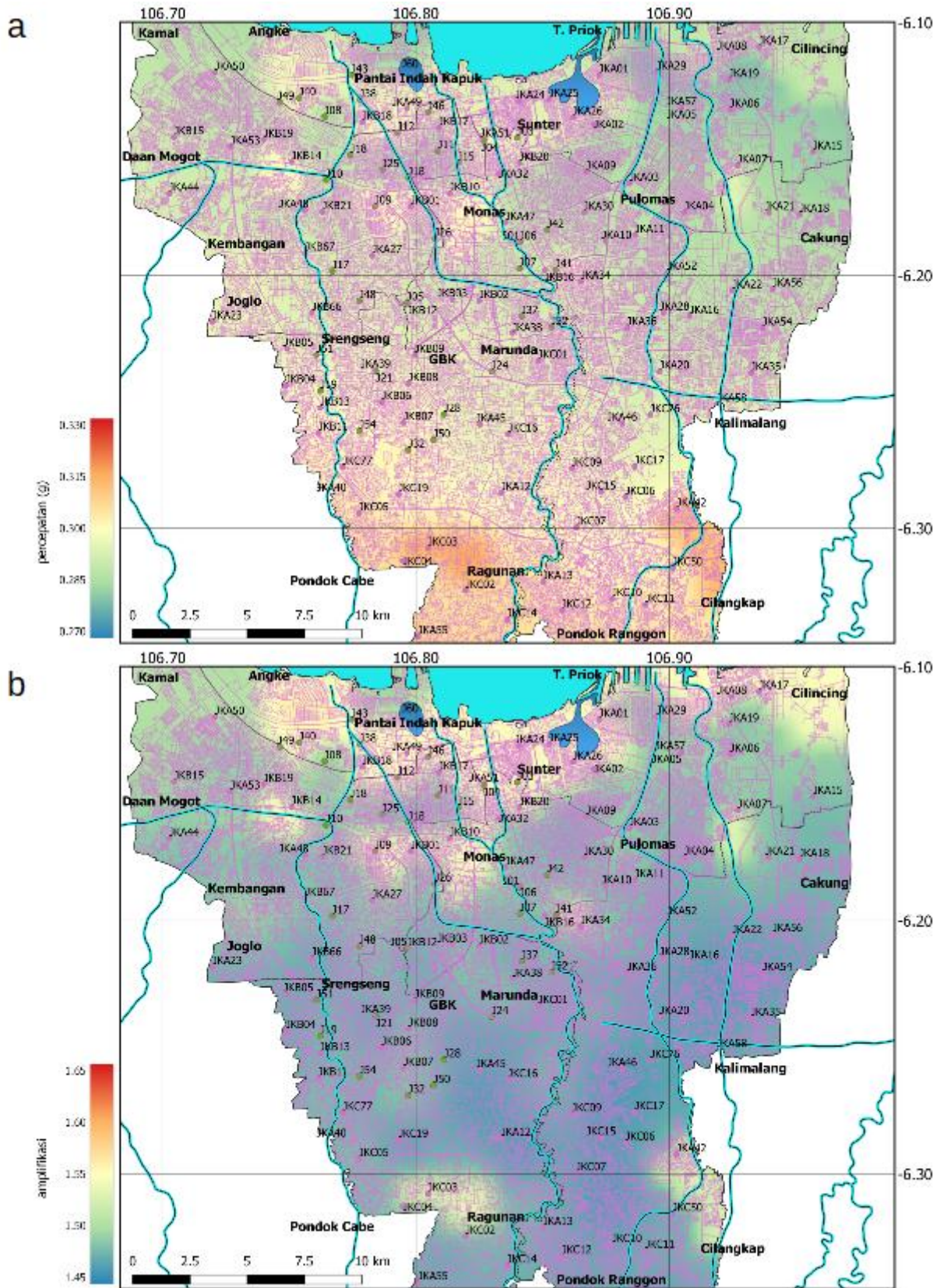
Gambar 4.19. Percepatan pada (a) batuan dasar, (b) tanah permukaan dan (c) amplifikasi untuk spektra 0.2 detik, hasil pemodelan probabilistik. Data V_s^{30} dan Z^{10} diambil dari Omang et al 2019.



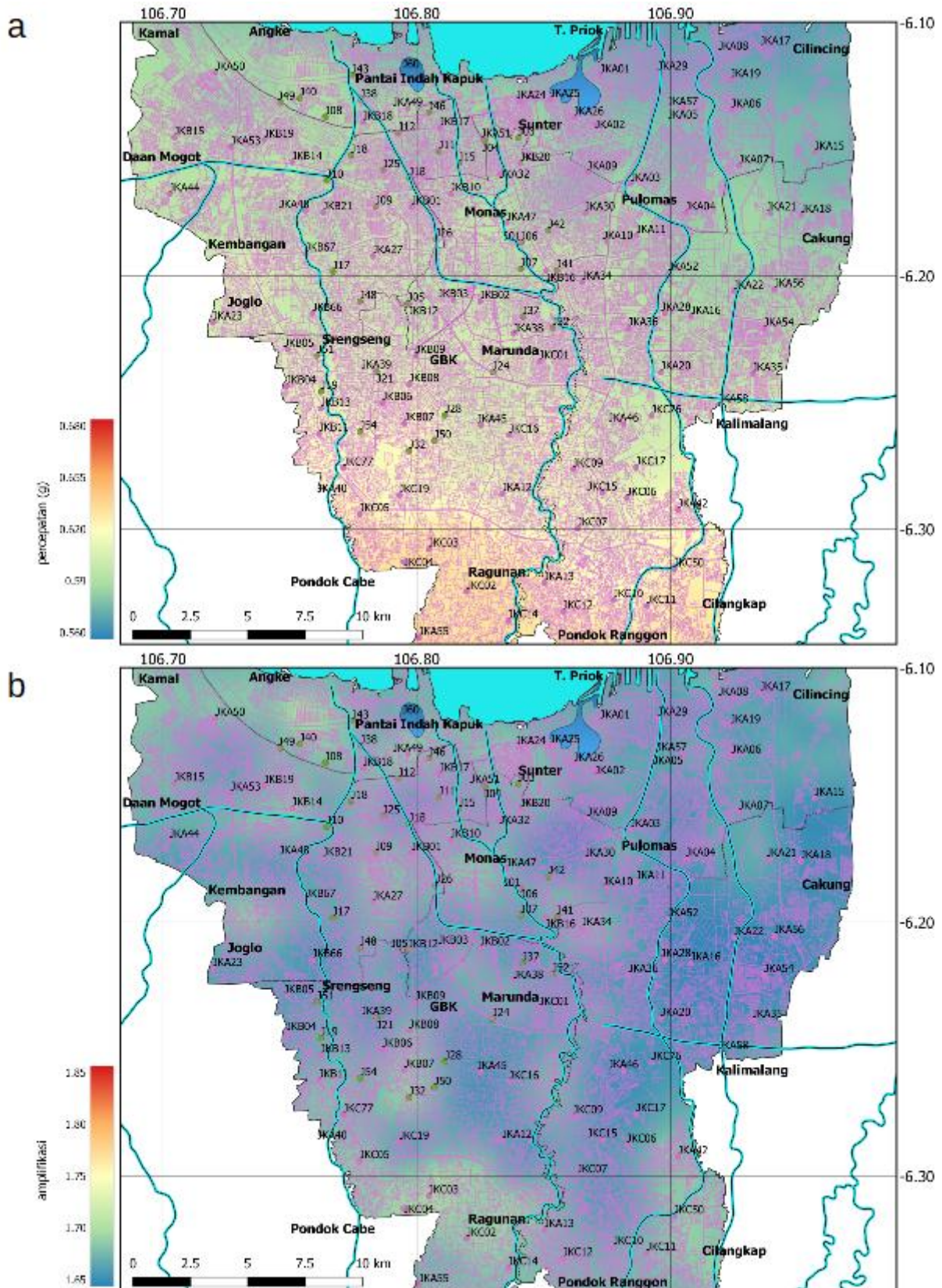
Gambar 4.20. Percepatan pada (a) batuan dasar, (b) tanah permukaan dan (c) amplifikasi untuk spektra 1.0 detik, hasil pemodelan probabilistik. Data V_s^{30} dan Z^{10} diambil dari Omang et al 2019.



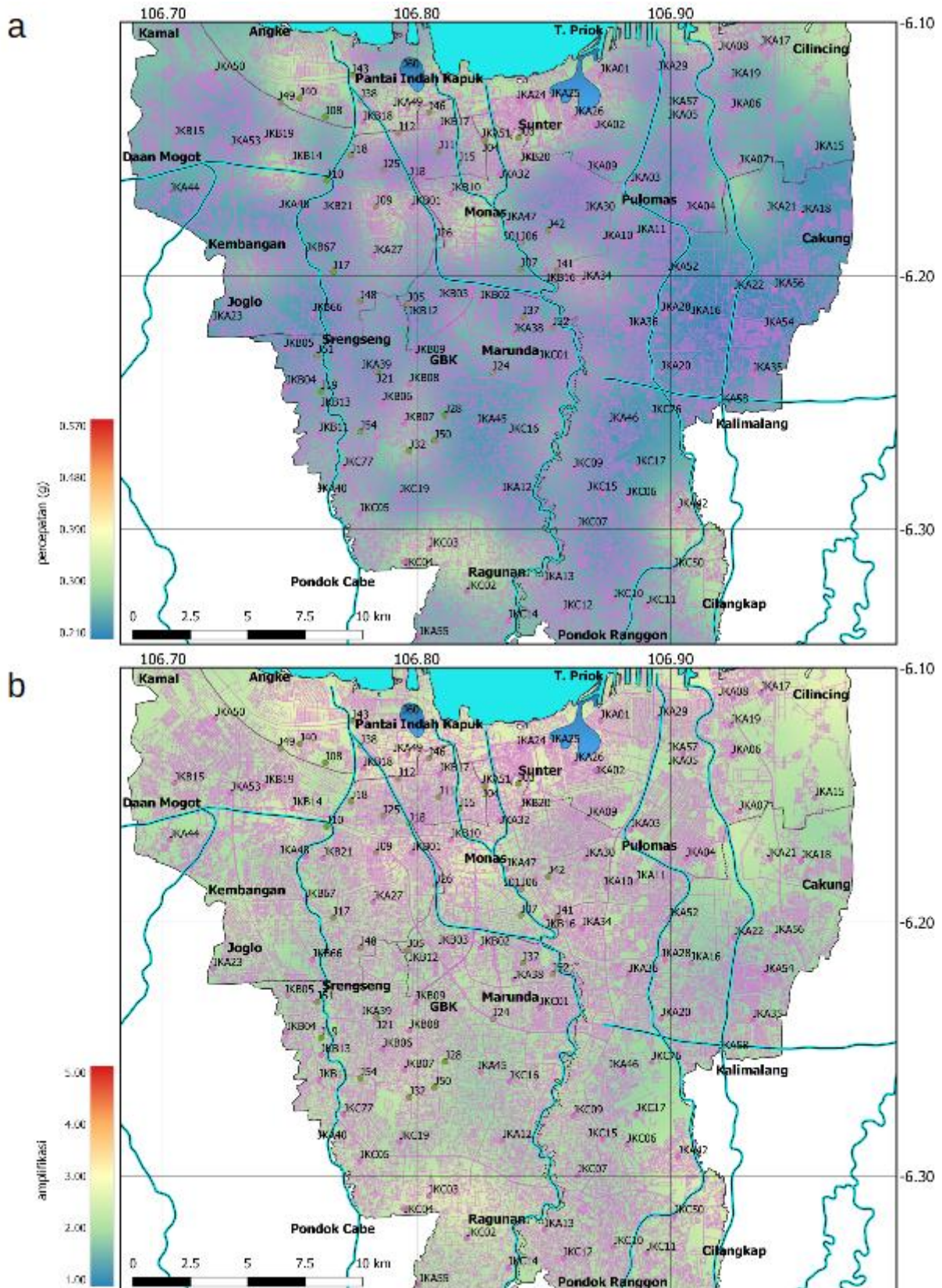
Gambar 4.21. Percepatan pada (a) batuan dasar, (b) tanah permukaan dan (c) amplifikasi untuk spektra 4.0 detik, hasil pemodelan probabilistik. Data V_s^{30} dan Z^{10} diambil dari Omang et al 2019.



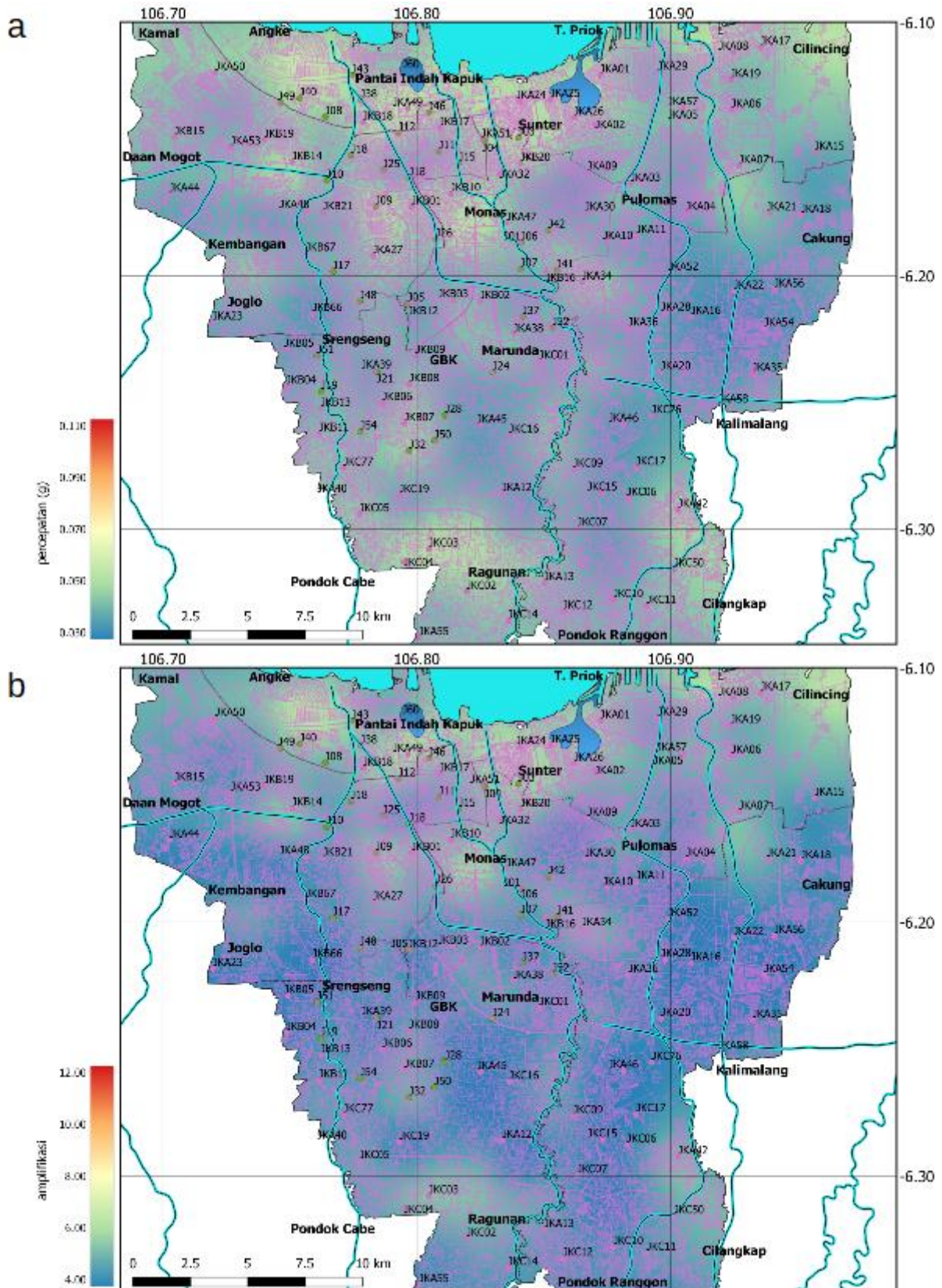
Gambar 4.22. Percepatan tanah puncak (PGA) pada (a) tanah permukaan dan (b) amplifikasi, hasil pemodelan probabilistik. Data V_s^{30} dan Z^{10} diambil dari Cipta et al 2019.



Gambar 4.23. Percepatan pada (a) tanah permukaan dan (b) amplifikasi untuk spektra 0.2 detik, hasil pemodelan probabilistik. Data V_S^{30} dan Z^{10} diambil dari Cipta et al 2019.



Gambar 4. 24. Percepatan pada (a) tanah permukaan dan (b) amplifikasi untuk spektra 1.0 detik, hasil pemodelan probabilistik. Data V_S^{30} dan Z^{10} diambil dari Cipta et al 2019.

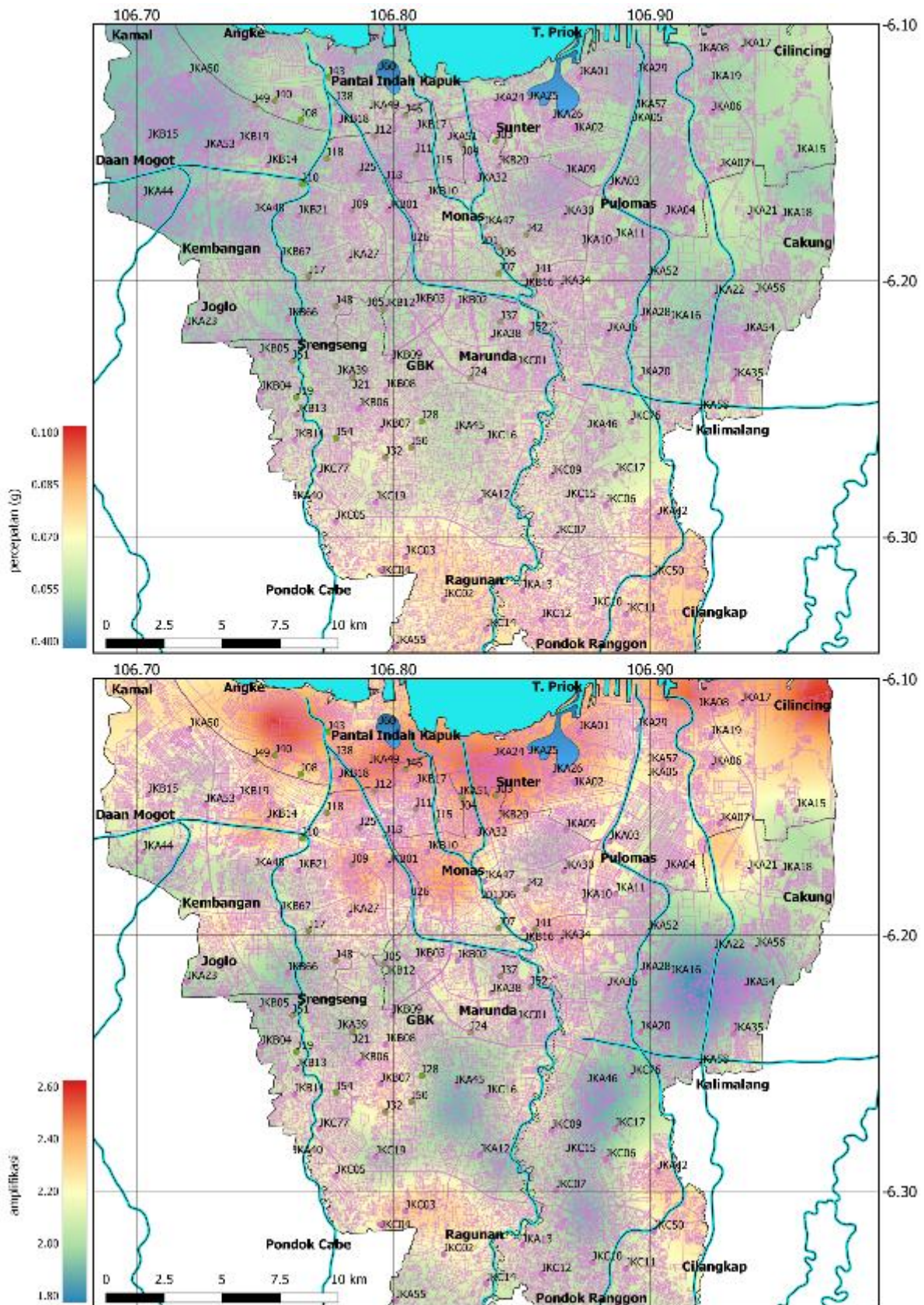


Gambar 4.25. Percepatan pada (a) batuan dasar, (b) tanah permukaan dan (c) amplifikasi untuk spektra 4.0 detik, hasil pemodelan probabilistik. Data V_S^{30} dan Z^{10} diambil dari Cipta et al 2019.

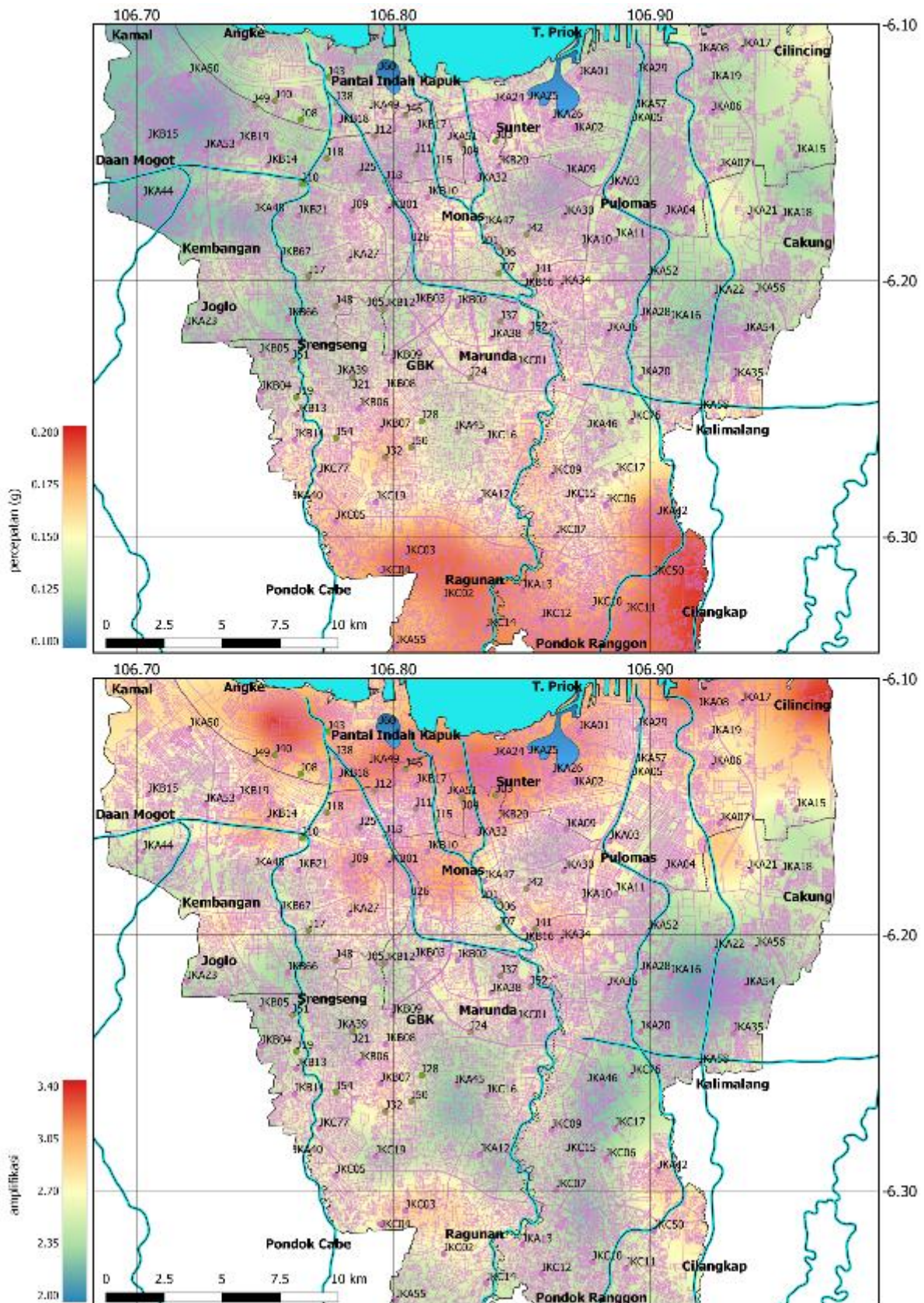
4.6.3 Bahaya Guncangan Gempabumi secara Deterministik

Pemodelan deterministik ditujukan untuk mengetahui kontribusi sumber gempabumi tertentu terhadap besarnya guncangan di suatu wilayah. Pemodelan percepatan dilakukan dengan skenario gempabumi bermagnitudo Mw6.7 dan Mw8.7 yang bersumber dari Patahan Cimandiri segmen Nyalindung-Cibeber dan subduksi Segmen *West-Central Java*. Kedalaman kedua gempabumi tersebut masing-masing 9 dan 12 km.

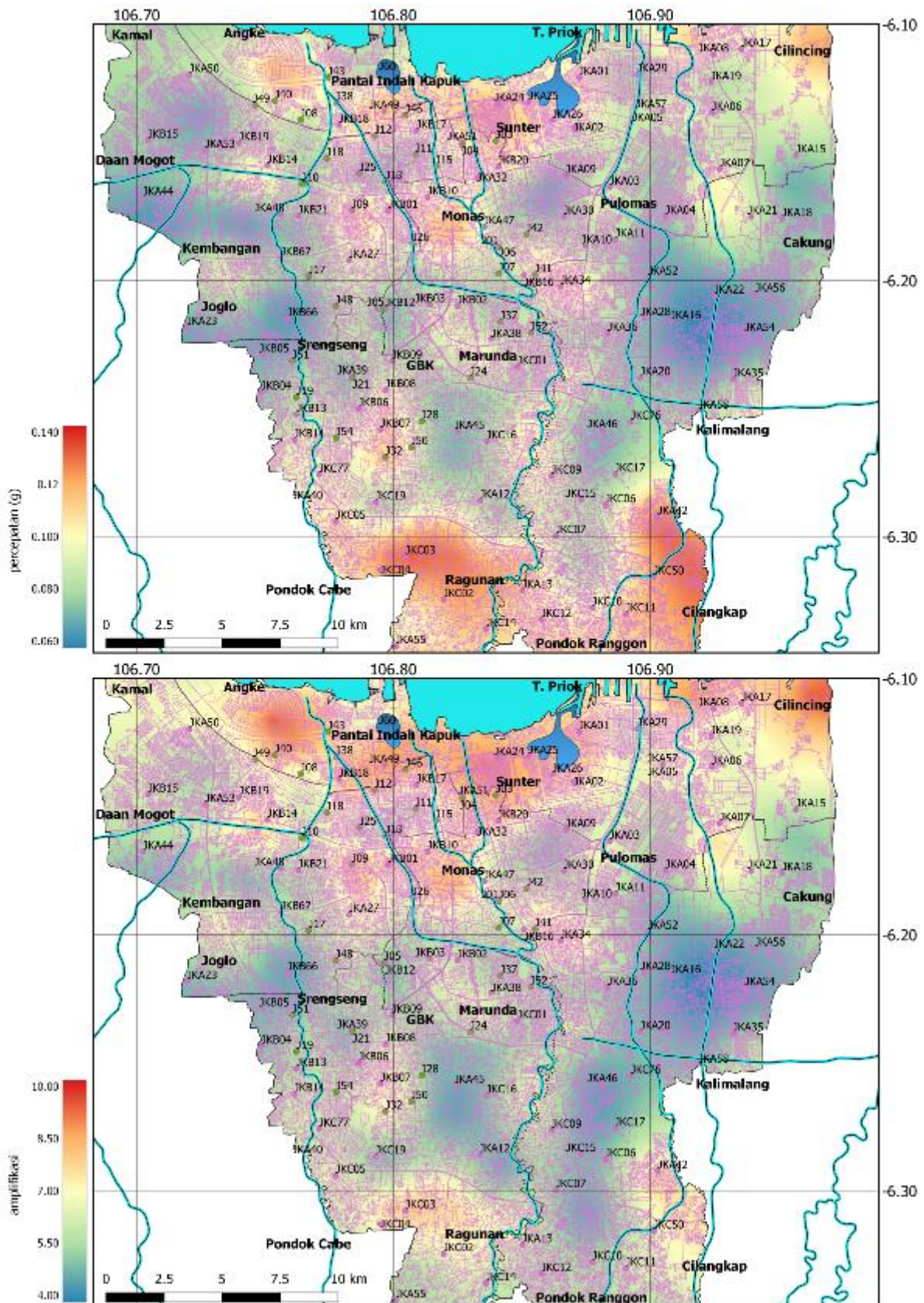
Walaupun samar, ada pola umum percepatan gelombang gempabumi, pada peroda pendek (PGA, SA0.2 s, dan SA1.0s), percepatan terutama dikontrol oleh V_s^{30} sedangkan pada SA 4.0 s hingga SA 10.0 s, $Z^{1.0}$ mulai mengambil peranan. Demikian pula pola amplifikasi, meskipun V_s^{30} dan $Z^{1.0}$ tidak mengamplifikasi gelombang secara linear, namun pada perioda pendek (≤ 1.0 s), pola amplifikasi sangat menyerupai pola V_s^{30} , sedangkan pada perioda di atas 4 s, pola amplifikasi semakin berbeda baik dengan V_s^{30} maupun $Z^{1.0}$. Hal ini mengindikasikan adanya pengaruh baik V_s^{30} maupun $Z^{1.0}$ terhadap gelombang perioda panjang (**Gambar 4.26 – 4.35**).



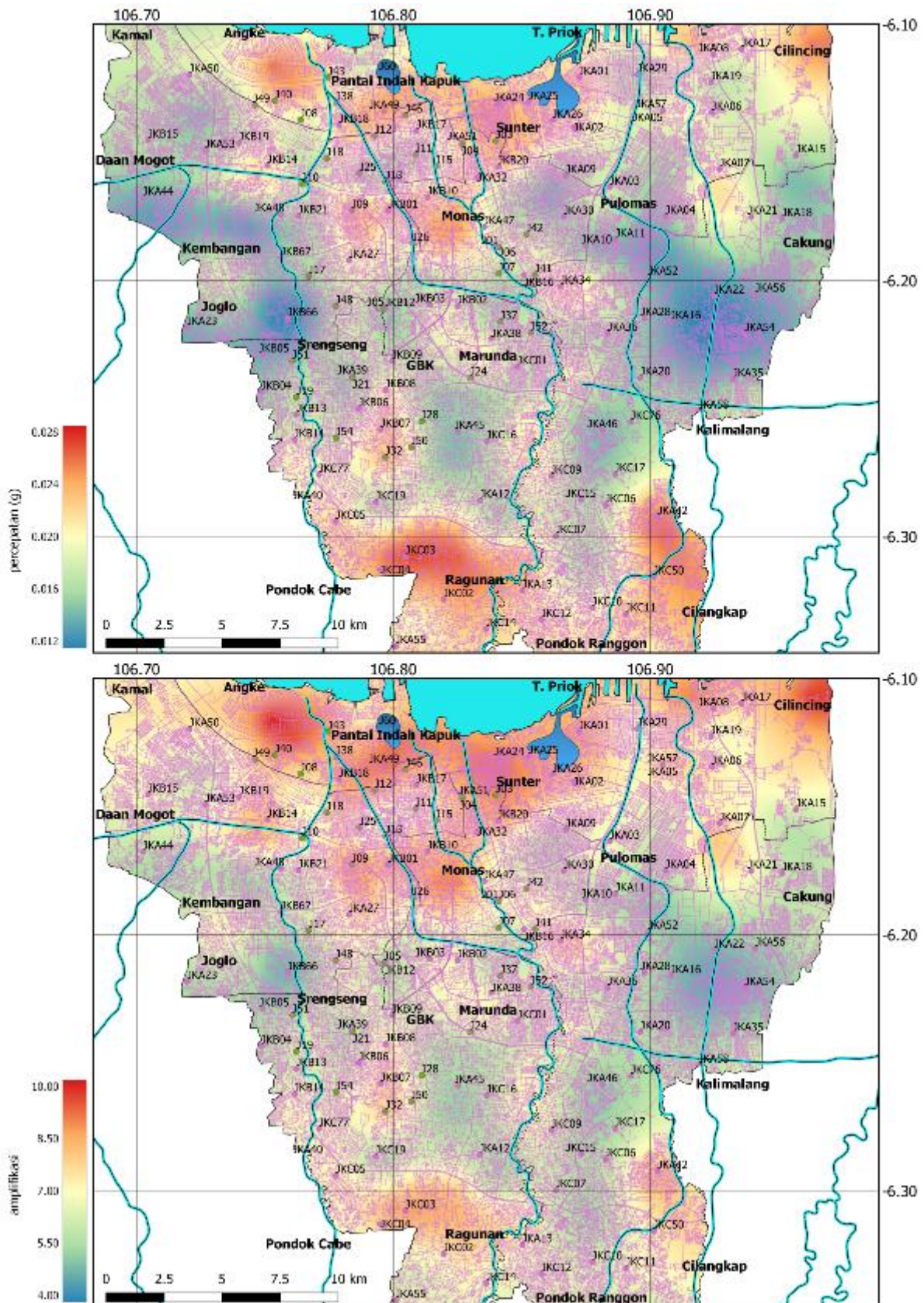
Gambar 4.26. Percepatan tanah puncak (PGA) pada (a) tanah permukaan dan (b) amplifikasi, hasil pemodelan dengan skenario gempa bumi bermagnitudo Mw6.7 (kedalaman 9 km) yang bersumber dari Patahan Cimandiri. Data V_s^{30} dan Z^{10} diambil dari Cipta et al. 2019.



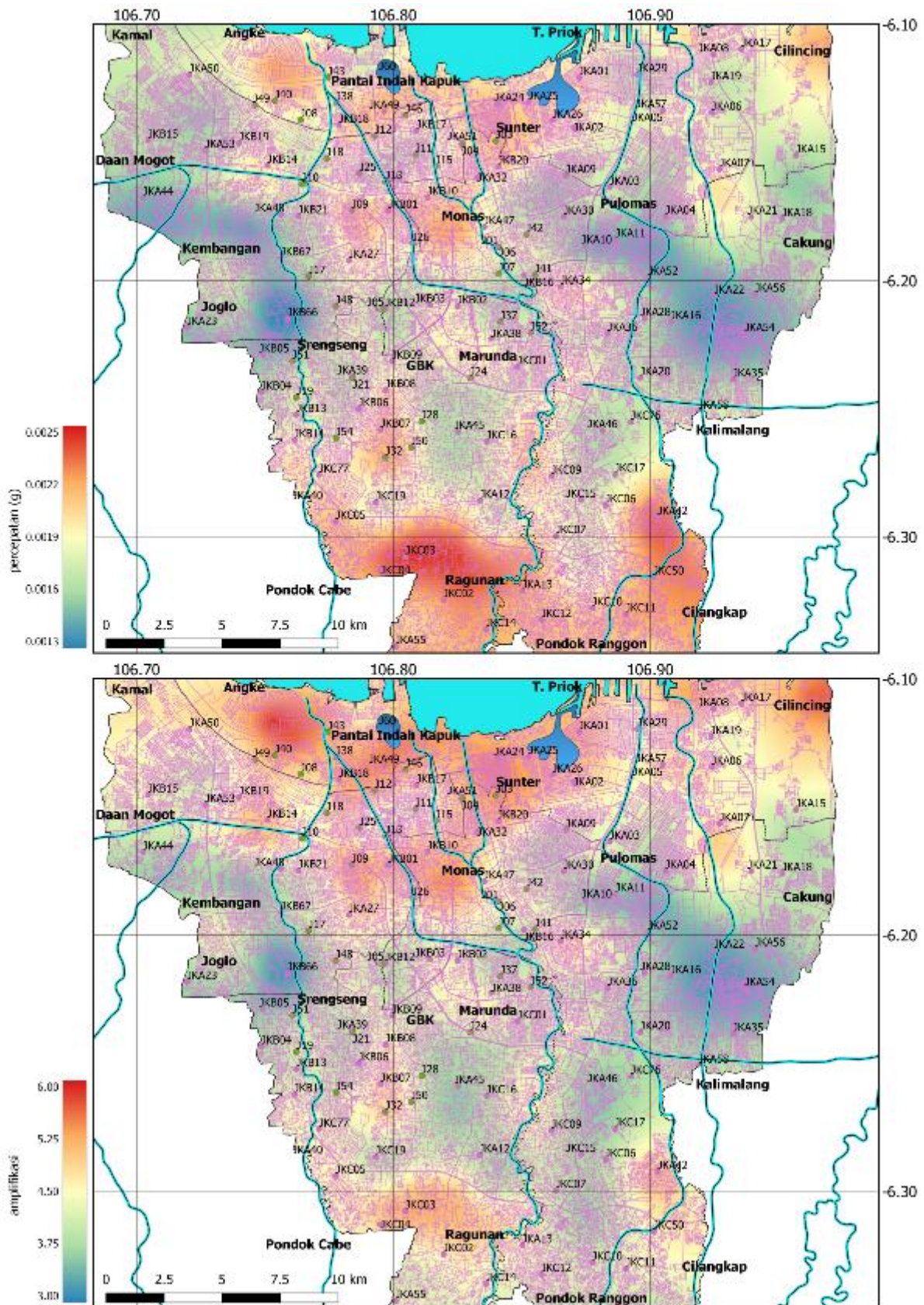
Gambar 4.27. Percepatan pada (a) tanah permukaan dan (b) amplifikasi untuk spektra 0.2 detik, hasil pemodelan dengan skenario gempa bumi bermagnitudo Mw6.7 (kedalaman 9 km) yang bersumber dari Patahan Cimandiri. Data V_s^{30} dan Z^{10} diambil dari Cipta et al 2019.



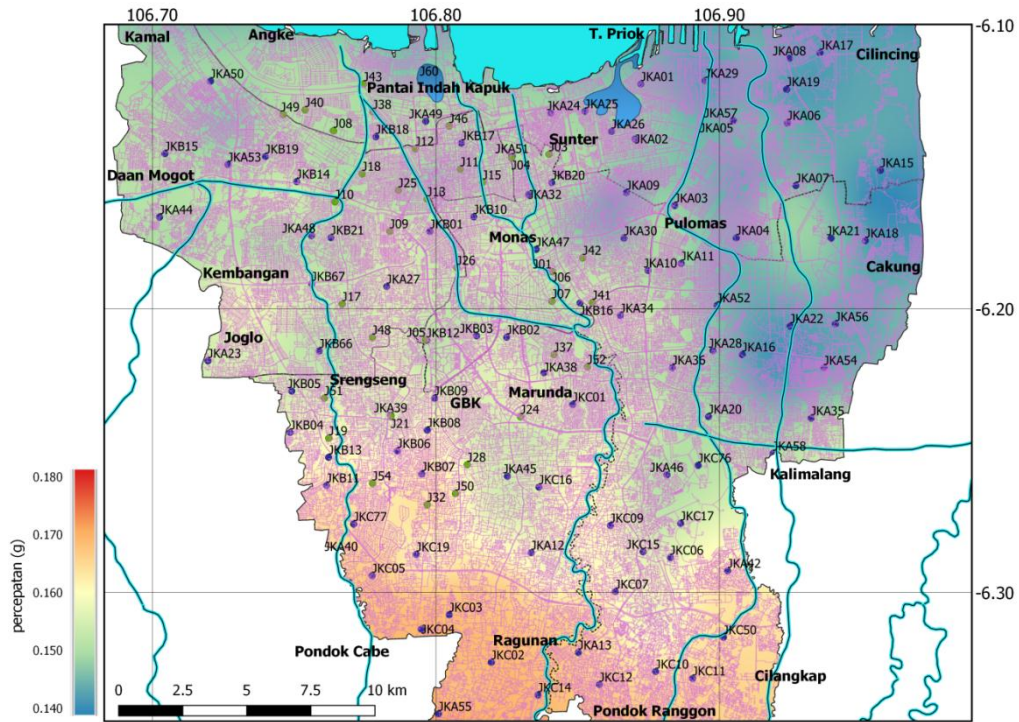
Gambar 4.28. Percepatan pada (a) tanah permukaan dan (b) amplifikasi untuk spektra 1.0 detik, hasil pemodelan dengan skenario gempa bumi bermagnitudo $M_w 6.7$ (kedalaman 9 km) yang bersumber dari Patahan Cimandiri. Data V_s^{30} dan Z^{10} diambil dari Cipta et al. 2019.



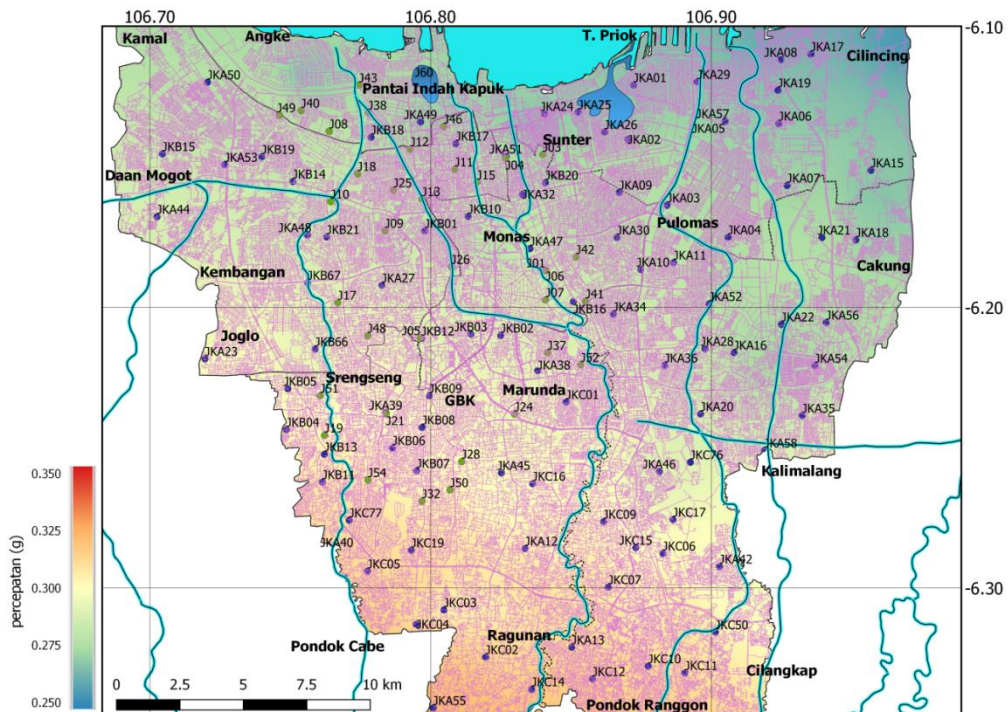
Gambar 4.29. Percepatan pada (a) tanah permukaan dan (b) amplifikasi untuk spektra 4.0 detik, hasil pemodelan dengan skenario gempa bumi bermagnitudo Mw6.7 (kedalaman 9 km) yang bersumber dari Patahan Cimandiri. Data V_s^{30} dan Z^{10} diambil dari Cipta et al 2019.



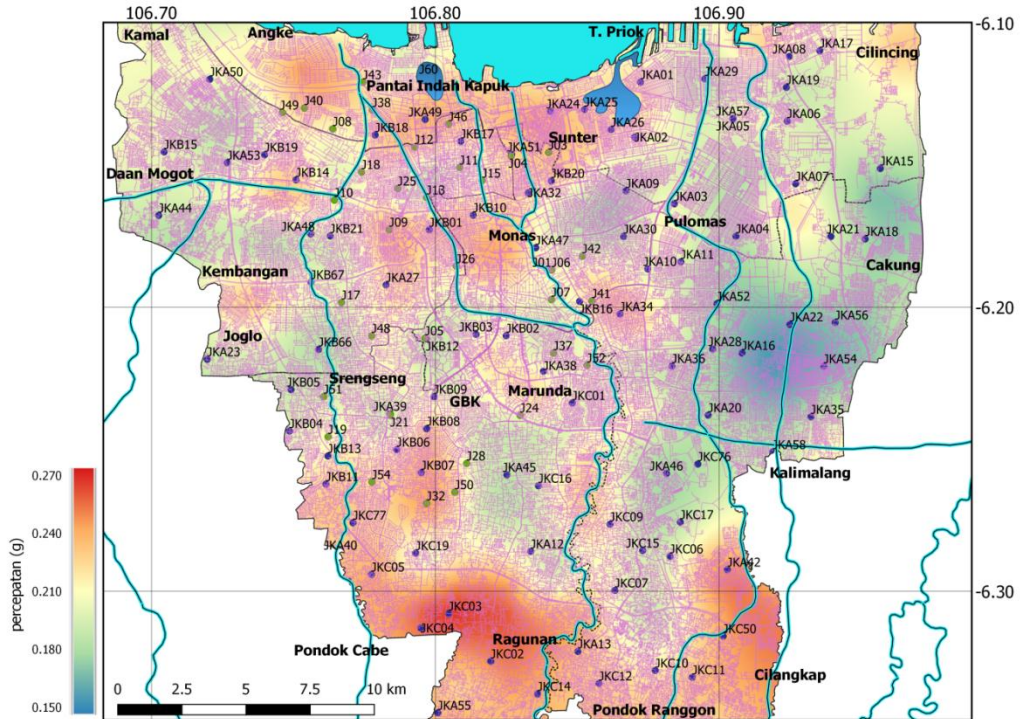
Gambar 4.30. Percepatan pada (a) tanah permukaan dan (b) amplifikasi untuk spektra 10.0 detik, hasil pemodelan dengan skenario gempa bumi bermagnitudo Mw6.7 (kedalaman 9 km) yang bersumber dari Patahan Cimandiri. Data V_S^{30} dan Z^{10} diambil dari Cipta et al 2019.



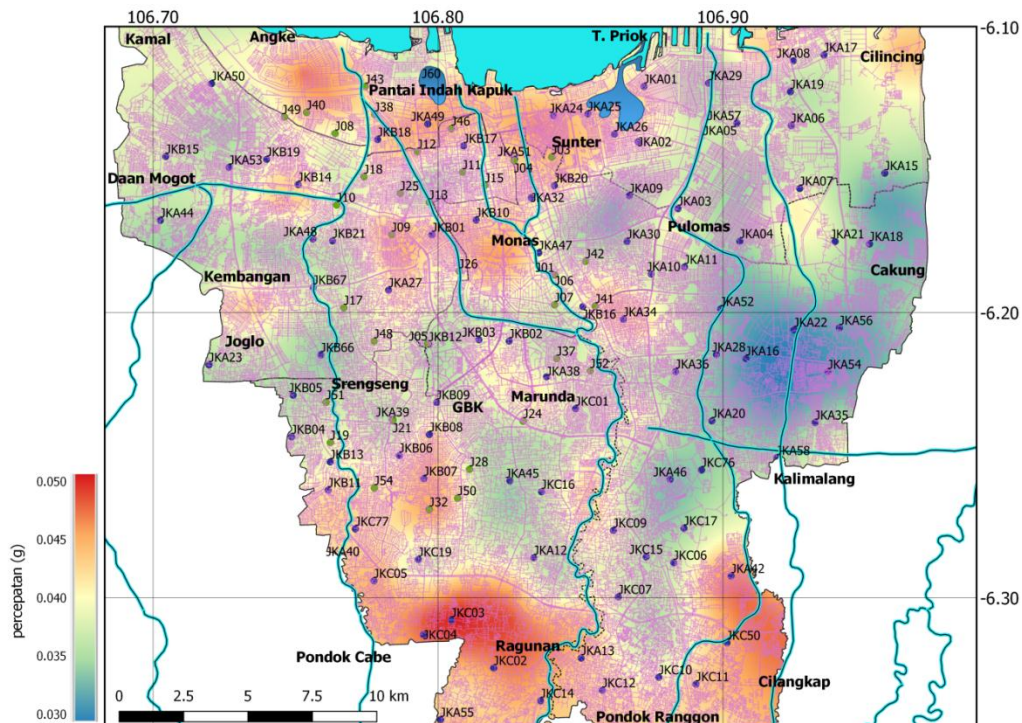
Gambar 4.31. Percepatan tanah puncak pada tanah permukaan hasil pemodelan dengan skenario gempa bumi bermagnitudo $M_w6.7$ (kedalaman 12 km) yang bersumber dari Segmen *West-Central Java*. Data V_s^{30} dan Z^{10} diambil dari Cipta et al 2019.



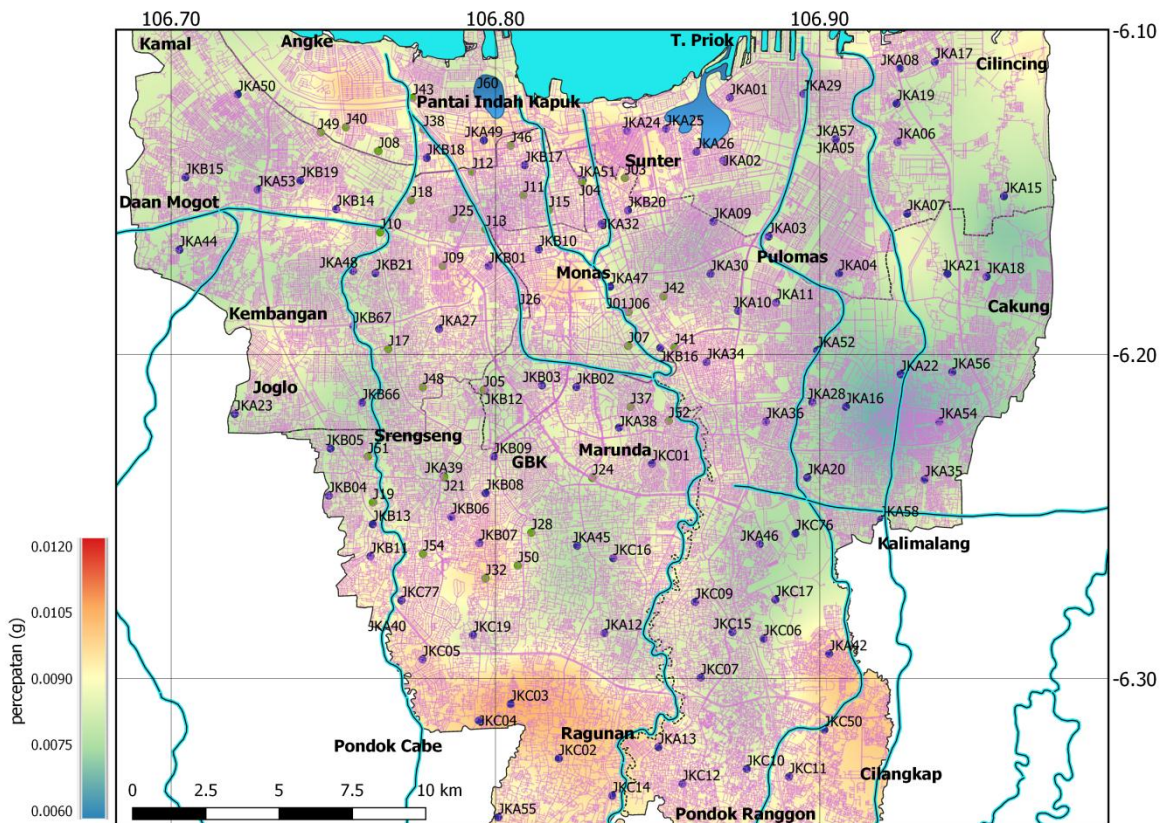
Gambar 4.32. Percepatan tanah puncak pada tanah permukaan untuk spektra 0.2 s hasil pemodelan dengan skenario gempa bumi bermagnitudo $M_w6.7$ (kedalaman 12 km) yang bersumber dari Segmen *West-Central Java*. Data V_s^{30} dan Z^{10} diambil dari Cipta et al 2019.



Gambar 4.33. Percepatan tanah puncak pada tanah permukaan untuk spektra 1.0 s hasil pemodelan dengan skenario gempabumi bermagnitudo Mw6.7 (kedalaman 12 km) yang bersumber dari Segmen *West-Central Java*. Data V_S^{30} dan Z^{10} diambil dari Cipta et al 2019.



Gambar 4.34. Percepatan tanah puncak pada tanah permukaan untuk spektra 4.0 s hasil pemodelan dengan skenario gempabumi bermagnitudo Mw6.7 (kedalaman 12 km) yang bersumber dari Segmen *West-Central Java*. Data V_S^{30} dan Z^{10} diambil dari Cipta et al 2019.



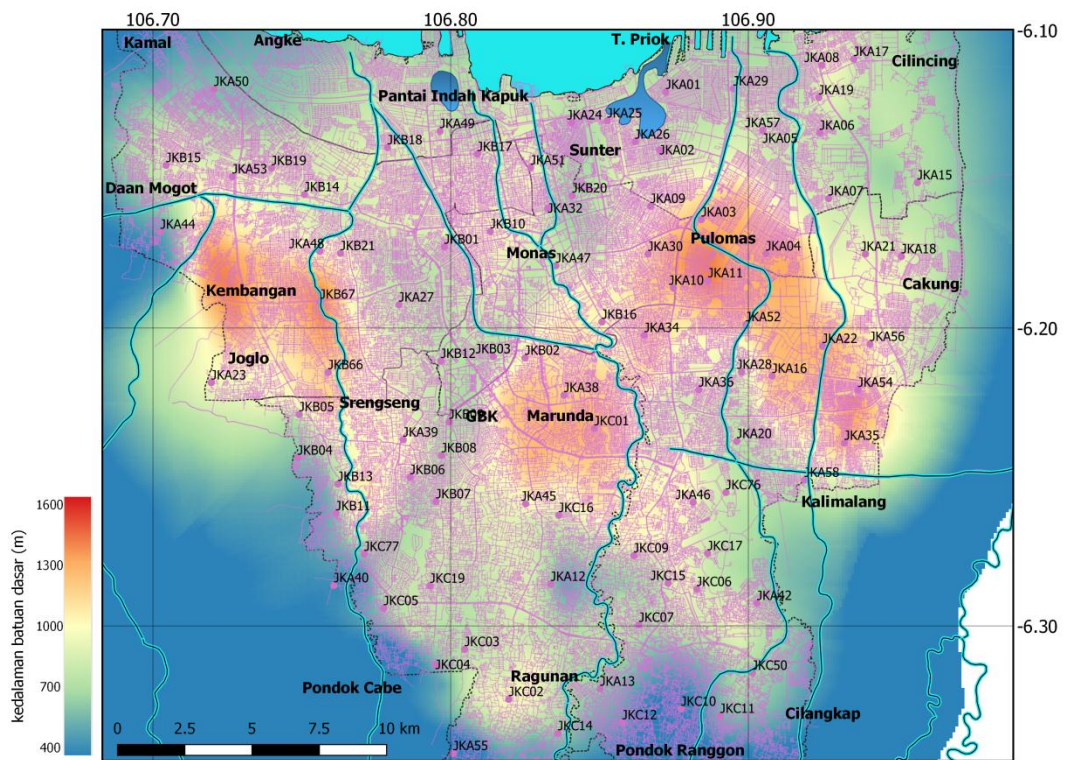
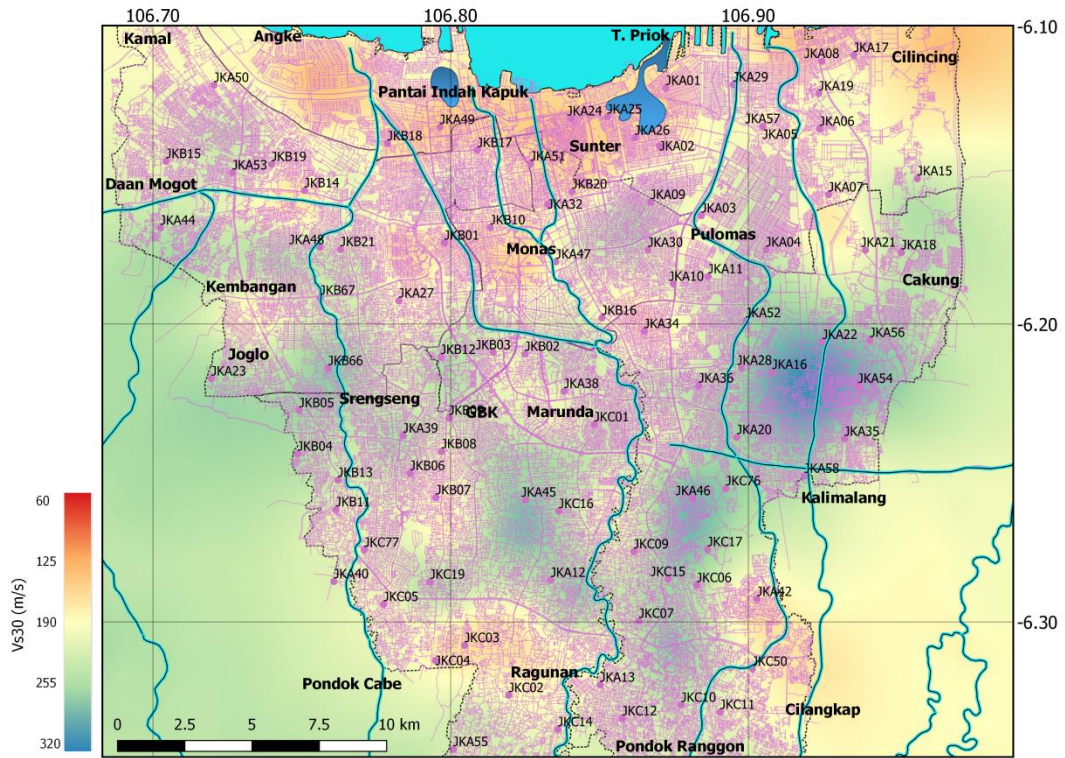
Gambar 4.35. Percepatan tanah pada tanah permukaan untuk spektra 10.0 s hasil pemodelan dengan skenario gempa bumi bermagnitudo $M_w 6.7$ (kedalaman 12 km) yang bersumber dari Segmen *West-Central Java*. Data V_s^{30} dan $Z^{1.0}$ diambil dari Cipta et al 2019.

4.6.4 Bahaya Gempabumi Kawasan Pusat Bisnis Sudirman

Agar hasil pemodelan lebih tepat guna, dalam tulisan berikut akan dipaparkan analisis percepatan gempabumi pada daerah yang terbatas, yaitu di Kawasan Pusat Bisnis Sudirman (*Sudirman Central Business District-SCBD*) hingga Kebayoran. Wilayah dengan luas 18.7 km² tersebut disesaki oleh 30171 bangunan, baik pemukiman, kantor pemerintah, sekolah, rumahsakit, puskesmas/klinik maupun perkantoran.

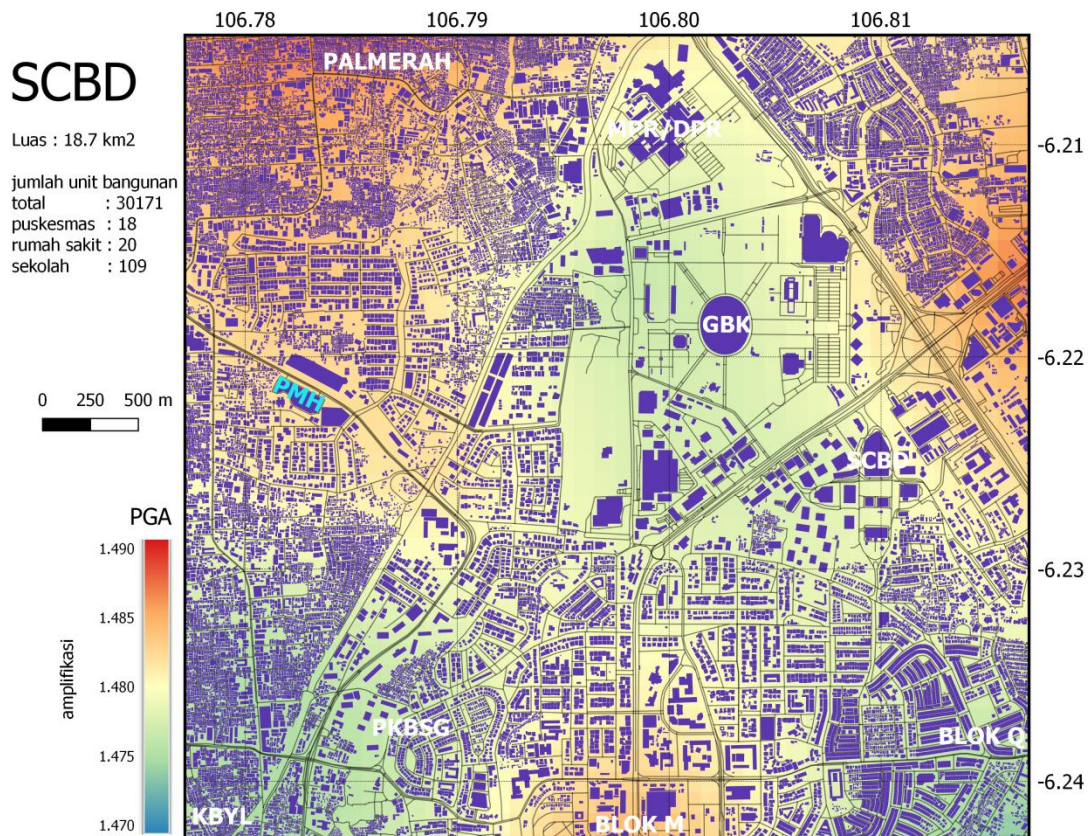
A. Probabilistik

Secara umum, kawasan Senayan, SCBD, dan sebagian Kebayoran, daerah yang dibatasi oleh Jalan (Jl.) Tentara Pelajar di sebelah barat, Jl. Tol S. Parman di Sebelah timur dan Jl. Kyai Maja-Trunojoyo-Tendean secara probabilistik berpotensi mengalami guncangan gempabumi lebih kecil daripada daerah sekitarnya. Kawasan segitiga tersebut, di permukaan disusun oleh sedimen yang sedikit lebih keras ($V_s^{30} \sim 250$ m/s) dibanding sekitarnya ($V_s^{30} \sim 200$ m/s), demikian juga kedalaman cekungan di daerah tersebut lebih dangkal ($Z^{1.0} \sim 700$) daripada daerah sekelilingnya ($Z^{1.0} \sim 1000$), seperti ditunjukkan oleh **Gambar 4.36**.

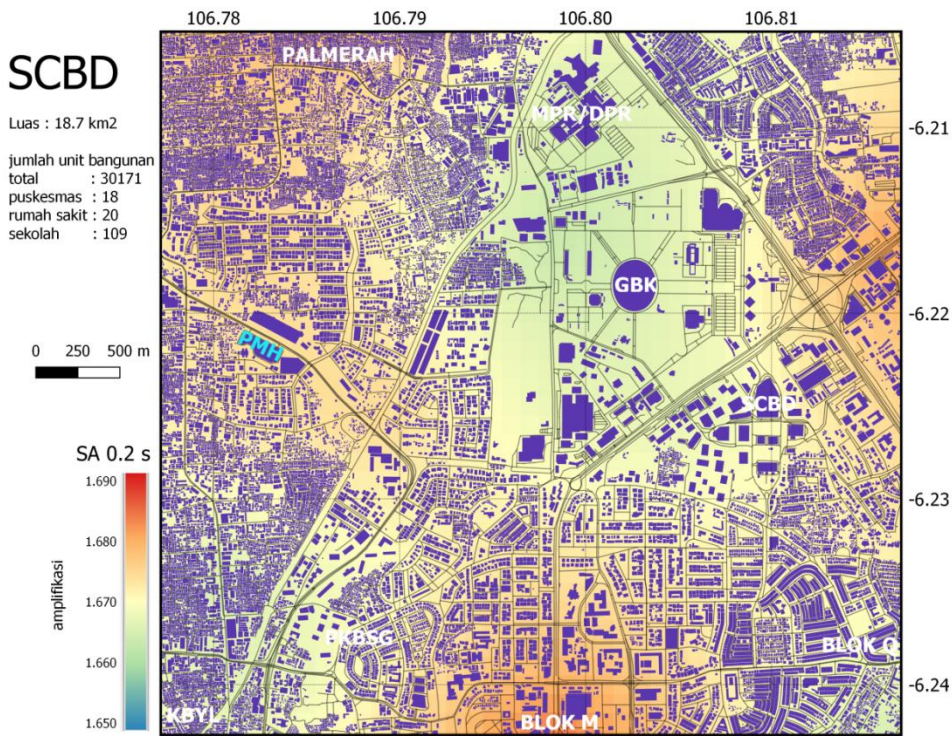


Gambar 4.36. a) Peta V_s^{30} dan b) kedalaman batuan dasar ($Z^{1.0}$) Kota Jakarta (Cipta et al , 2018)

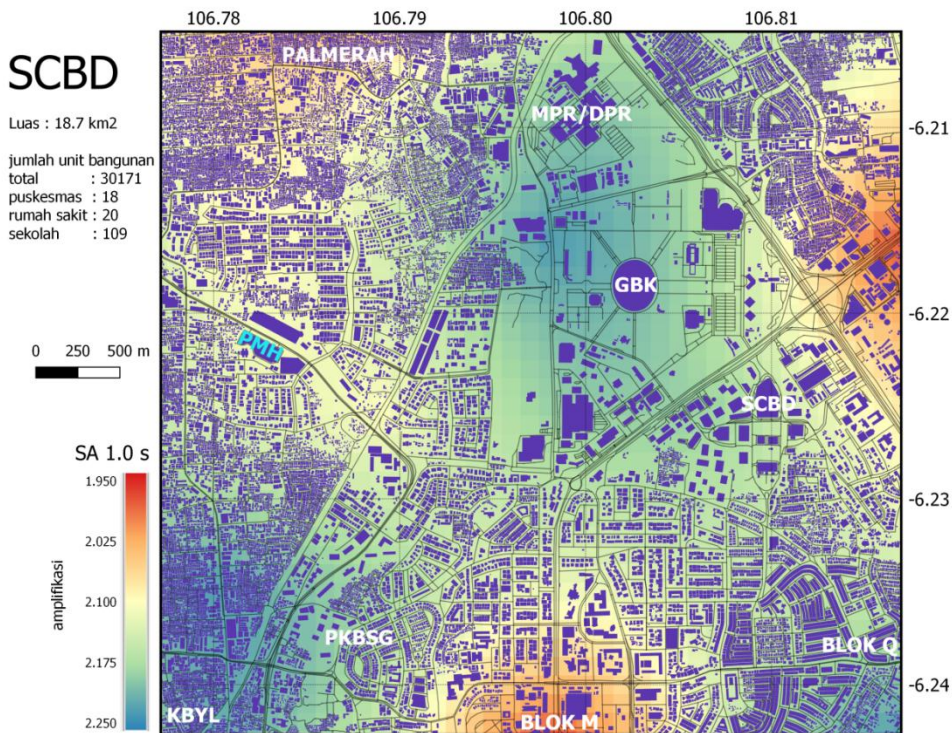
Seperti juga di bagian lain Kota Jakarta, percepatan pada perioda pendek, sangat dipengaruhi oleh VS30 (**Gambar 4.37-4.38**) sedangkan pada perioda panjang, Z1.0 ikut mengontrol percepatan. Pada perioda yang makin panjang, Z1.0 lebih berpengaruh terhadap amplifikasi dibandingkan VS30 (**Gambar 4.39-4.40**).



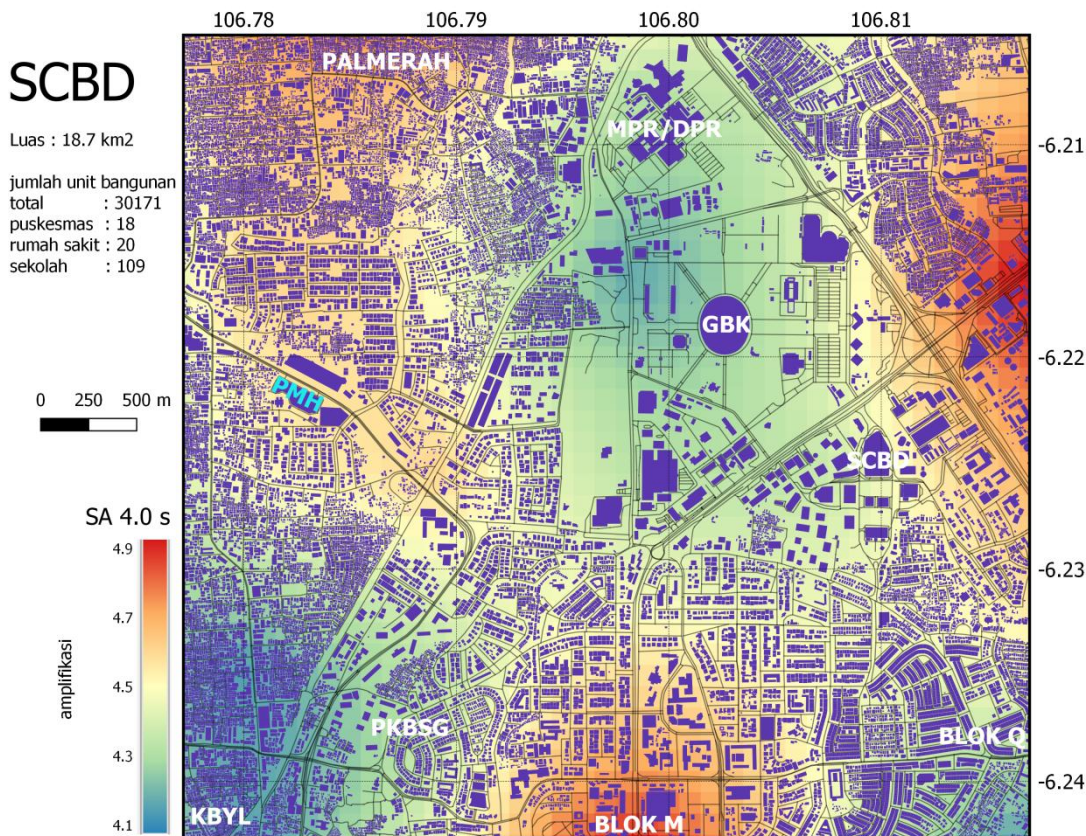
Gambar 4.37. Percepatan tanah puncak pada tanah permukaan di sekitar Pusat Bisnis Sudirman dan sekitarnya. Pendekatan PSHA digunakan untuk menghitung percepatan.



Gambar 4.38. Percepatan pada tanah permukaan di sekitar Pusat Bisnis Sudirman dan sekitarnya pada spektral 0.2 detik. Pendekatan PSHA digunakan untuk menghitung percepatan.



Gambar 4.39. Percepatan tanah puncak pada tanah permukaan di sekitar Pusat Bisnis Sudirman dan sekitarnya pada spektral 1.0 detik. Pendekatan PSHA digunakan untuk menghitung percepatan.



Gambar 4.40. Percepatan tanah puncak pada tanah permukaan di sekitar Pusat Bisnis Sudirman dan sekitarnya pada spektral 4.0 detik. Pendekatan PSHA digunakan untuk menghitung percepatan.

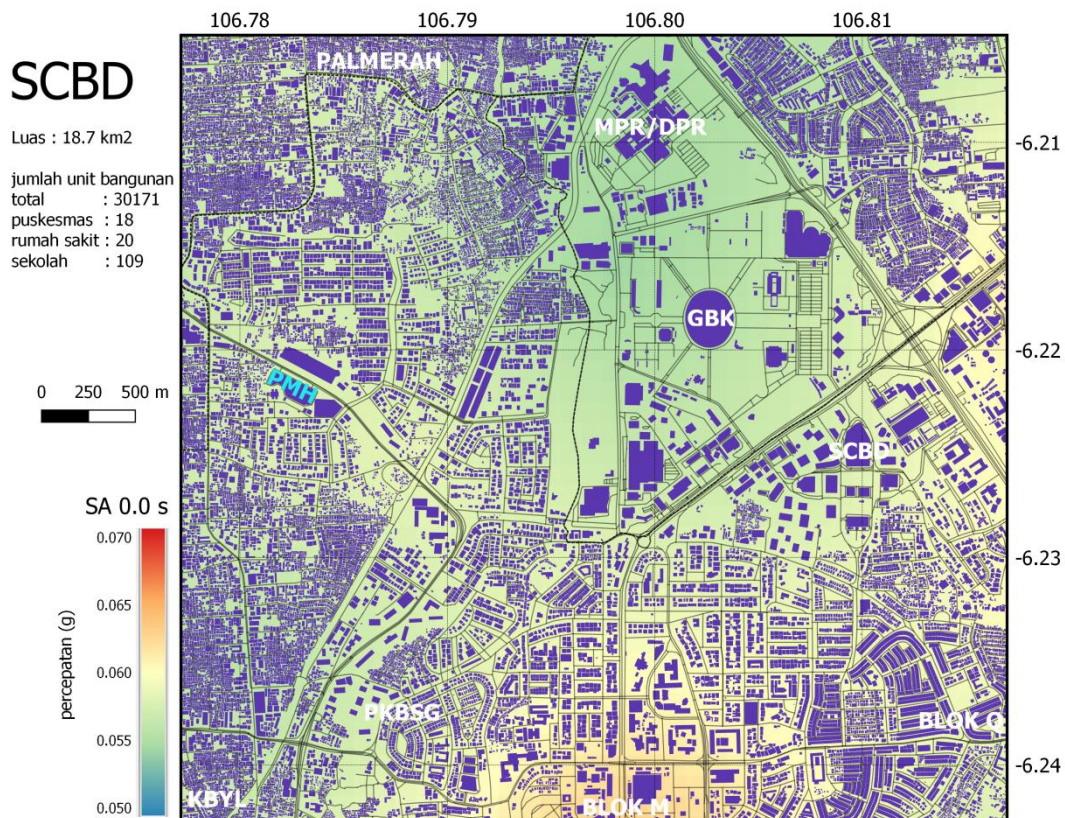
B. Deterministik

Seperti halnya pada pemodelan probabilistik, pemodelan deterministik juga menunjukkan bahwa percepatan yang berpotensi melanda segitiga Jl. Tentara Pelajar – Jl. Tol S. Parman – Jl. Kyai Maja, Trunojoyo, Tendean, berpotensi mengalami guncangan yang lebih kecil daripada kawasan sekitarnya. Untuk skenario gempabumi bermagnitudo Mw6.7 yang bersumber dari Patahan Cimandiri, percepatan di Blok M lebih besar daripada di GBK yang terletak 2.42 km di sebelah utara. Diskrepansi tersebut mencapai 15%, 19%, 34%, 35%, dan 23%, masing-masing untuk PGA dan perioda spektral 0.2, 1.0, 4.0 dan 10.0 detik (Gambar 4.41-4.45).

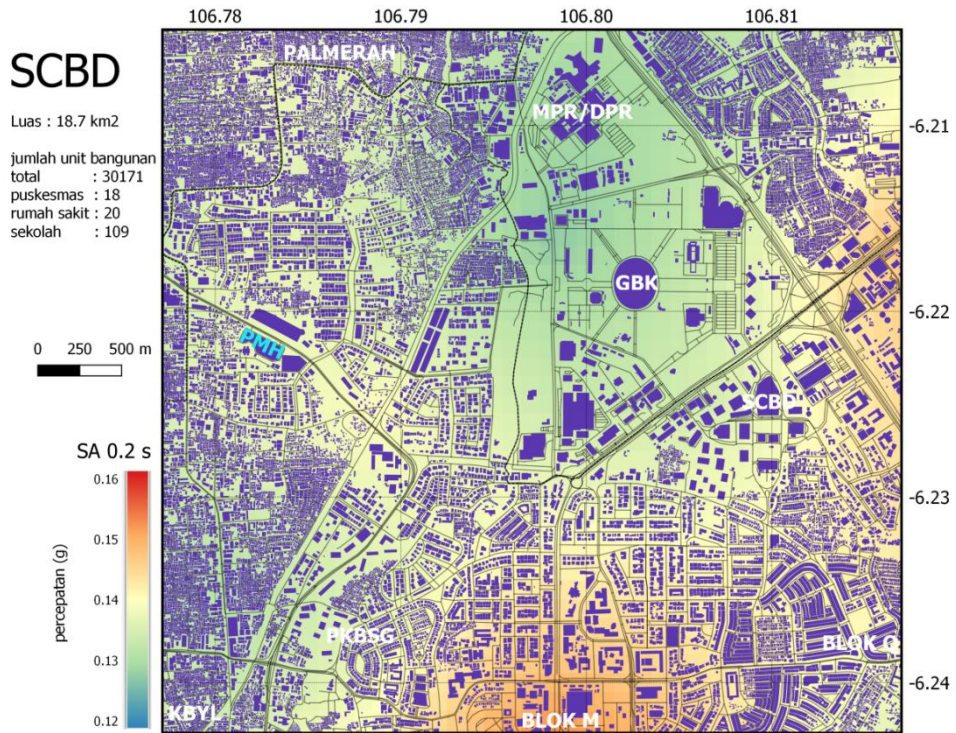
Pemodelan deterministik dengan skenario gempabumi Mw8.7 dan bersumber dari salahsatu segmen *megathrust* Sunda, yaitu *West-Central Java segment*, menunjukkan bahwa percepatan di Blok M lebih besar daripada di GBK dengan besar perbedaan 5%, 3%, 20%, 20%, dan 16%, masing-masing untuk PGA dan perioda spektral 0.2, 1.0, 4.0 dan 10.0 detik (Gambar 4.46-4.50). Selain itu, untuk wilayah Blok M, percepatan yang dihasilkan oleh Gempabumi Subduksi menghasilkan percepatan yang jauh lebih besar dibandingkan dengan percepatan yang dihasilkan Gempabumi Subduksi. Secara rata-rata, Gempabumi Subduksi

menghasilkan percepatan yang lebih besar 62%, 53%, 59%, 54%, dan 79% (PGA dan periode spektral 0.2, 1.0, 4.0 dan 10.0 detik) daripada Patahan Cimandiri.

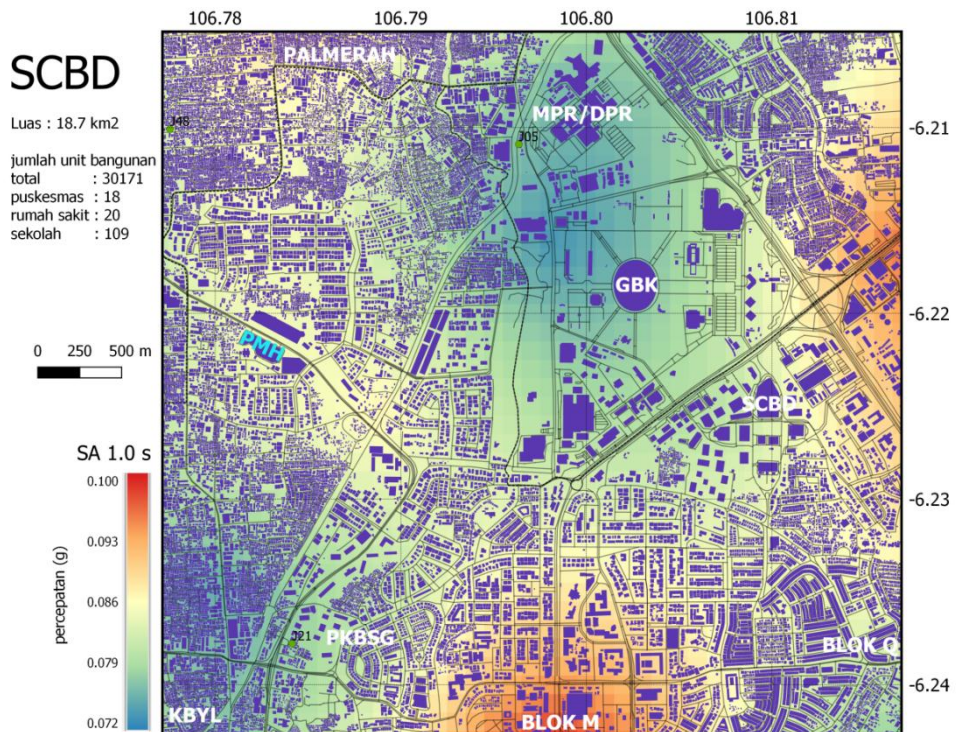
Secara sekilas, nampak bahwa gempa bumi dengan magnitudo besar secara intensif menghasilkan gelombang gempa bumi gelombang panjang. Oleh sebab itu, pada kejadian gempa bumi besar, gedung-gedung tinggi yang dibangun di atas cekungan sedimen yang sangat dalam, berpotensi mengalami guncangan sangat besar. Sebaliknya, untuk gempa bumi kecil, guncangan pada periode pendek akan sangat mempengaruhi bangunan 1-2 lantai yang berdiri di atas sedimen tipis seperti di puncak bukit. Hal ini terbukti pada kejadian Gempa bumi Banjarnegara 2018, kerusakan hanya melanda rumah-rumah penduduk yang berada di lereng dan puncak bukit, sementara rumah yang dibangun di atas Cekungan Kalibening tidak ada yang mengalami kerusakan (Cipta 2018).



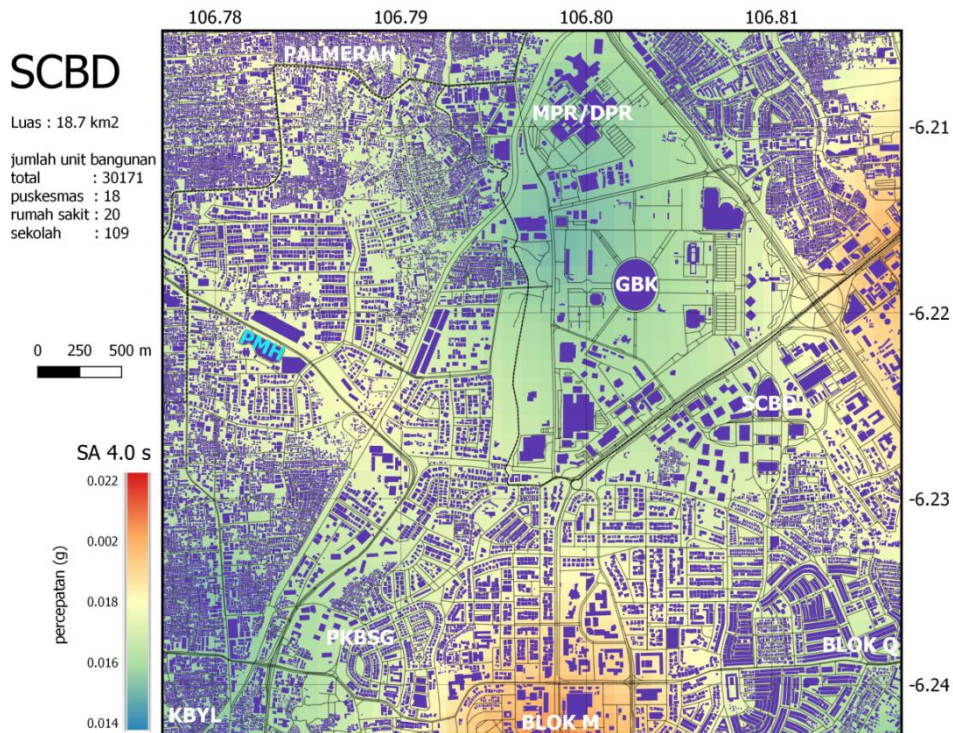
Gambar 4.41 Percepatan tanah puncak pada tanah permukaan di sekitar Pusat Bisnis Sudirman dan sekitarnya. Pemodelan DSHA dengan skenario gempa bumi bermagnitudo Mw6.7 bersumber dari Sesar Cimandiri.



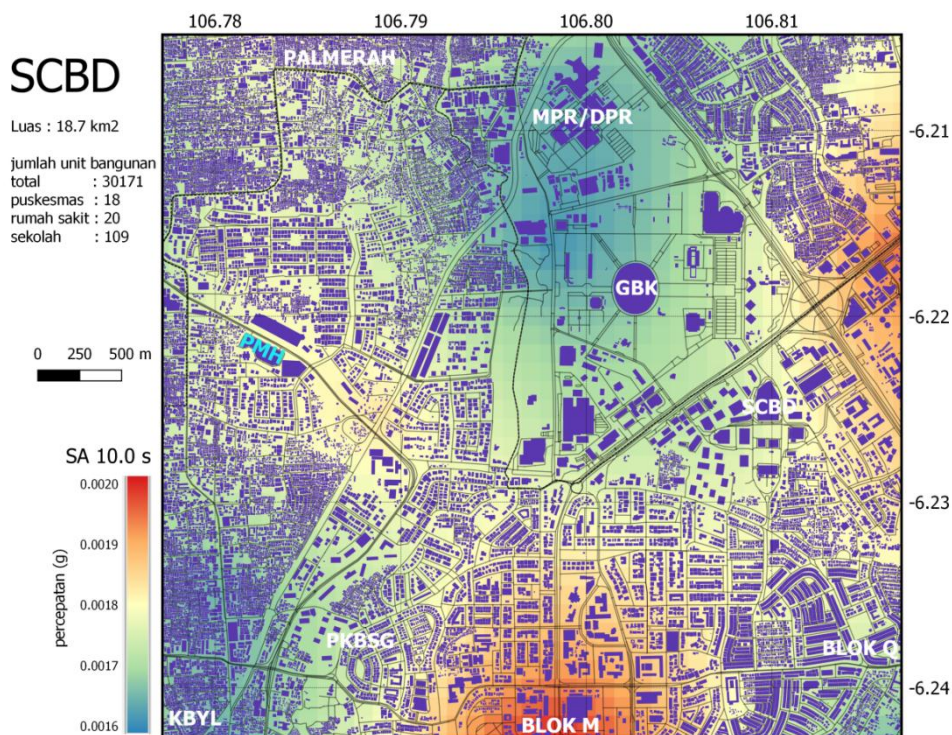
Gambar 4.42. Percepatan pada tanah permukaan di sekitar Pusat Bisnis Sudirman dan sekitarnya pada spektral 0.2 detik. Pemodelan DSHA dengan skenario gempa bumi bermagnitudo Mw6.7 bersumber dari Sesar Cimandiri.



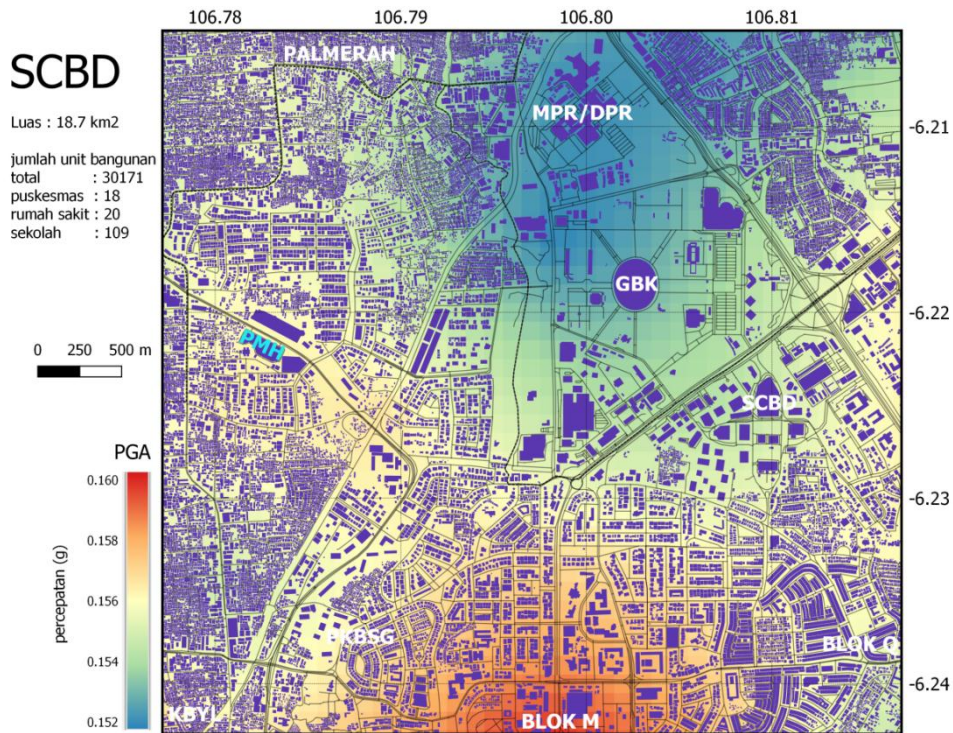
Gambar 4.43 Percepatan pada tanah permukaan di sekitar Pusat Bisnis Sudirman dan sekitarnya pada spektral 1.0 detik. Pemodelan DSHA dengan skenario gempa bumi bermagnitudo Mw6.7 bersumber dari Sesar Cimandiri.



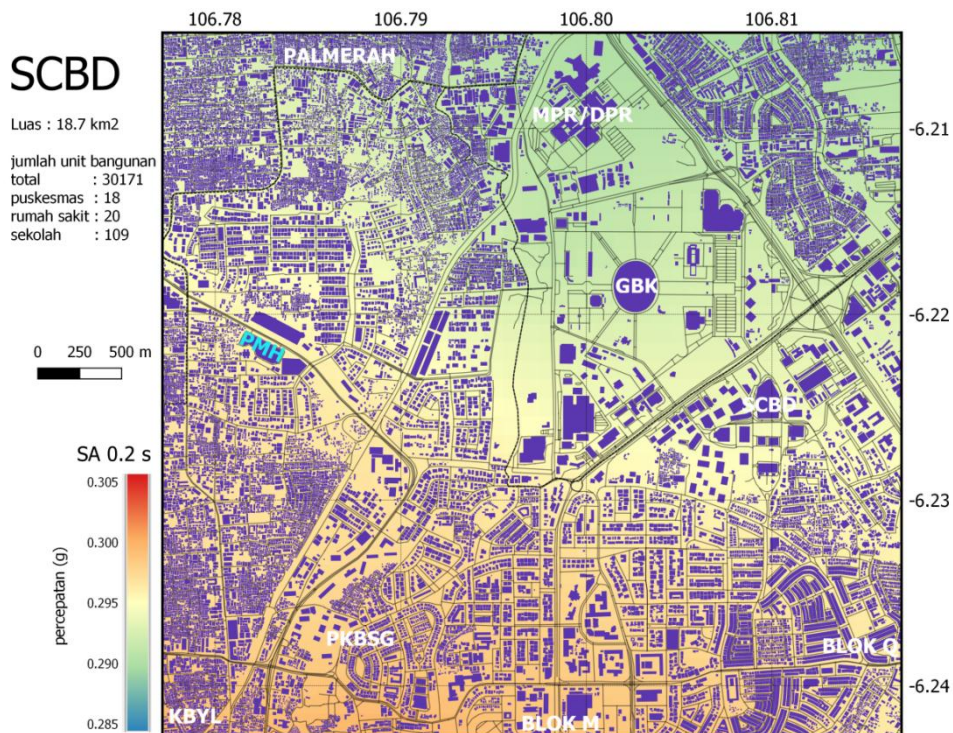
Gambar 4.44 Percepatan pada tanah permukaan di sekitar Pusat Bisnis Sudirman dan sekitarnya pada spektral 4.0 detik. Pemodelan DSHA dengan skenario gempa bumi bermagnitudo Mw6.7 bersumber dari Sesar Cimandiri.



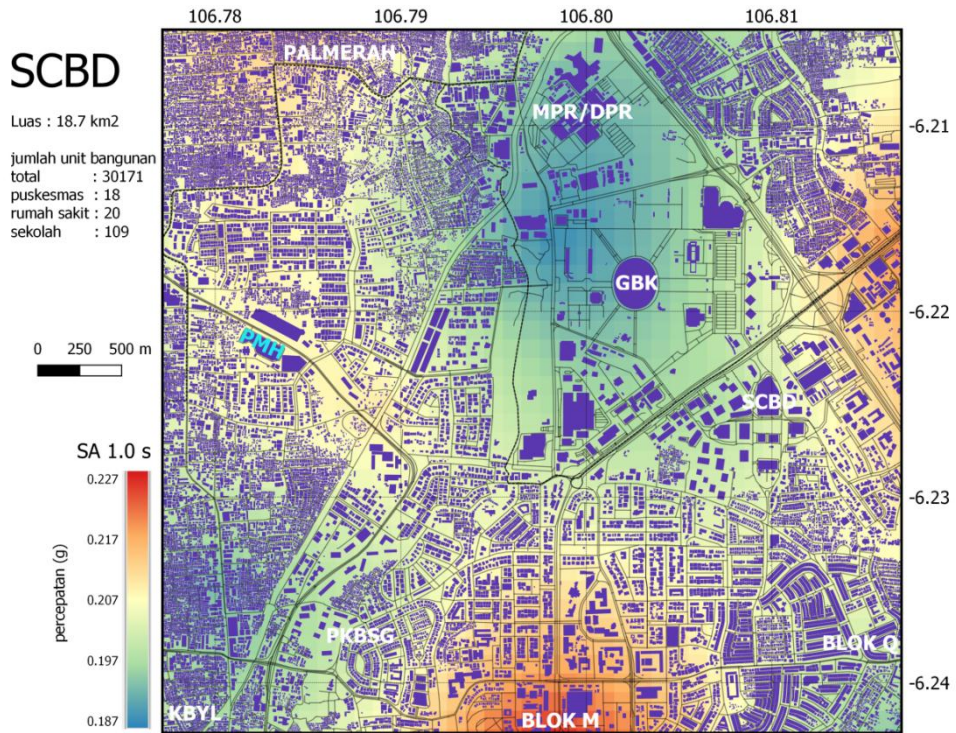
Gambar 4.45. Percepatan pada tanah permukaan di sekitar Pusat Bisnis Sudirman dan sekitarnya pada spektral 10.0 detik. Pemodelan DSHA dengan skenario gempa bumi bermagnitudo Mw6.7 bersumber dari Sesar Cimandiri.



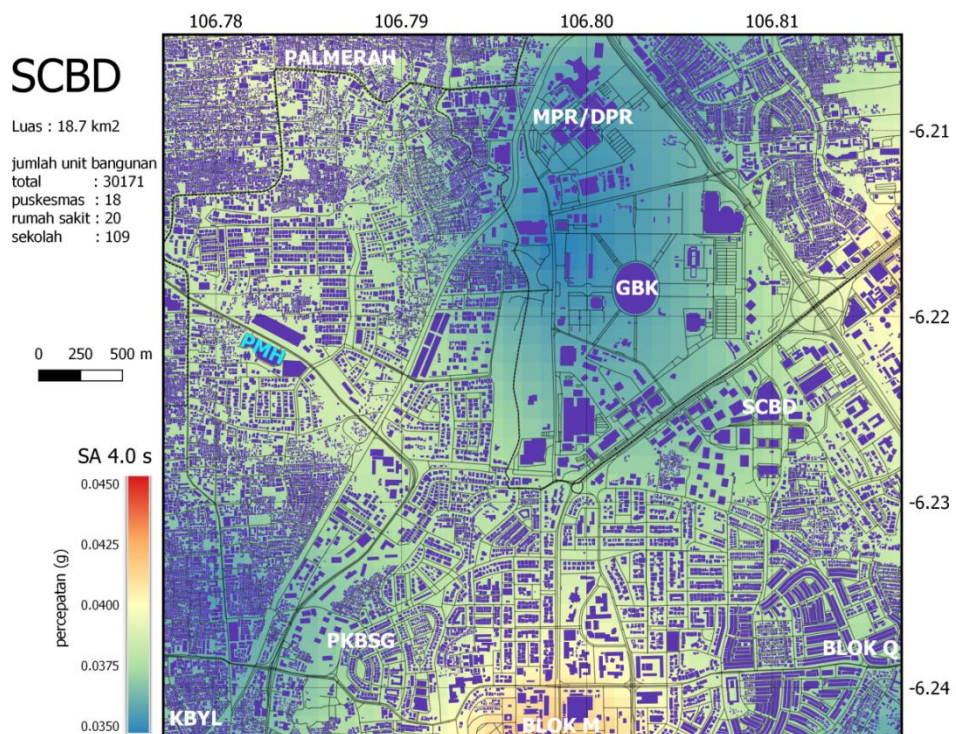
Gambar 4.46 Percepatan tanah puncak pada tanah permukaan di sekitar Pusat Bisnis Sudirman dan sekitarnya. Pemodelan DSHA dengan skenario gempa bumi bermagnitudo Mw8.7 bersumber dari Megathrust segmen *West-Central Java*.



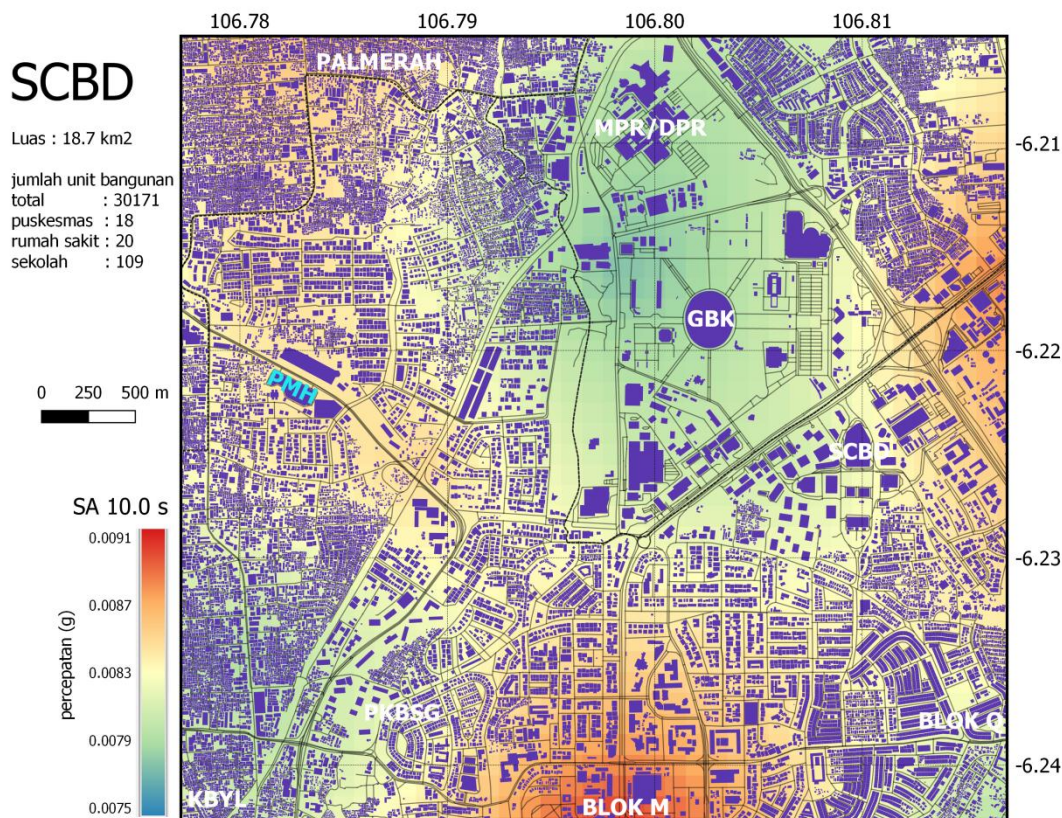
Gambar 4.47 Percepatan pada tanah permukaan di sekitar Pusat Bisnis Sudirman dan sekitarnya pada spektral 0.2 detik. Pemodelan DSHA dengan skenario gempa bumi bermagnitudo Mw8.7 bersumber dari Megathrust segmen *West-Central Java*.



Gambar 4.48 Percepatan pada tanah permukaan di sekitar Pusat Bisnis Sudirman dan sekitarnya pada spektral 1.0 detik. Pemodelan DSHA dengan skenario gempabumi bermagnitudo Mw8.7 bersumber dari Megathrust segmen *West-Central Java*.



Gambar 4.49 Percepatan pada tanah permukaan di sekitar Pusat Bisnis Sudirman dan sekitarnya pada spektral 4.0 detik. Pemodelan DSHA dengan skenario gempabumi bermagnitudo Mw8.7 bersumber dari Megathrust segmen *West-Central Java*.



Gambar 4.50 Percepatan pada tanah permukaan di sekitar Pusat Bisnis Sudirman dan sekitarnya pada spektral 10.0 detik. Pemodelan DSHA dengan skenario gempa bumi bermagnitudo Mw8.7 bersumber dari Megathrust segmen *West-Central Java*.

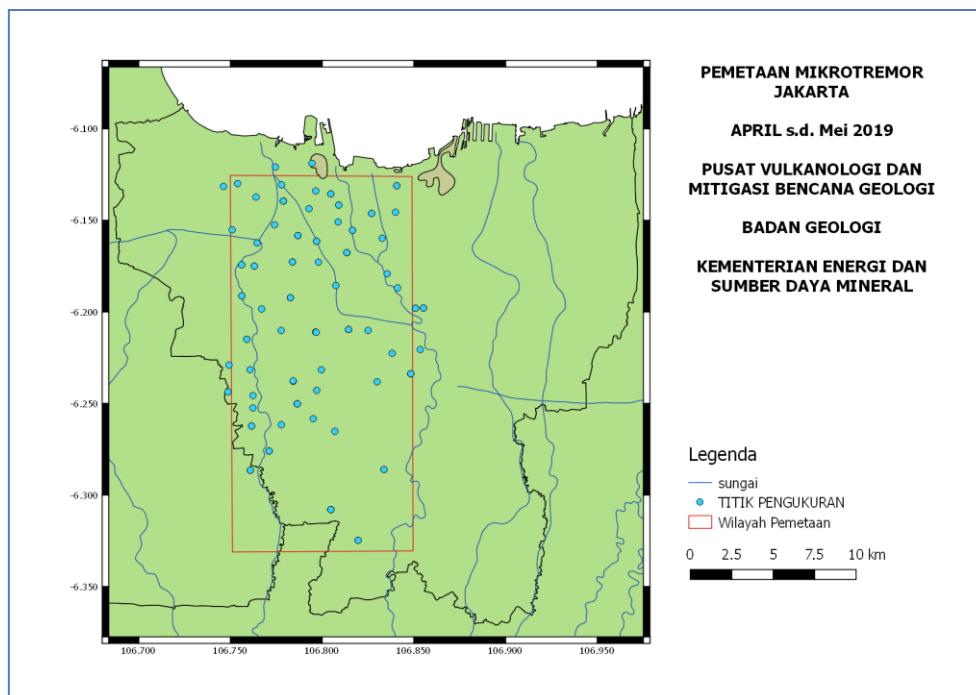
Sebagai bahan evaluasi atas peta rawan bencana gempa bumi, dalam tulisan ini akan dipaparkan perbandingan antara hasil pemodelan guncangan gempa bumi dengan *building code* di Indonesia. Building code di Indonesia didasarkan atas desain spektra yang termuat dalam SNI1726-2012. Monas dan SCBD dijadikan conto perbandingan antara respons spektra yang dihasilkan dalam pemodelan yang telah dipaparkan di atas dengan desain spektra SNI1726-2012.

Penelitian mengenai sumber gempa bumi dan masing-masing parameternya serta karakteristik cekungan, geologi lokal serta fungsi atenuasi benar-benar merupakan domain ilmu murni namun kewenangan untuk menempatkan penelitian tersebut menjadi arus utama adalah keputusan politik yang harus dibuat oleh pembuat kebijakan. Setelah parameter dasar dan rumus empiris tersedia, adalah tugas *modeler* untuk membuat model percepatan gempa bumi untuk kemudian bersama-sama dengan ahli teknik menganalisis bahaya potensi gempa bumi. Para ahli teknik pula yang akhirnya membuat rekomendasi tentang desain yang akan ditujukan kepada pembuat kebijakan tata kota.

4.7 Pemetaan Mikrozonasi Gempa Bumi Area Terpilih

Pengukuran mikrotremor sebagai bagian dari kegiatan pemetaan mikrozonasi wilayah Jakarta telah dilakukan di 59 titik yang meliputi seluruh area yang direncanakan. Peta dari titik-titik pengukuran dapat dilihat pada gambar 4.51 berikut ini.

Hasil dari kegiatan ini adalah kondisi dari geologi lokal dalam kaitannya dengan guncangan gempa bumi yang dapat terjadi di wilayah ini. Kondisi dari geologi lokal yang dihitung mencakup dua hal, kecepatan gelombang geser rata-rata sampai kedalaman 30 meter (V_{s30}) dan kedalaman cekungan ($z_{1.0}$). Keberadaan kedua parameter ini sangat vital ketika gempa bumi terjadi. Parameter V_{s30} , sensitif terhadap periode pendek yang berasosiasi dengan bangunan pendek. Sementara itu, parameter $z_{1.0}$ sensitif terhadap periode panjang yang dimiliki oleh bangunan-bangunan tinggi (Cipta dkk, 2018).



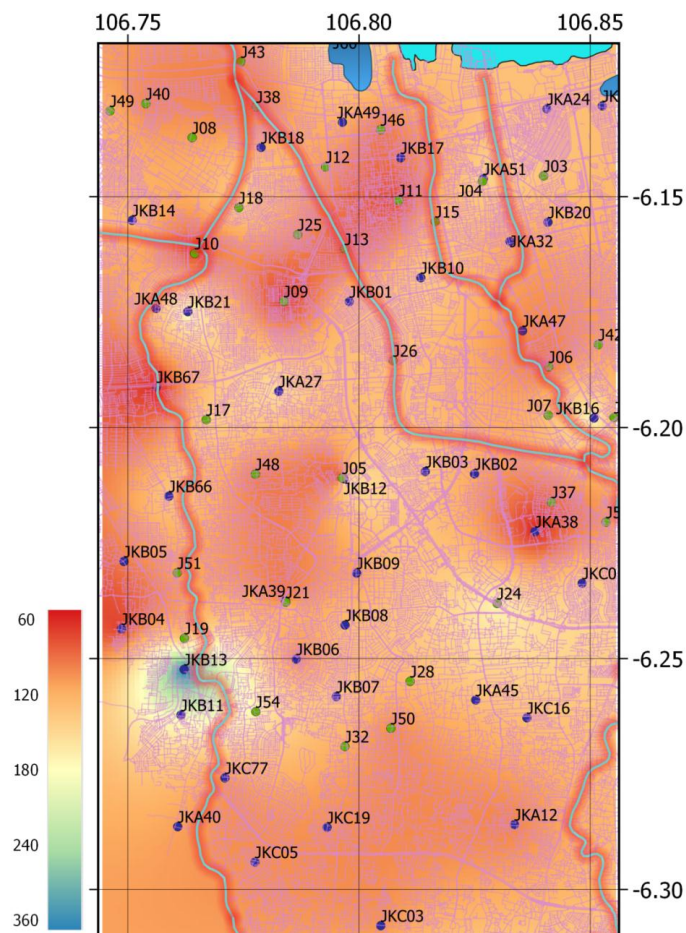
Gambar 4.51. Peta titik-titik pengukuran mikrotremor di wilayah Jakarta.

4.7.1 Analisis V_{s30}

Guncangan tanah selama gempa bumi dapat mengalami penguatan (amplifikasi) ketika merambat melalui sedimen permukaan yang belum terkonsolidasi (tanah, lapukan batuan, aluvium), yang secara kolektif disebut *regolith*. Maka dari itu, aspek *regolith* harus dimasukkan kedalam perhitungan estimasi guncangan gempa bumi dalam setiap analisis

bahaya gempa bumi (Robinson dkk., 2006). Teori propagasi gelombang elastis menjelaskan bahwa amplitudo gerakan tanah di permukaan dipengaruhi oleh kepadatan dan kecepatan gelombang geser dari media dekat permukaan (i.e. Aki & Richards, 1980). Karena kepadatan bergantung pada kedalaman, maka amplifikasi gelombang seismik akan ditentukan oleh kecepatan gelombang geser dekat permukaan atau diwakili oleh nilai V_s^{30} .

Hasil pengolahan V_s^{30} untuk wilayah Jakarta ditampilkan pada gambar 9. Nilai V_s^{30} di wilayah Jakarta memiliki nilai bervariasi antara 60 - 360 m/s. Berdasarkan klasifikasi kelas tanah dari *National Earthquake Hazard Reduction Program (NEHRP)*, dapat diklasifikasikan kedalam kelas E atau tanah lunak ($V_s < 180$ m/s) dan kelas D atau tanah sedang ($180 \text{ m/s} < V_s < 360$ m/s). Kondisi ini menyebabkan wilayah Jakarta rentan mengalami penguatan guncangan gempa bumi ketika gempa bumi terjadi, sehingga pembangunan infrastruktur di wilayah ini perlu memperhatikan kaidah bangunan tahan gempa untuk mereduksi dampak negatif yang terjadi di wilayah ini.



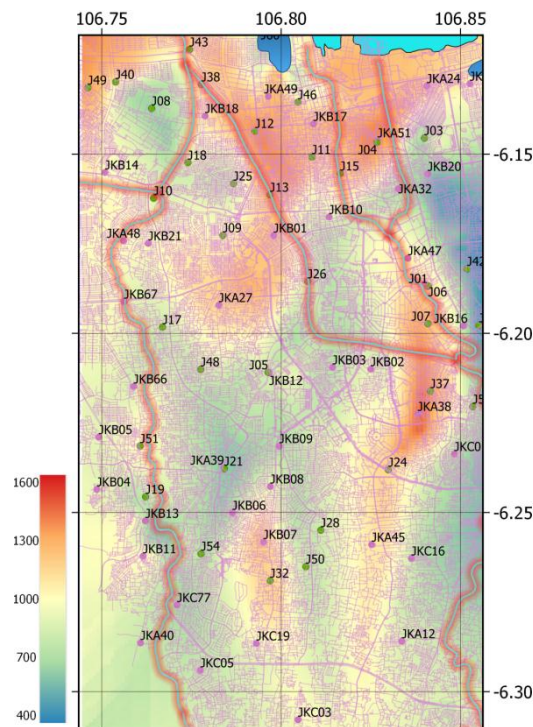
Gambar 4.52. Peta sebaran V_s^{30} wilayah Jakarta.

4.7.2 Analisis Kedalaman Cekungan

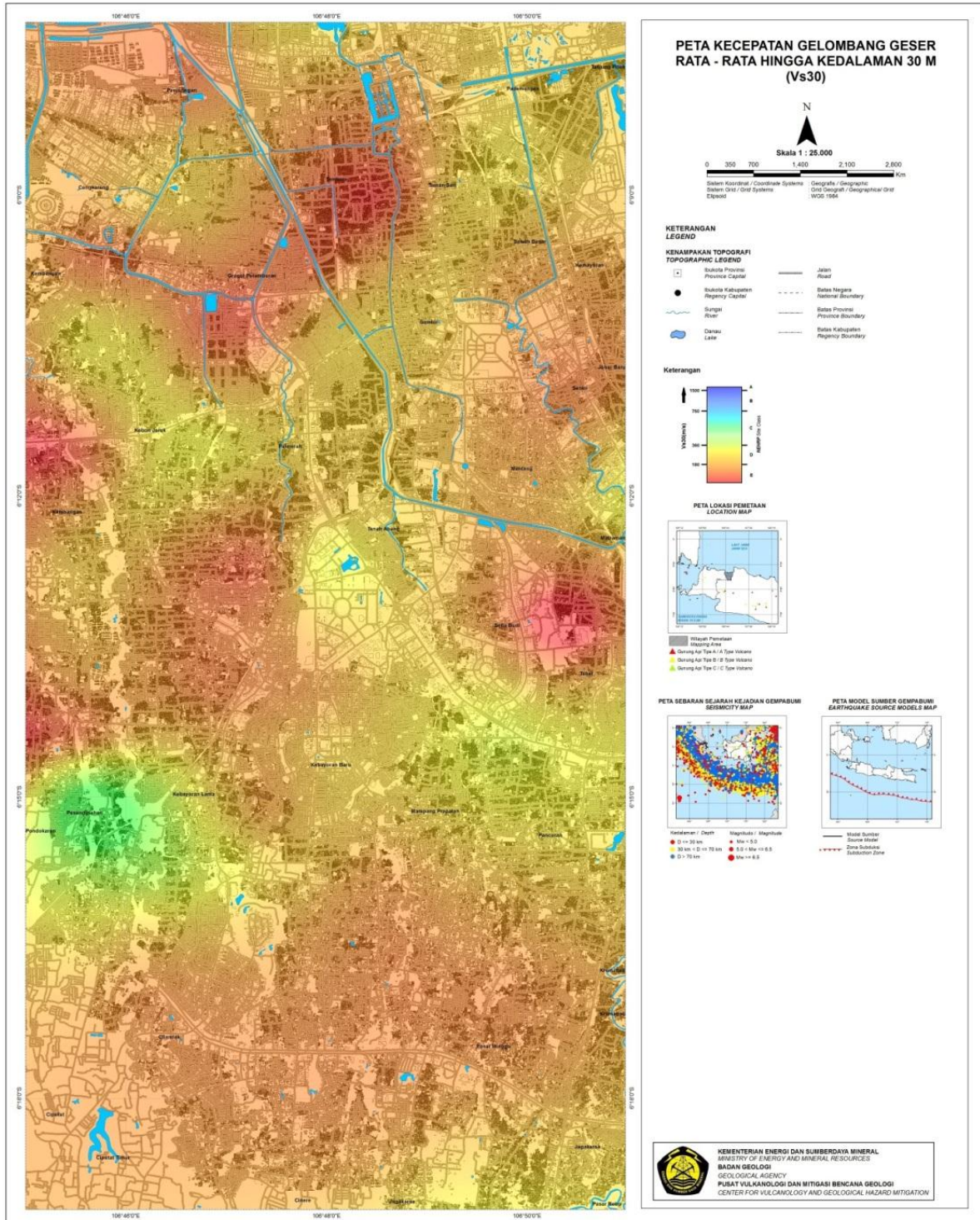
Amplifikasi yang disebabkan oleh adanya akumulasi sedimen di atas batuan dasar disebut *basin resonance* (resonansi cekungan). Paleo-topografi batuan dasar menyebabkan total ketebalan sedimen yang terakumulasi di atas batuan dasar dapat sangat berbeda dari satu titik ke titik lainnya. Ketebalan sedimen atau kedalaman cekungan berfungsi sebagai *filter* yang akan meneruskan dan mengamplifikasi gelombang gempa bumi dengan frekuensi tertentu.

Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa wilayah Jakarta terletak di atas cekungan yang memiliki kedalaman 400 m hingga 1600 m (gambar 10). Wilayah bagian selatan Jakarta memiliki kedalaman yang lebih dangkal dibandingkan dengan wilayah utara Jakarta. Sementara itu, wilayah ke arah timur Jakarta pun memiliki kedalaman cekungan yang relatif lebih dangkal dibandingkan wilayah utara Jakarta. Wilayah Jakarta secara umum terletak diatas cekungan yang memiliki sedimen tebal. Karakter sedimen yang tebal dapat memperkuat guncangan gempa bumi dengan periode panjang yang berasosiasi dengan bangunan-bangunan tinggi.

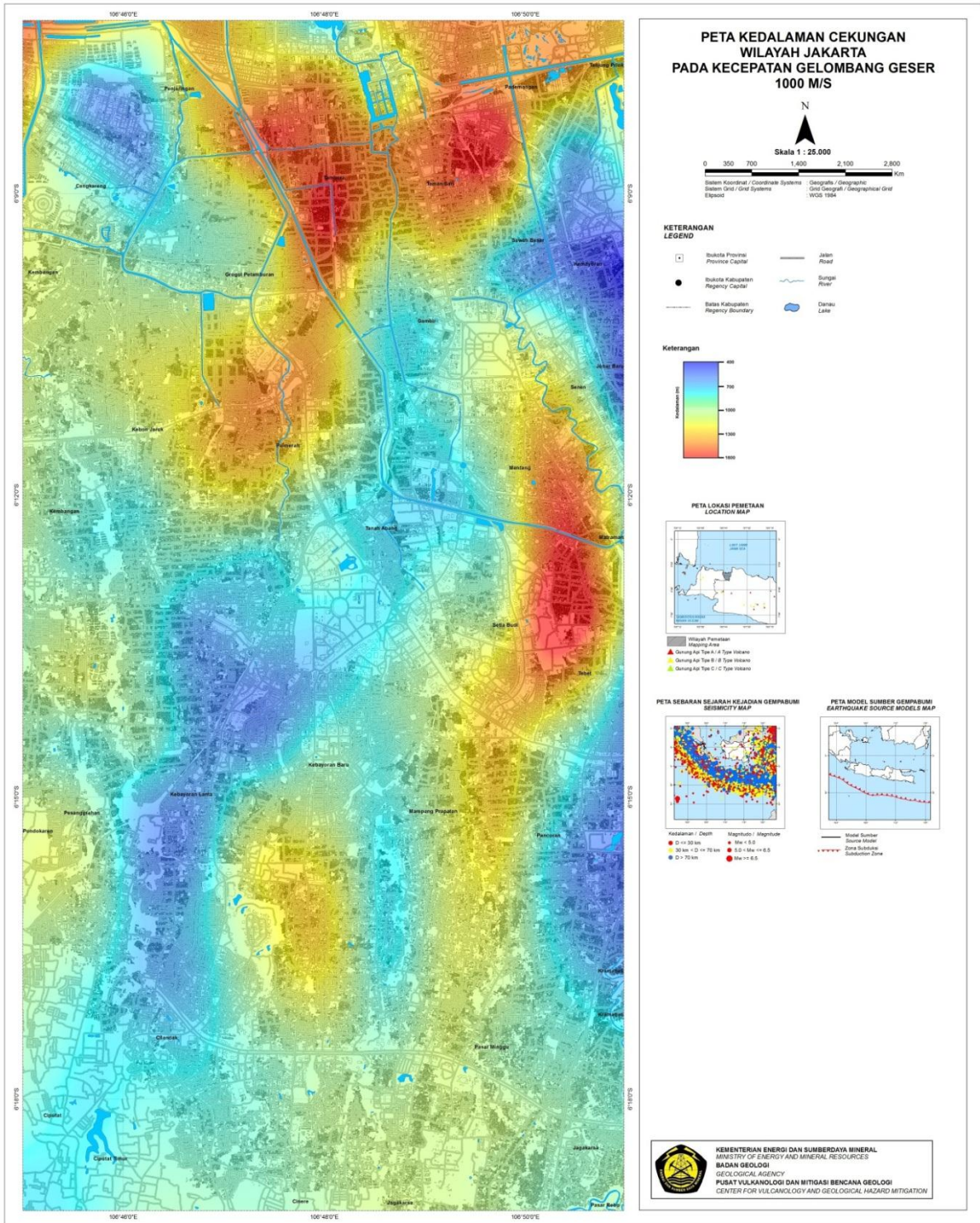
Sebagai upaya untuk mereduksi dampak gempa bumi, khususnya pada bangunan-bangunan tinggi yang banyak terdapat di Jakarta, maka aspek ketebalan sedimen perlu diperhitungkan di fase desain bangunan.



Gambar 4.53. Peta sebaran Vs 1000 m/s wilayah Jakarta.



Gambar 4.54. Peta sebaran kedalaman cekungan wilayah Jakarta dengan Vs 30 m/s.



Gambar 4.55. Peta sebaran kedalaman cekungan wilayah Jakarta dengan Vs 1000 m/s.

4.7.3. Kesimpulan

Kegiatan pemetaan mikrozonasi Jakarta yang dilakukan pada bulan April hingga Juni 2019 di wilayah Jakarta menghasilkan dua keluaran utama. Keluaran utama tersebut terdiri dari peta sebaran nilai kecepatan gelombang geser rata-rata sampai kedalaman 30 meter (Vs30) dan

peta ketebalan sedimen yang dinyatakan dalam kedalaman ketika gelombang geser mencapai nilai 1.000 m/s ($z1.0$). Hasil dari kegiatan ini dapat disarikan sebagai berikut:

- Nilai V_{s30} di wilayah Jakarta memiliki nilai bervariasi antara 60 - 360 m/s, yang dapat diklasifikasikan kedalam kelas E atau tanah lunak ($V_s < 180$ m/s) dan kelas D atau tanah sedang (180 m/s $< V_s < 360$ m/s).
- Karakter dari batuan kelas E dan D ini dapat memperkuat guncangan gempa bumi, khususnya untuk bangunan - bangunan yang memiliki periode pendek seperti bangunan satu atau dua lantai.
- Nilai kedalaman cekungan di wilayah Jakarta memiliki nilai yang cukup besar, antara 400 hingga 1600 meter. Nilai cekungan yang dalam menunjukkan tebalnya sedimen yang ada di bawah wilayah Jakarta.
- Sedimen yang tebal dapat memperkuat guncangan gempa bumi, khususnya untuk bangunan - bangunan yang memiliki periode panjang seperti bangunan - bangunan tinggi yang terdapat di wilayah Jakarta.
- Perpaduan nilai V_{s30} yang relatif rendah di seluruh wilayah Jakarta beserta sedimen tebal di wilayah ini memberikan risiko yang tinggi terhadap bahaya gempa bumi, sehingga proses pembangunan di wilayah ini perlu memperhatikan kaidah-kaidah pembuatan bangunan tahan gempa untuk meminimalisir dampak gempa bumi yang dapat terjadi di masa depan.

4.8 Pemetaan Zona Kerentanan Gerakan Tanah (ZKGT) Area Terpilih

4.8.1. Jenis dan Distribusi Gerakan tanah

Jenis gerakan tanah yang terdapat di daerah pemetaan Bopunjur umumnya berjenis longsoran bahan rombakan, nendatan, dan aliran bahan rombakan. Berdasarkan penyelidikan lapangan dan interpretasi citra, secara keseluruhan terdapat 870 titik lokasi gerakan tanah dengan dimensi kecil sampai sedang, baik itu berupa longsoran, nendatan, aliran bahan rombakan.

Gerakan tanah tipe longsoran terutama terjadi pada tebing-tebing jalan, lereng yang terpotong untuk pemukiman dan alur-alur air pada tebing jalan yang berada pada daerah perbukitan dengan relief sedang sampai kasar. Gerakan tanah tipe longsoran banyak juga dijumpai pada tebing di daerah pemukiman warga seperti kejadian di pada lereng yang memiliki kemiringan terjal di Desa Ciherang Pondok, Kec. Caringin, dan mengancam bangunan yang ada di atasnya dan kejadian di pemukiman Kp. Kompa Satu, Desa Sipayung,

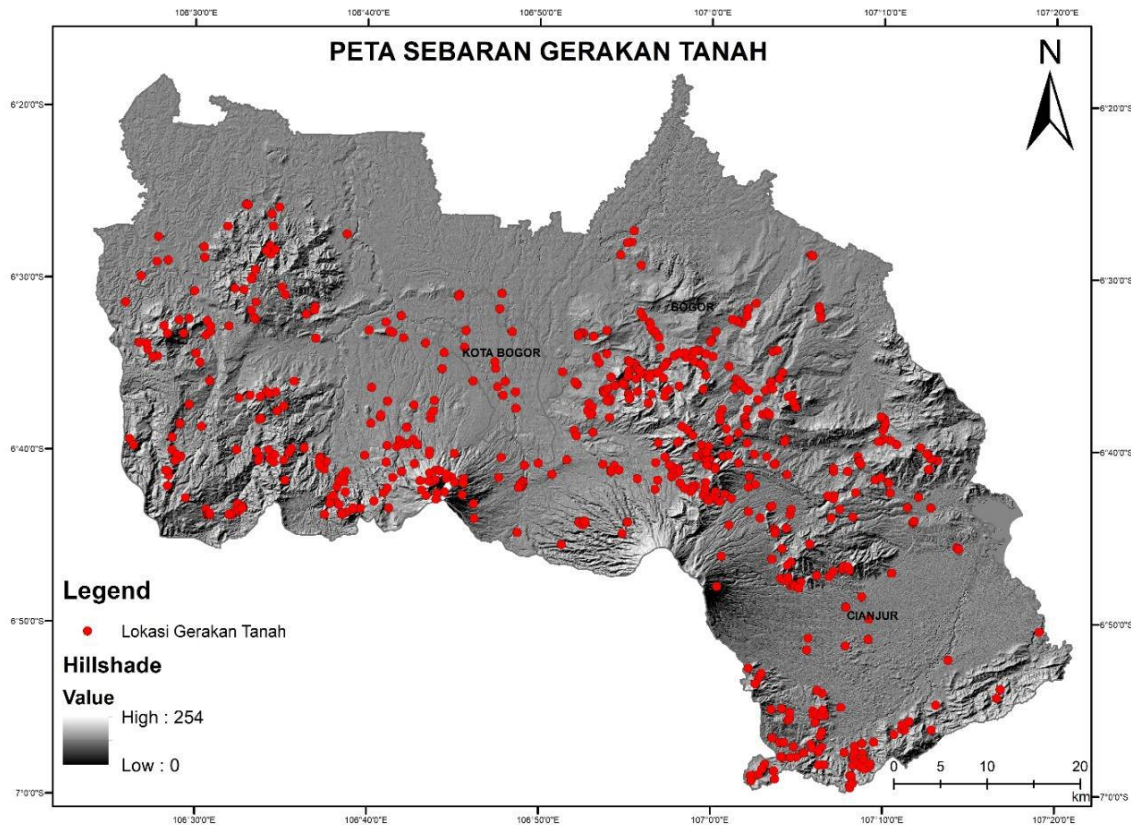
Kec. Sukajaya yang mengakibatkan 1 rumah rusak dan 2 orang luka-luka (Foto 4.1). Kp. Cadas Leueur, Desa Bantar Karet, Kec. Nanggung, yang merusak 3 rumah warga, merusak lahan pertanian serta mengancam 5 keluarga (di Desa Gunung Batu, Kec. Sukamakmur (Gambar 4.57).



Gambar 4.56 Longsoran tanah pada lereng yang memiliki kemiringan terjal di Desa Ciherangpondok, Kec. Caringin (kiri); Tebing yang runtuh menimpa bagian belakang rumah di Kp. Kompa Satu, Desa Sipayung, Kec. Sukajaya (kanan).

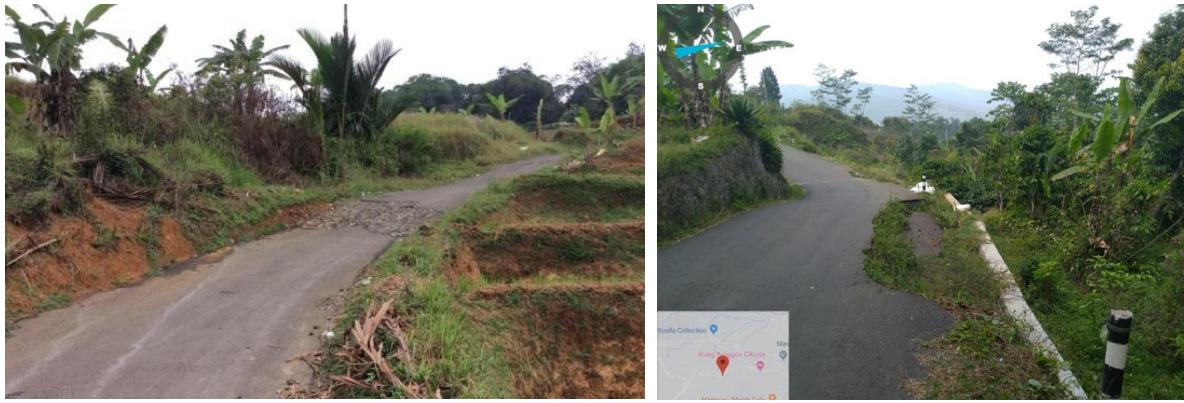


Gambar 4.57 Longsoran bahan rombakan di Kp. Cadas Leueur, Desa Bantar Karet, Kec. Nanggung (kiri); Longsoran tipe aliran bahan rombakan yang terjadi di lereng tebing di Desa Sukawangi, Kec. Sukamakmur (kanan).



Gambar 4.58 Peta sebaran/distribusi titik gerakan tanah di Bopunjur.

Di daerah pemetaan juga dijumpai longsor dengan tipe nendatan pada badan jalan. Nendatan di antaranya dijumpai pada jalur jalan Desa Pasireurih, Kec. Tamansari, yang mengakibatkan penurunan badan jalan setinggi 30 cm dan di jalur jalan Sukamakmur Kab. Bogor – Cipanas (Kab. Cianjur) di Desa Sukawangi, Kec. Sukamakmur (Gambar 4.59). Sedangkan di daerah Desa Cigudeg, Kec. Cigudeg, Kab. Bogor, longsor pada tebing jalan mendorong badan jalan sehingga terjadi nendatan pada badan jalan (Gambar 4.60). Badan jalan selain mengalami nendatan juga mengalami retakan. Gerakan tanah terjadi pada badan jalan yang berada di atas tebing dengan kemiringan terjal dengan tataguna lahan di sekitarnya berupa sawah dan kebun campuran.



Gambar 4.59 Nendatan jalan desa Desa Pasireurih, Kec. Tamansari, Kab. Bogor (kiri); Nendatan di jalan Desa Sukawangi, Kec. Sukamakmur, Kab. bogor (kanan).



Gambar 4.60 Longsor pada tebing jalan yang mengakibatkan nendatan pada jalan di daerah Desa Cigudeg, Kec. Cigudeg, Kab. Bogor.

Tipe gerakan tanah jenis aliran bahan rombakan juga ditemukan di daerah penelitian. Daerah yang berpotensi terjadinya aliran bahan rombakan salah satunya adalah aliran sungai yang berhulu di G. Salak, seperti aliran Sungai Ciapus (Gambar 4.61), Sungai Ciomas (Gambar 4.62), dan Sungai Cipamingkis (Gambar 4.63) di Kecamatan Sukamakmur, Kabupaten Bogor. Longsoran bahan rombakan pada daerah persawahan di Desa Pabangbon, Kec. Leuwiliang, Kab. Bogor, material longsorannya masuk ke sungai dan menutupi aliran sungai, dapat berpotensi menjadi aliran bahan rombakan (Gambar 4.62).



Gambar 4.61. Sungai Ciapus yang berhulu di G. Salak merupakan salah satu sungai yang memiliki potensi aliran bahan rombakan.



Gambar 4.62 Potensi aliran bahan rombakan: di Desa Pabangbon, Kec. Leuwiliang, (kiri); di tebing Sungai Ciomas di Kec. Sukamakmur (kanan), Kab. Bogor.



Gambar 4.63 Bongkan batu di Sungai Cipamingkis yang memiliki potensi terjadinya aliran bahan rombakan/banjir bandang.

Jumlah titik longsor sebanyak 870, dalam perhitungan data kejadian dan potensi gerakan tanah tersebut dibagi ke dalam dua kelompok menjadi longsor *training* dan longsor tes (Gambar 4.57). Sebanyak 70% (longsor *training*) digunakan dalam perhitungan dan 30% (longsor tes) lainnya digunakan dalam validasi untuk menilai hasil prediksi.

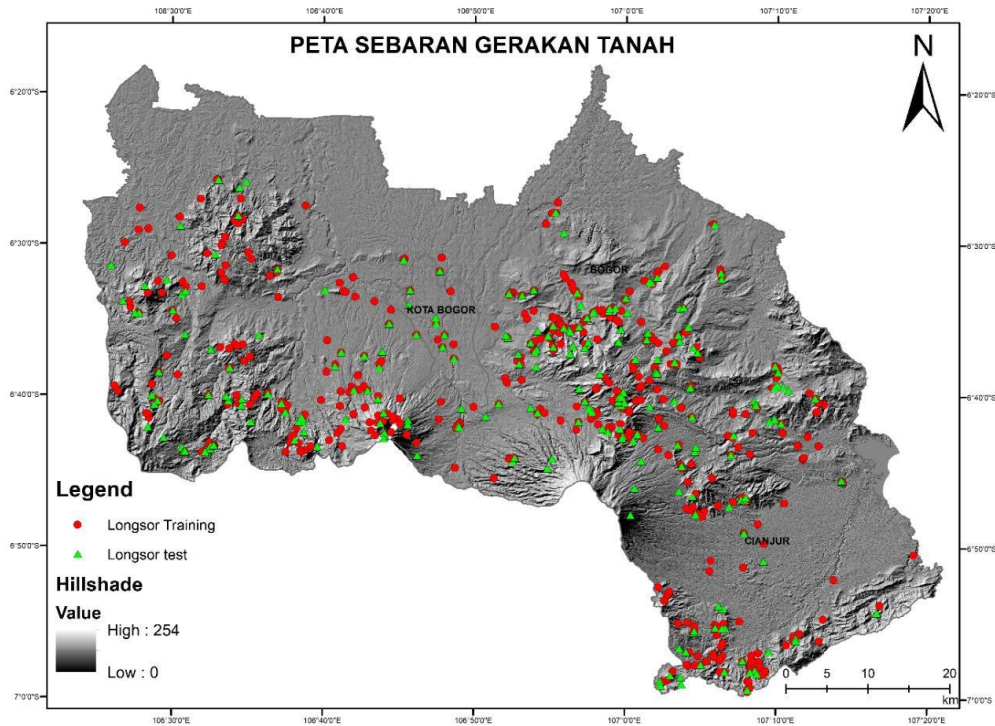
4.8.2. Hubungan Gerakan Tanah dengan Parameter Pengontrol

Kualitas tiap parameter pengontrol divalidasi dengan melakukan penghitungan AUC. Parameter pengontrol tersebut merupakan faktor-faktor yang membuat kondisi suatu lereng menjadi rentan atau siap bergerak. Dalam pemetaan di Bopunjur, parameter yang dipakai untuk membuat peta kerentanan gerakan tanah, yaitu lereng (kemiringan lereng), ketinggian (elevasi), geologi (litologi/jenis batuan), tata guna lahan, jenis tanah, dan *peak ground acceleration* (PGA). Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh nilai AUC tiap parameter, secara umum bernilai Cukup Baik, dengan nilai AUC terbesar pada parameter geologi atau jenis batuan dengan nilai 0,78.

Tabel 4.2 Nilai AUC untuk setiap parameter.

Parameter	Total Area	Longsor <i>training</i>	AUC
<i>Slope</i>	419215	556	0,67
Elevasi			0,68
Geologi			0,78
Lahan			0,65
PGA			0,66
Tanah			0,67

Penentuan kerentanan masing-masing kelas dalam setiap parameter dihitung melalui pendekatan statistik WoE. Setiap kelas parameter tersebut dibobot hubungannya dengan gerakan tanah (Tabel 4.2). Nilai negatif mengandung arti bahwa kerapatan gerakan tanah lebih rendah dari normal dan nilai positif berarti kerapatan gerakan tanah lebih tinggi dari normal. Semakin tinggi nilai positif maka semakin rentan kelas parameter tersebut.



Gambar 4.64 Peta sebaran titik gerakan tanah di Bopunjur, yang dalam analisis dibagi dua menjadi longsor *training* dan longsor tes.

Tabel 4.3 Hubungan spasial tiap parameter dengan gerakan tanah.

Kelas Parameter	Gerakan tanah (n)	Total Area (piksel)	WofE
Lereng/Slope			
Datar (0 – 3%)	34	8991	-1,537444612
Landai (3 – 8%)	84	29256	-1,034495473
Agak Miring (8 – 15%)	110	45984	-0,219577286
Berbukit (15 – 30%)	181	115046	0,233672322
Agak Terjal (30 – 45%)	76	68485	0,684194156
Terjal (45 – 65%)	53	95250	0,8542475
Sangat Terjal (> 65%)	18	56203	1,080372324
Elevasi (m)			
0-300	29	7311	-1,383025897
300-600	148	60227	0,281035168
600-900	74	30803	0,83124851
900-1200	35	16181	0,720749504
1200-1500	184	119021	0,574850072
1500-1800	1	2090	1,192876687
1800-2100	85	181803	-0,96047878
2100-2400	0	233	-6,266159546
2400-2700	0	622	-6,265438154
> 2700	0	924	-6,264509713
Geologi			
Nma	3	801	1,040977758
Nmbc	17	44290	-1,318957849
Nmbl	2	504	1,097888778
Nmcb	4	1226	0,903411764

Nmcc	2	2012	-0,291211543
Nmcs	0	34	-6,325879005
Nmd	3	1013	0,805042629
Nmjc	70	39032	0,336632775
Nmkl	1	2409	-1,164441562
Nmks	3	1984	0,129838903
Nmpl	0	246	-6,326384645
Nmrs	0	637	-6,327317891
Nmsc	1	1133	-0,4096067
Npcc	0	971	-6,328115781
Npct	0	156	-6,326169955
Npgs	1	7331	-2,277888202
Npss	0	356	-6,326647107
Nvbh	0	141	-6,326134178
Nvpm	0	1779	-6,330048652
Nvpr	0	749	-6,327585376
Qa	1	2407	-1,163610599
Qao	2	1161	0,260389287
Qcl	12	2895	1,154118559
Qfba	1	3242	-1,461552842
Qfbd	0	240	-6,326370331
Qfbe	2	8725	-1,767298543
Qfcs	2	11071	-2,008447493
Qfja	11	28491	-1,282941803
Qfpr	0	3063	-6,33312793
Qfps	0	537	-6,327079126
Qfsl	3	3135	-0,330078956
Qfsp	0	1071	-6,328354795
Qr	1	8041	-2,370403178
Qvar	1	258	1,073064429
Qvbl	0	456	-6,326885768
Qvbt	3	598	1,334848445
Qvcb	15	13003	-0,145481765
Qvcba	0	336	-6,326599381
Qvcbt	4	3178	-0,05460815
Qvcp	8	4050	0,401277645
Qvcr	0	3926	-6,335202928
Qvda	11	4571	0,603163954
Qvgb	1	919	-0,200060571
Qvgda	0	16	-6,325836085
Qvgg	9	1467	1,545941397
Qvgl	4	1779	0,529106444
Qvhb	1	124	1,809956309
Qvjt	0	74	-6,325974389
Qvkd	0	864	-6,3278601
Qvkl	50	11267	1,274664988
Qvkr	3	403	1,732255807
Qvmd	0	2496	-6,331766982
Qvml	0	398	-6,326747338
Qvmn	1	91	2,122331004
Qvms	20	4026	1,347975405
Qvmy	0	220	-6,326322619
Qvpal	0	9	-6,325819395

Qvpao	16	10460	0,144634635
Qvpay	4	12111	-1,409792408
Qvpb	1	512	0,385770091
Qvpc	6	5557	-0,209918987
Qvpj	1	2804	-1,316346594
Qvpno	0	1137	-6,328512575
Qvpny	3	1326	0,534591354
Qvpp	7	4373	0,1883206
Qvpr	0	406	-6,32676643
Qvsbo	3	2305	-0,020852129
Qvsby	0	191	-6,32625344
Qvsia	3	790	1,054875643
Qvsib	19	8297	0,559237418
Qvslo	30	21668	0,04344896
Qvslt	1	1523	-0,705651443
Qvtp	22	1776	2,278030161
Pbl	0	83	-6,325995852
ha	1	135	1,724300859
Oml	0	451	-6,326873834
Md	4	470	1,86882582
Qot1	29	8576	0,967887897
Qyc	1	2480	-1,193502185
PI	2	2510	-0,513163899
Qotl1	5	1240	1,117612636
Pb	1	1770	-0,856044954
Qvb1	0	157	-6,326172341
Qot	3	958	0,861124645
Qvf3	4	2184	0,322853008
Qotl2	1	845	-0,116015015
vi	0	1248	-6,328777989
Mtts	1	1537	-0,714808046
Mttc	5	1838	0,721583681
Qot2	2	726	0,731432001
Qvf	1	391	0,655993429
Omc	0	236	-6,326360789
Qvf2	5	10503	-1,040495048
Qot2-1	4	1633	0,615203085
Mttb	2	1110	0,305451447
Qvm	1	1508	-0,695746861
Mts	4	2936	0,025136872
Qvb	0	983	-6,32814446
Qaf	3	2423	-0,071030652
Qob	0	679	-6,327418189
Mdm	0	2468	-6,331699823
Qot2-2	6	3147	0,364367842
Oms	0	2142	-6,330918231
D. Cirata	0	2445	-6,33164466
Qvf1	1	7179	-2,25692108
Qyp	0	478	-6,326938282
Qyb	0	886	-6,327912665
Qygl	0	622	-6,327282073
Qyg	15	30584	-1,042883961
Qyk	27	2852	2,013096908

Qvbk	13	1521	1,887044325
Qvfb	2	1033	0,37757117
Pbb	22	2764	1,828980312
Tmbec	2	836	0,589858305
Lahan			
Rawa	0	2	-6,329503232
Waduk	0	2079	-6,334467786
Sungai	5	2461	0,424106973
Danau/Situ	0	627	-6,33099454
Permukiman & Tempat Kegiatan	0	64234	-6,495783326
Gedung/Bangunan	86	1427	4,034363025
Semak Belukar	1	37676	-3,926391124
Hutan Rimba	88	75141	-0,155153861
Tanah Kosong/Gundul	144	5251	3,335048144
Vegetasi Non Budidaya Lainnya	2	768	0,671290426
Tegalan/Ladang	0	47138	-6,448747926
Sawah	61	87258	-0,762138709
Sawah Tadah Hujan	56	219	5,653823136
Perkebunan/Kebun	113	94934	-0,143278106
PGA (g)			
0,21	0	294	-6,365976943
0,22	1	18936	-3,268128421
0,23	47	91035	-1,139328418
0,24	164	103022	0,208559254
0,25	182	88392	0,558149644
0,26	87	51922	0,230294864
0,27	6	20020	-1,561704888
0,28	6	14304	-1,213437629
0,29	12	16415	-0,65430841
0,3	23	10233	0,503820956
0,31	28	4642	1,517128614
Tanah			
Asso Lat mrh lat clk kemrh	30	74499	-1,348391628
Pod merah kekuningan	43	31901	-0,001927977
Regosol	15	15090	-0,316848477
SNG	3	1554	0,35769163
asso Lat clk lat kemerahan	78	22957	1,017020596
asso Lat clk regosol	26	22249	-0,152582355
Aluvial	10	27770	-1,369729923
Andosol	14	9304	0,10980846
Asso Lat clk lat kekuningan	18	9097	0,391626632
Asso andosol regosol	2	3898	-0,972851744
Asso podsolik kng hidromof kelabu	0	1940	-6,347971557
Gromosol	23	15431	0,101995935
Komp Lat red kekng lat ckl kmrh dan lits	89	45126	0,437924239
Komp red merah kekng pod merah kekng	6	9343	-0,755153003
Podsolik kekuningan	33	11467	0,789228278
Podsolik merah	4	9880	-1,219512309

Latosol	157	93716	0,292860906
Grumosol	0	1326	-6,346501856
Waduk	0	2085	-6,348318953
Alluvial	5	10509	-1,058615566
Podsol Merah Kuning	0	73	-6,343509322

- **Lereng**

Nilai pembobotan dari faktor kemiringan lereng (*Slope*) antara -1,537 sampai 1,08. Hasil analisis menunjukkan bahwa kelas lereng yang paling rentan terhadap gerakan tanah adalah pada kelas lereng Sangat Terjal, secara berurut dengan nilai bobot 1,08. Kelas lereng yang juga sama rentannya adalah daerah kelas Terjal, dengan nilai bobot 0,854. Sementara kelas lereng paling aman berada pada Kelas Datar dan Landai, secara berurut dengan nilai bobot -1, 537 dan -1,034.

- **Elevasi**

Nilai pembobotan dari faktor ketinggian muka bumi (elevasi) antara -6,266 sampai 1,193. Hasil analisis menunjukkan bahwa kelas elevasi yang paling rentan terhadap gerakan tanah adalah pada ketinggian 1500 – 1800 m dpl, dengan nilai bobot 1,193. Selanjutnya kelas elevasi yang nilai kerentanannya juga tinggi adalah pada ketinggian 600 – 900 m dpl, dengan nilai bobot 0,831. Sementara kelas elevasi paling aman berada pada ketinggian > 2100 m dpl, dengan asumsi daerah tersebut merupakan lereng asli yang tidak terganggu fungsi lahannya.

- **Geologi**

Nilai pembobotan dari faktor geologi (jenis batuan/litologi) antara -6,335 sampai 2,278. Hasil analisis menunjukkan bahwa kelas geologi yang paling rentan terhadap gerakan tanah adalah pada Batuan Gunungapi Tapos terdiri dari breksi gunungapi, lava, tuf, dan aglomerat (Qvtp), dengan nilai bobot 2,278, diikuti daerah yang mempunyai batuan dasar Batuan Gunungapi Manapo terdiri dari breksi dan aliran lava andesitik (Qvmn), dengan nilai bobot 2,122. Sementara kelas geologi yang paling aman berada pada litologi Batuan Gunungapi Cibarengkok terdiri dari breksi gunungapi, lava, dan tuf (Qvcr) dan Endapan Kipas Aluvium Parung (Qfpr), yang mempunyai nilai bobot sama yaitu secara berurut -6,335 dan -6,333.

- **Lahan**

Nilai pembobotan dari faktor lahan antara -6,496 sampai 5,654. Hasil analisis menunjukkan bahwa kelas lahan yang paling rentan terhadap gerakan tanah adalah pada lahan Sawah Tadah Hujan dengan nilai bobot 5,654, dan pada area terbangun Gedung/Bangunan yang terletak di daerah kemiringan lereng yang agak terjal dengan nilai

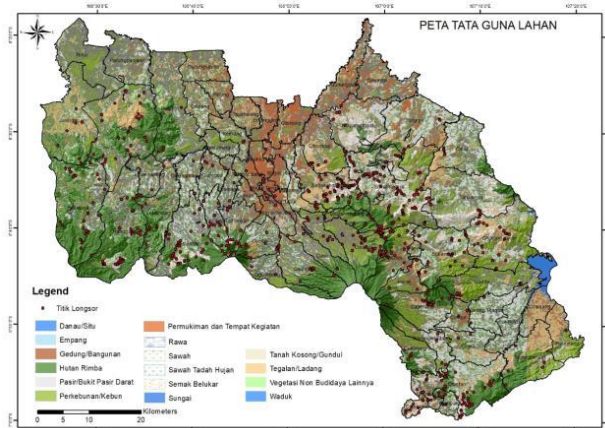
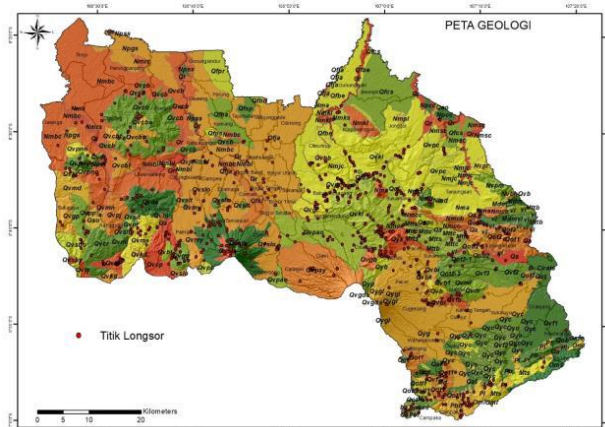
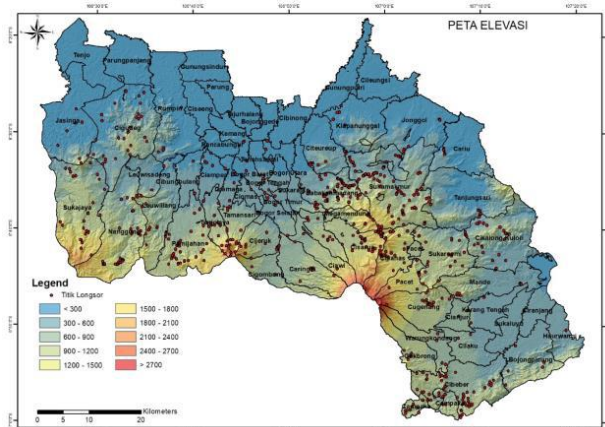
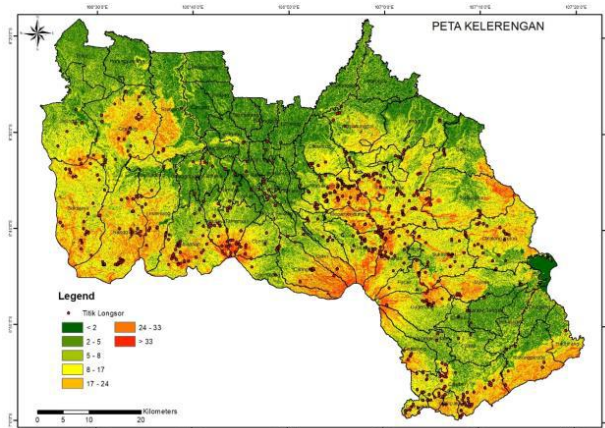
bobot 4,034. Dengan mengesampingkan lahan keairan (rawa, waduk, sungai, dan danau/situ), maka kelas lahan yang dinilai paling aman berada pada area terbangun di pedataran seperti Permukiman & Tempat Kegiatan dan Tegalan/Ladang, secara berurut dengan nilai bobot -6,496 dan -6,448.

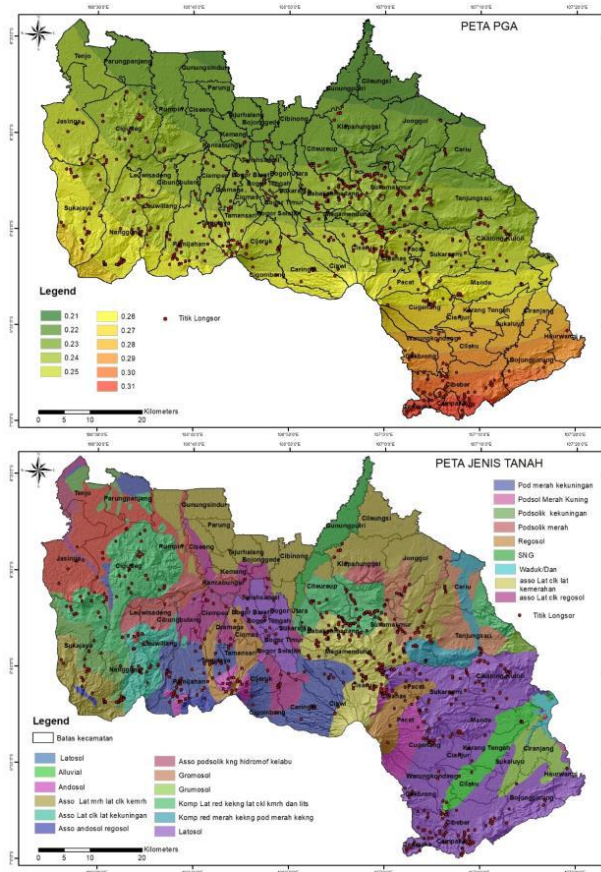
- **PGA**

Nilai pembobotan dari faktor kegempaan (PGA) antara -6,366 sampai 1,517. Hasil analisis menunjukkan bahwa daerah yang paling rentan terhadap gerakan tanah berada pada Kelas PGA 0,25 g dan 0,31 g, secara berurut dengan nilai bobot 0,558 dan 1,517. Sementara daerah yang paling aman berada pada Kelas PGA 0,21 g dan 0,22 g, secara berurut dengan nilai bobot -6,366 dan -3,268.

- **Tanah**

Nilai pembobotan dari faktor jenis tanah antara -6,348 sampai 1,017. Hasil analisis menunjukkan bahwa daerah yang paling rentan terhadap gerakan tanah berada pada daerah yang menempati tanah berjenis Podsolik kekuningan dan Asosiasi Latosol Coklat Kemerahan, dengan nilai bobot 0,789 dan 1,017. Sementara yang paling aman berada pada daerah yang menempati tanah berjenis Asosiasi Podsolik Kuning Hidromorf Kelabu dan Grumosol, secara berurut dengan nilai bobot -6,348 dan -3,346.

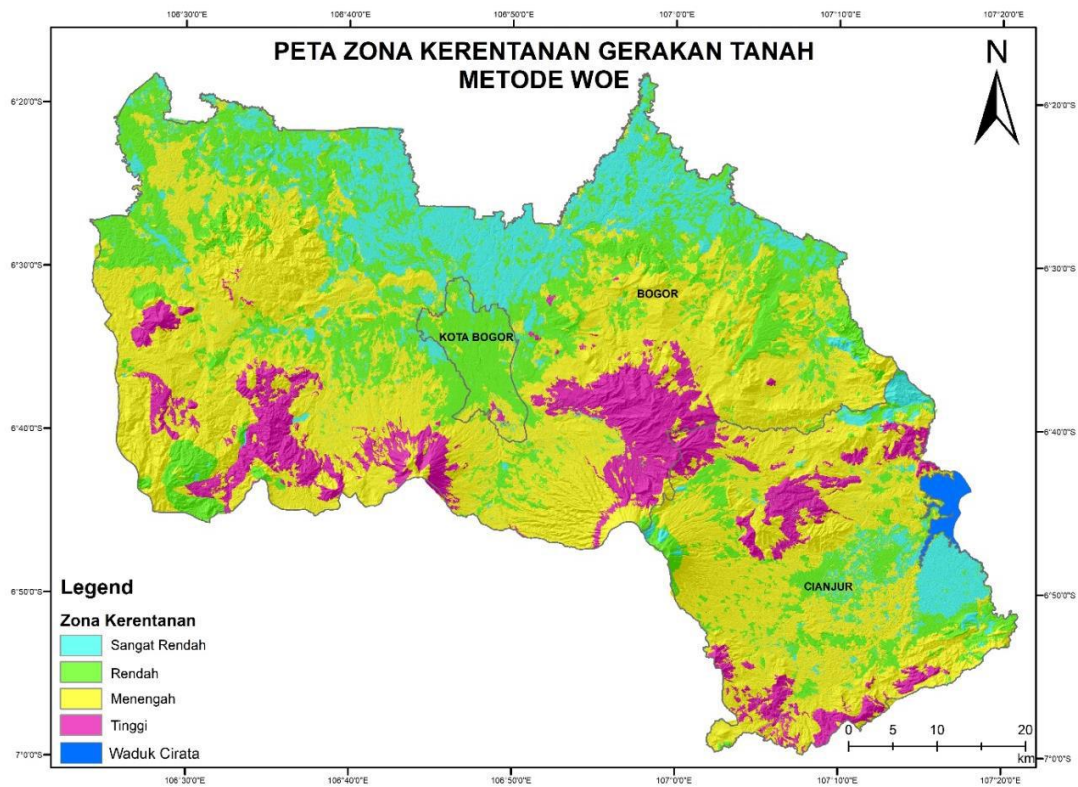




Gambar 4.65 Peta tiap parameter dengan sebaran titik gerakan tanah di wilayah pemetaan Bopunjur.

4.8.3. Zona Kerentanan Gerakan Tanah

Analisis zona kerentanan gerakan tanah secara statistik ini dilakukan dengan melakukan metode analisis *Logistic Regression (LR)* dan *Weight of Evidence (WoE)*. Metode *WoE* secara umum mampu menilai pengaruh kelas yang berbeda dari masing-masing faktor, namun mengabaikan korelasi antar faktor sehingga tidak memperhitungkan faktor atau parameter lain dalam perhitungannya. Di sisi lain metode *LR* dalam perhitungannya menganalisis secara lengkap hubungan antar faktor atau parameter tetapi tidak mampu mengevaluasi pengaruh antar kelas atau parameter yang berbeda. Untuk mengurangi kelemahan dan memanfaatkan kelebihan dari metode-metode tersebut maka digunakan gabungan dari kedua metode tersebut. Dari proses tersebut, zona kerentanan gerakan tanah dibagi menjadi 4 (empat) zona kerentanan gerakan tanah/ZKGT yaitu zona kerentanan gerakan tanah sangat rendah, rendah, menengah dan tinggi yang dituangkan dalam Peta ZKGT.



Gambar 4.66 Peta zona kerentanan gerakan tanah dengan metode *WoE* di wilayah pemetaan Bopunjur.

4.9 Kajian Geologi Teknik Area Terpilih

4.9.1. Satuan Geologi Teknik

Kondisi geologi teknik di daerah penyelidikan diperoleh dari interpretasi, evaluasi serta analisis data hasil penyelidikan di lapangan, uji laboratorium dan data sekunder yang tersedia. Satuan geologi teknik dikelompokkan berdasarkan kesamaan sifat fisik dan karakteristik keteknikan tanah dan batuan. Tanah dan batuan di daerah kajian dapat dikelompokkan menjadi lima satuan geologi teknik (Murdohardono, dkk., 1994; Sudarsono, dkk., 2009; Syarif, 2011) yaitu: (Gambar 3.1)

a. Lanau Pasiran - Lempung Organik [A(ms,co)]

Merupakan endapan rawa dengan sisipan pasir lempungan. lanau pasiran dan lempung organik berwarna abu-abu kehitaman, konsistensi sangat lunak - lunak, plastisitas sedang - tinggi, kompresibilitas tinggi, permeabilitas rendah, kandungan air dan material organik tinggi, dijumpai sisa-sisa tumbuhan, tebal 2 - >25 m. Kedalaman muka air tanah bebas sangat dangkal. Penggalan dengan peralatan non mekanik mudah dilaksanakan. Potensi penurunan tanah tinggi. Potensi bahaya likuefaksi rendah.

b. Lempung Lanauan - Lanau Lempungan [A(cm,mc)]

Merupakan endapan sungai dan pantai yang tak terpisahkan. Lempung lanauan – lanau lempungan berwarna coklat kemerahan, coklat kehitaman, lunak – sangat kaku, plastisitas sedang – tinggi, permeabilitas rendah – kedap air, kompresibilitas tinggi, pengembangan tanah menengah – tinggi, tebal 40 - > 250 m. sisipan pasir dan pasir lempungan berwarna abu-abu kecoklatan, kepadatan relative lepas – padat, berukuran pasir halus – kasar, gradasi jelek – baik, permeabilitas sedang – tinggi. Lempung organic berwarna abu-abu kehitaman, konsistensi sangat lunak – lunak, plastisitas sedang, permeabilitas rendah. Kedalaman muka air tanah bebas dangkal – sangat dalam, penggalian mudah dilaksanakan dengan peralatan non mekanik. Potensi penurunan tanah tinggi. Potensi bahaya likuefaksi rendah.

c. Pasir Lanauan [A(sm)]

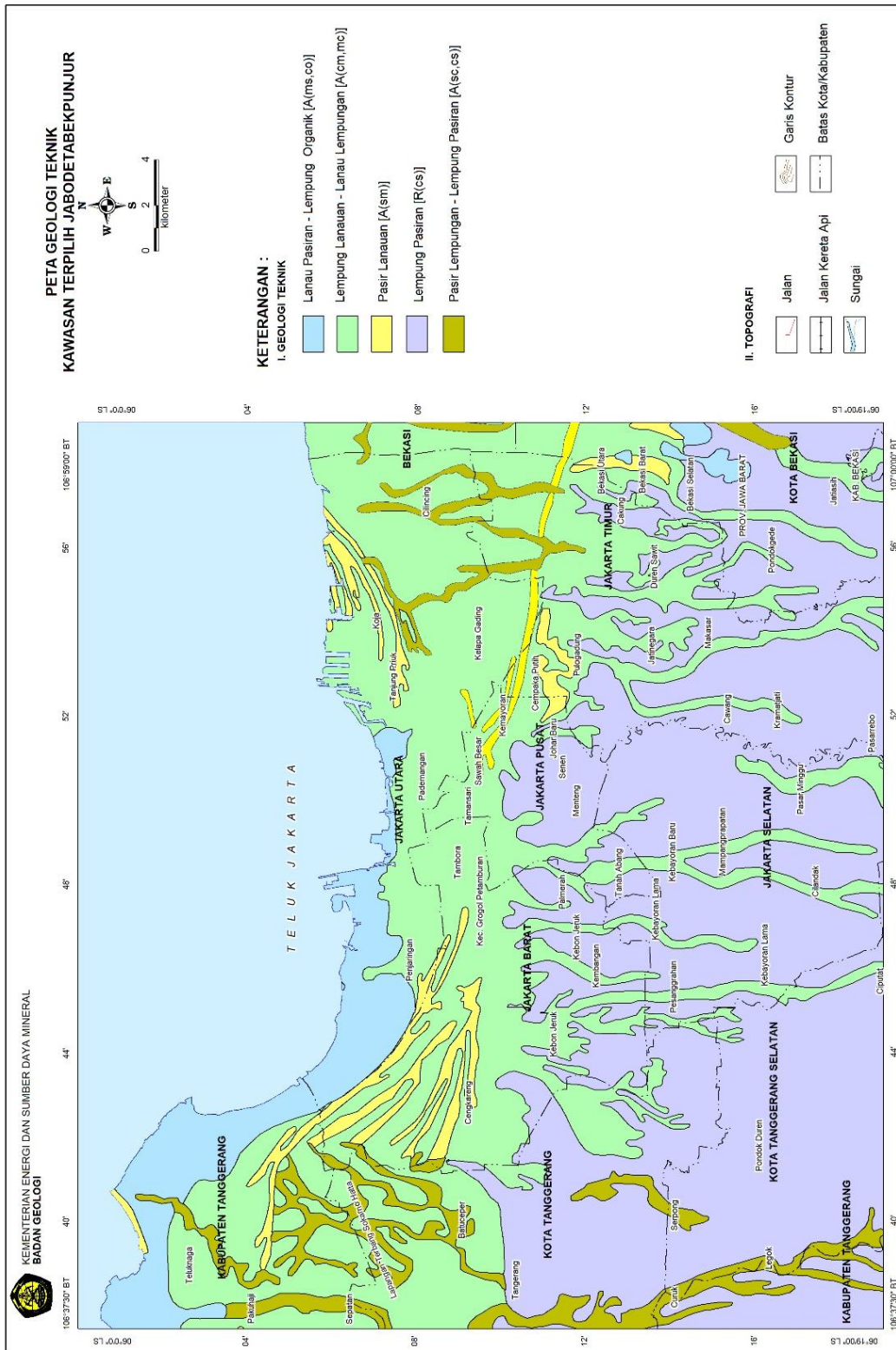
Merupakan endapan pematang pantai, mengandung fragmen kerikil dang cangkang kerang. Pasir lanauan berwarna abu-abu kehitaman, kepadatan relative lepas – agak padat, berukuran pasir halus – sedang, gradasi jelek, permeabilitas sedang – tinggi, tebal 2 – 10 m. Kedalaman muka air tanah bebas dangkal. penggalian mudah dilaksanakan dengan peralatan non mekanik. Potensi penurunan tanah sedang. Potensi bahaya likuefaksi rendah

d. Pasir Lempungan - Lempung Pasiran [A(sc,cs)]

Merupakan endapan sungai tua dan dataran limbah banjir. Bagian atas berupa lempung pasiran berwarna coklat keabuan, teguh – kaku, plastisitas sedang – tinggi, permeabilitas rendah, kompresibilitas tinggi. Pasir lempungan berwarna abu-abu kehitaman – kecoklatan, lepas – agak padat, berbutir pasir halus – kasar, membundar – menyudut tanggung, gradasi baik, permeabilitas tinggi, tebal 3 – 18 m. Kedalaman muka air tanah bebas dangkal – sangat dalam. penggalian mudah dilaksanakan dengan peralatan non mekanik. Potensi penurunan tanah sedang - rendah. Potensi bahaya likuefaksi rendah.

e. Lempung Pasiran [R(cs)]

Lempung Pasiran [R(cs)] dengan sisipan pasir lempungan dan pasir lanauan, merupakan pelapukan dari kipas alluvium volkanik. Lempung pasiran berwarna coklat kemerahan, coklat kehitaman, konsistensi lunak – sangat kaku, plastisitas sedang – tinggi, permeabilitas rendah, tebal 3 – 60 m. Pasir lempungan berwarna coklat – coklat kemerahan, kepadatan relative lepas – padat, permeabilitas sedang. Penggalian agak sukar dilaksanakan dengan peralatan non mekanik. Kedalaman muka air tanah bebas dalam – sangat dalam, di beberapa tempat langka air tanah bebas. Potensi penurunan tanah sedang - rendah. Potensi bahaya likuefaksi rendah



Gambar 4.67. Peta geologi teknik daerah kajian

4.9.2. Penurunan Tanah

Penurunan tanah (*settlement*) dapat terjadi pada tanah yang mempunyai kompresibilitas tinggi. Masalah ini sering terjadi akibat sifat material alluvium yang belum terkonsolidasi dengan baik, sehingga apabila dibuat bangunan di atasnya dengan tidak memperhitungkan daya dukung tanahnya akan menyebabkan terjadi Penurunan tanah. Penurunan umumnya terjadi di daerah bekas rawa yang mempunyai material berbutir halus dan lunak, seperti lempung organik, lanau dan lempung

Endapan aluvium pantai dan sungai yang menyusun daerah kajian bagian utara mempunyai ketebalan lebih dari 250 m serta mempunyai karakteristik berupa tanah *normally consolidated*, yang berarti tanah aluvium tersebut masih memungkinkan akan mengalami pemampatan secara alami, disamping itu faktor beban dari bangunan juga mempengaruhi dalam proses pemampatan yang berakhir dengan terjadinya penurunan tanah di permukaan.

Sifat tanah di daerah kajian pada umumnya lunak dan didominasi oleh tanah berbutir halus dengan kompresibilitas yang tinggi. Penurunan tanah akan terjadi akibat beban yang akan di tanggung sehingga bangunan yang bertumpu pada lapisan tersebut perlu memperhatikan hal ini. Pemampatan tanah akan berlangsung lama karena mempunyai sifat yang plastis dan drainase buruk. Tanah lunak di daerah penyelidikan pada umumnya mempunyai konsistensi sangat lunak - lunak dengan nilai $q_c < 10 \text{ kg/cm}^2$, nilai indeks kompresibilitas (C_c) 0,189 – 0,754 dan koefisien konsolidasi (C_v) 0,0009 – 0,00128 cm^2/det .

Faktor utama yang menyebabkan terjadinya amblesan tanah di dataran pantai utara daerah kajian adalah pengambilan air tanah pada sistem akuifer tertekan. Pengambilan air tanah yang berlebihan akan mengakibatkan penurunan piesometrik pada akuifer tertekan, dengan adanya penurunan muka piesometrik tersebut akan terjadi perbedaan muka hidrolika (*hydraulic head*) sehingga kandungan air dalam lapisan lempung yang jenuh atau lewat jenuh akan terperas yang menyebabkan lapisan lempung tersebut akan memampat. Secara teoritis setiap penurunan piesometrik sebesar 1,00 m akan menimbulkan beban sebesar $0,10 \text{ kg/cm}^2$, sehingga pada akuifer yang telah mengalami penurunan muka piesometrik sebesar $> 40,00 \text{ m}$ akan terjadi penambahan beban sebesar $4,00 \text{ kg/cm}^2$. Hal ini akan mengakibatkan lapisan lempung di bawah akuifer akan mampat dan berakhir dengan terjadinya penurunan di permukaan tanah.

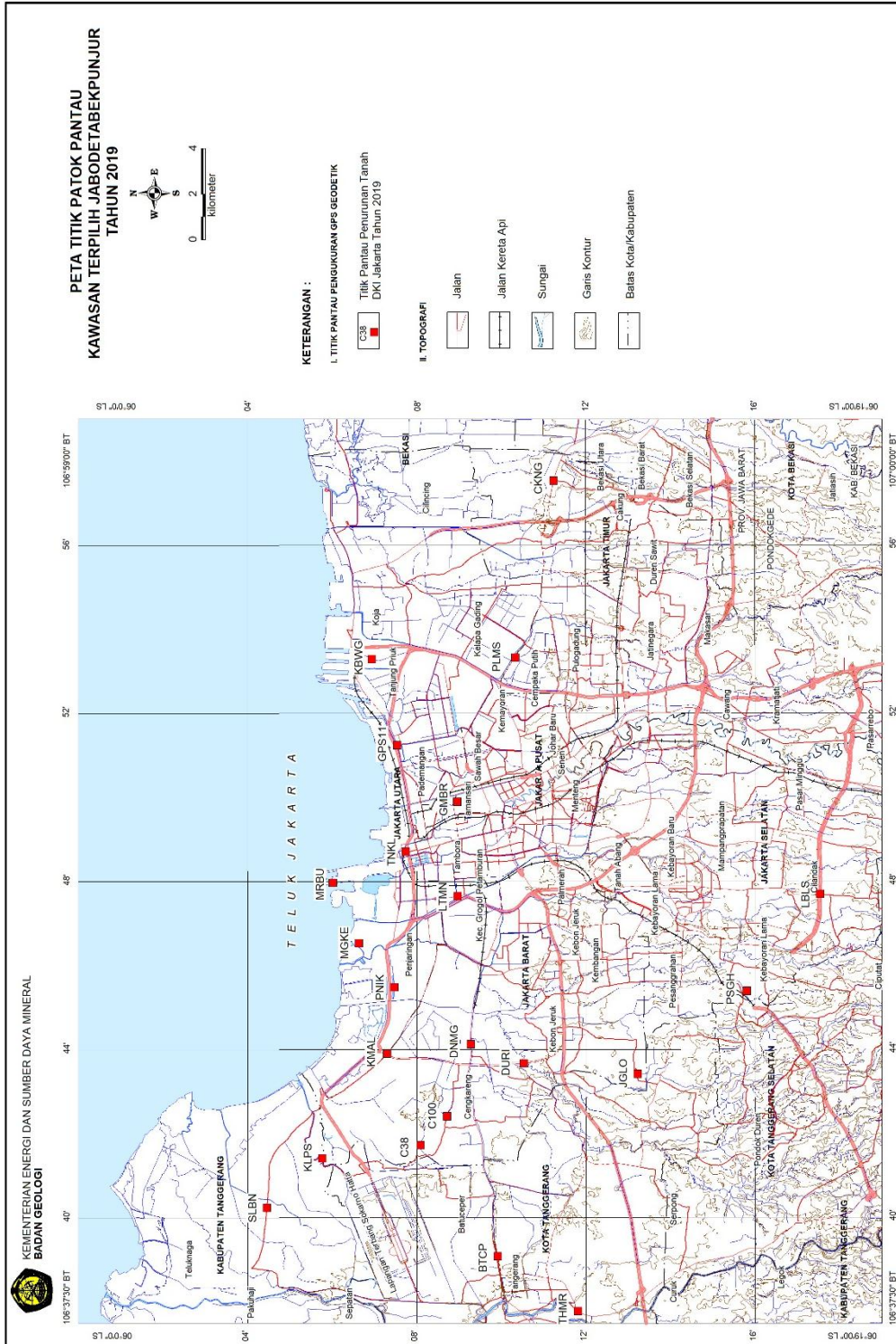
Untuk mengevaluasi terjadi dan besarnya penurunan tanah (periode 2017 -2019) pada daerah kajian telah dilakukan pengukuran laju penurunan menggunakan alat GPS geodetik dilakukan pada 20 titik patok (Gambar 3.3) dengan dua stasiun referensi yakni *Continuous Operation Reference Station* (CORS) CTGR Serpong, Tangerang Selatan serta CJKT Tanjung Priok. Kedua stasiun ini dikelola oleh Badan Informasi Geospasial sehingga

membutuhkan juga data GPS yang terekam pada kedua stasiun tersebut.dalam pengolahan datanya.dengan memakai alat *Global Positioning System* (GPS).

Hasil perekaman data oleh GPS Geodetik yang dilakukan di 20 titik patok kemudian diolah menggunakan software *Trimble Business Centre 2.5*. Pengolahan data di setiap titik menggunakan metode radier yang terikat dengan stasiun referensi (CORS) masing-masing. Pengukuran topografi dengan metode GPS metode radier memberikan tingkat akurasi yang sama baiknya dengan metode poligon (Abidin, drr, 2003), menghasilkan ketelitian yang cukup akurat. Metode ini akan dipakai seterusnya pada tahun-tahun selanjutnya sehingga didapat hasil pengukuran *apple to apple* dengan tahun sebelumnya dan diharapkan didapat data *time series*. Hasil pemrosesan data di setiap titik patok ada pada Tabel 3.1 (Gambar 3.6) dan Lampiran



Gambar 4.68. Foto pengukuran patok pantau di daerah Bulak Sere



Gambar 4.69. Peta titik patok pantau pengukuran GPS Geodetic daerah kajian



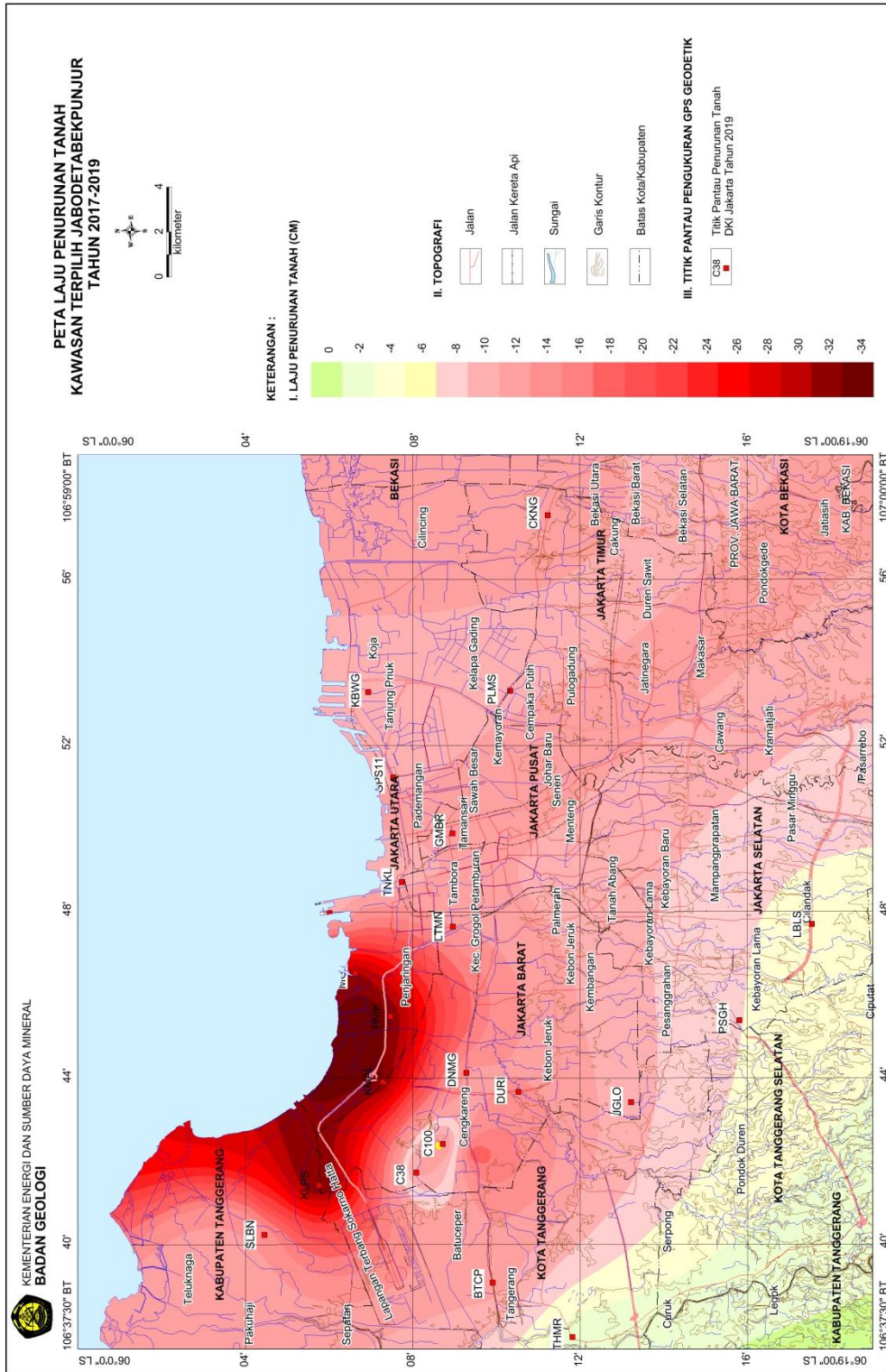
Gambar 4.70. Foto pengukuran patok pantau di daerah Kamal



Gambar 4.71. Foto pengukuran patok pantau di daerah Lebak Bulus

Tabel 4.3. Laju penurunan tanah kawasan terpilih Jabodetabekpunjur periode 2017-2019

NO	PATOK	KOORDINAT	LOKASI	LAJU PENURUNAN TANAH (cm)
1	MRBU	6° 6' 1,3" S / 106° 47' 58,8" E	Muara Baru	-8.5
2	GMBR	6° 8' 57,7" S / 106° 49' 54,2" E	Gambir	-10.7
3	TNKL	6° 7' 44,71" S / 106° 48' 43,51" E	Tongkol, BKAT	-9.3
4	MGKE	6° 6' 38,2" S / 106° 46' 32,3" E	Muara Angke	-30.5
5	LTMN	6° 8' 58,2" S / 106° 47' 39,6" E	Jl. Latumeten 20.880	-11.7
6	PLMS	6° 10' 20,4" S / 106° 53' 20,1" E	Pulo Mas	-12.4
7	CKNG	6° 11' 14,4" S / 106° 57' 33,3" E	Cakung	-15.4
8	KMAL	6° 7' 18,1" S / 106° 43' 55,2" E	Kamal	-32.2
9	DURI	6° 10' 32,2" S / 106° 43' 40,8" E	Duri Kosambi, Jakarta Barat	-12.4
10	THMR	6° 11' 49,5" S / 106° 37' 47,2" E	Jl. M. Thamrin, Kota Tangerang	-2.4
11	SLBN	6° 4' 27,6" S / 106° 40' 14,5" E	Salembaran	-12.4
12	KLPS	6° 5' 46,1" S / 106° 41' 25,5" E	Jl. Kali Prancis, Tangerang	-33.6
13	BTCP	6° 9' 55,4" S / 106° 39' 5,5" E	Batu Ceper, Tangerang	-11.2
14	DNMG	6° 9' 17,2" S / 106° 44' 8,2" E	Vittoria Residence, Daan Mogot	-11.5
15	C100	6° 8' 43,53" S / 106° 42' 25,62" E	Utan Jati	-2.4
16	PNIK	6° 7' 28,6" S / 106° 45' 29,6" E	Pantai Indah Kapuk	-32.1
17	LBLS	6° 17' 33,1" S / 106° 47' 43,4" E	Lebak Bulus	-5
18	C38	6° 8' 5,71" S / 106° 41' 44,09" E	Bulak Sere	-5.3
19	GPS11	6° 7' 32,36" S / 106° 51' 14,94" E	Ancol	-12.6
20	KLDS	6° 9' 25,93" S / 106° 42' 11,38" E	Kali Deres	-17.6



Gambar 4.72. Peta laju penurunan tanah daerah kajian 2017 - 2019

Berdasarkan hasil pengukuran GPS geodetic menunjukkan bahwa laju penurunan tanah daerah kajian berkisar antara 0 – 32.2 cm (periode 2017 – 2019). Laju penurunan tanah tertinggi di daerah Kamal, Muara Angke dan Cengkareng, dengan laju penurunan tanah berkisar antara 16 – 32.2 cm (periode 2017 – 2019). Penyusun utama daerah-daerah tersebut didominasi oleh tanah lunak berupa lempung laut (*marine clay*) dan lempung organik. Tanah lunak adalah lapisan tanah yang mempunyai konsistensi sangat lunak – lunak (untuk tanah berbutir halus) atau mempunyai kepadatan relative lepas – agak lepas (untuk tanah berbutir kasar), sedangkan nilai tekanan konusnya $< 10,00 \text{ kg/cm}^2$ dan nilai N (SPT) < 4 (Bowles, 1984).

Tanah lunak merupakan salah satu permasalahan geologi teknik. Pada umumnya menjadi penyebab penurunan muka tanah. Penurunan tanah juga disebabkan atau berhubungan dengan proses pembebanan, konsolidasi serta fluktuasi tekanan hidraulik pada lapisan tanah, untuk memberikan gambaran umum besarnya konsistensi tanah dilakukan uji sondir dan SPT (Standard Penetration Test). Berdasarkan data Dinas DPE DKI Jakarta (2014), untuk kedalaman 10 m dan 30 m, nilai SPT daerah kajian bagian utara relative rendah..

Endapan aluvium pantai dan sungai yang menyusun wilayah Kabupaten Tangerang dan wilayah Jakarta Barat bagian utara mempunyai ketebalan lebih dari 250 m serta mempunyai karakteristik berupa tanah *normally consolidated*, yang berarti tanah aluvium tersebut masih memungkinkan akan mengalami pemampatan secara alami, disamping itu faktor beban dari bangunan juga mempengaruhi dalam proses pemampatan yang berakhir dengan terjadinya amblesan tanah di permukaan. Sifat tanah di daerah penyelidikan pada umumnya lunak dan didominasi oleh tanah berbutir halus dengan kompresibilitas yang tinggi. Penurunan tanah akan terjadi akibat beban yang akan di tanggung sehingga bangunan yang bertumpu pada lapisan tersebut perlu memperhatikan hal ini. Pemampatan tanah akan berlangsung lama karena mempunyai sifat yang plastis dan drainase buruk. Tanah lunak di daerah penyelidikan pada umumnya mempunyai konsistensi sangat lunak - lunak dengan nilai $q_c < 10 \text{ kg/cm}^2$, nilai indek kompresibilitas (C_c) 0,189 – 0,754 dan koefisien konsolidasi (C_v) 0,0009 – 0,00128 cm^2/det (Sudarsono, dkk., 2009).

4.9.3. Zona Kerentanan Likuefaksi

Likuefaksi adalah fenomena hilangnya kekuatan pada lapisan tanah akibat beban guncangan gempa. Hilangnya kekuatan pada lapisan tanah utamanya yang berperan sebagai lapisan pondasi menyebabkan menurunnya daya dukung pondasi secara cepat sehingga

menimbulkan kegagalan pondasi atau kerusakan infrastruktur yang berada di atasnya. Disamping itu, fenomena likuefaksi dapat pula memicu pergerakan tanah dalam mekanisme yang kompleks sehingga tingkat ancaman bahaya menjadi lebih tinggi terhadap masyarakat dan infrastruktur. Likuefaksi yang terjadi pada suatu daerah dapat memberikan efek kerusakan di permukaan mulai yang bersifat setempat maupun massif.

Berdasarkan peta kerentanan likuefaksi, daerah kajian terbagi menjadi 4 zona (Wirabuana, dkk., 2019) (Gambar 4.73), yaitu:

1. Zona Kerentanan Likuefaksi Tinggi

Zona kerentanan yang dapat mengalami likuefaksi secara merata dan struktur tanah umumnya menjadi rusak parah hingga hancur. Tipe kerusakan struktur tanah yang terjadi

berupa likuefaksi aliran (flow liquefaction), pergeseran lateral (lateral displacement), penurunan tanah (vertical displacement) dan semburan pasir (sand boil).

2. Zona Kerentanan Likuefaksi Sedang

Zona kerentanan yang dapat mengalami likuefaksi secara tidak merata dan struktur tanah umumnya rusak. Tipe kerusakan struktur tanah yang terjadi berupa pergeseran lateral, penurunan tanah dan semburan pasir.

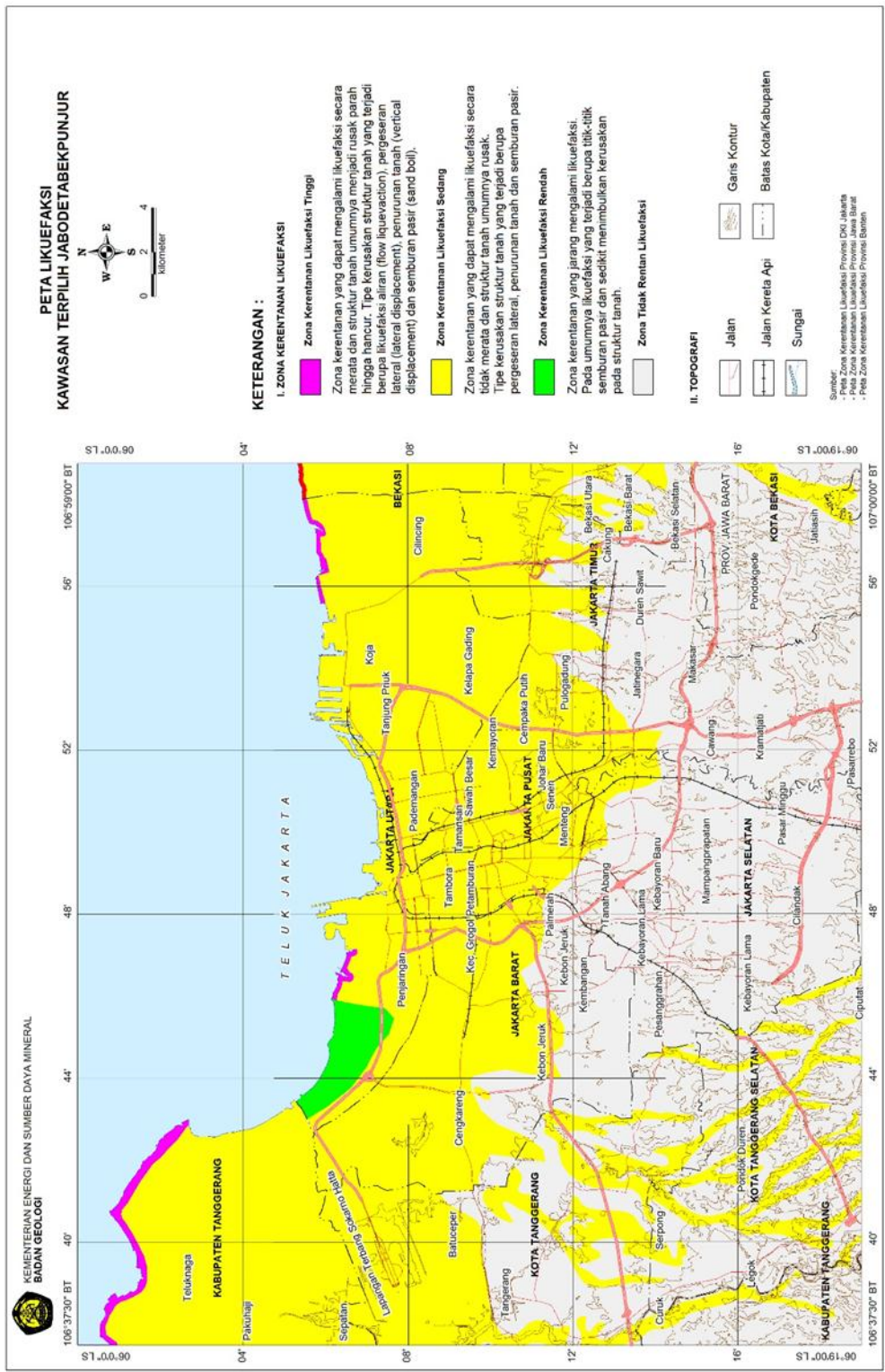
3. Zona Kerentanan Likuefaksi Rendah

Zona kerentanan yang jarang mengalami likuefaksi. Pada umumnya likuefaksi yang terjadi berupa titik-titik semburan pasir dan sedikit menimbulkan kerusakan pada struktur tanah.

4. Zona Tidak Rentan Likuefaksi

4.9.4. Zona Kemampuan Geologi Teknik

Tingkat zona kemampuan geologi teknik, dinilai berdasarkan aspek geologi teknik, potensi bahaya geologi yang terjadi, tingkat kemudahan penyelidikan (*ability*) dan pemanfaatan usaha rekayasa teknik yang terkait dengan nilai ekonomis. Berdasarkan beberapa parameter di atas maka daerah kajian dapat dibagi menjadi tiga zona kemampuan geologi teknik (Gambar 4.74) yaitu :



Gambar 4.73. Peta zona kerentanan likuefaksi daerah kajian (Wirabuana, dkk., 2019)

a. Zona Kemampuan Geologi Teknik Rendah

Daerah yang mempunyai tingkat penilaian kemampuan geologi teknik rendah, sehingga apabila akan dikembangkan pada zona ini memerlukan rekayasa teknik dengan

biaya tinggi – sangat tinggi. Litologinya berupa lempung organic, lanau pasiran, lempung lanauan, lanau lempungan, konsistensi sangat lunak - lunak, plastisitas sedang - tinggi, kompresibilitas tinggi, permeabilitas rendah, pengembangan tanah menengah – tinggi. Nilai N-SPT berkisar antara 0-10, di beberapa tempat N-SPT nya 10 – 25. Tanah dengan konsistensi sangat lunak jika diberi beban di atasnya akan sangat mudah ambles, sehingga perlu perhatian dalam membangun infrastruktur di atasnya. Beberapa cara yang biasanya digunakan adalah dengan membuat pondasi tiang pancang yang diletakkan pada lapisan keras di bawahnya, atau dilakukan perkuatan tanah dengan pengurangan dan juga *grouting*. Bahkan untuk infrastruktur yang sangat penting maka jenis tanah lunak perlu dibuang dan diganti dengan jenis tanah yang diinginkan meskipun biayanya sangat mahal. . Laju penurunan tanah tinggi di bagian utara berkisar antara 16 – 32 cm/2 tahun. Potensi kerentanan likuefaksi tinggi – rendah. Sebarannya menempati bagian barat, utara, tengah dan sebagian di bagian timur daerah kajian.

b. Zona Kemampuan Geologi Teknik Sedang

Daerah yang mempunyai tingkat penilaian kemampuan geologi teknik sedang, sehingga apabila akan dikembangkan pada zona ini memerlukan rekayasa teknik dengan biaya sedang. Litologinya berupa lempung lanauan, lanau lempungan, pasir lanauan, lempung organic dan lanau pasiran. Konsistensi lunak, di beberapa tempat konsistensinya sangat lunak, plastisitas sedang - tinggi, kompresibilitas tinggi, permeabilitas rendah, pengembangan tanah rendah – tinggi. Nilai N-SPT berkisar antara 23-40, di beberapa tempat N-SPT nya 10-20. Laju penurunan tanah berkisar antara 4 - 16 cm/2 tahun Potensi kerentanan likuefaksi tinggi – sedang. Sebarannya menempati bagian timur, tengah dan sebagian di bagian selatan daerah kajian.

c. Zona Kemampuan Geologi Teknik Tinggi

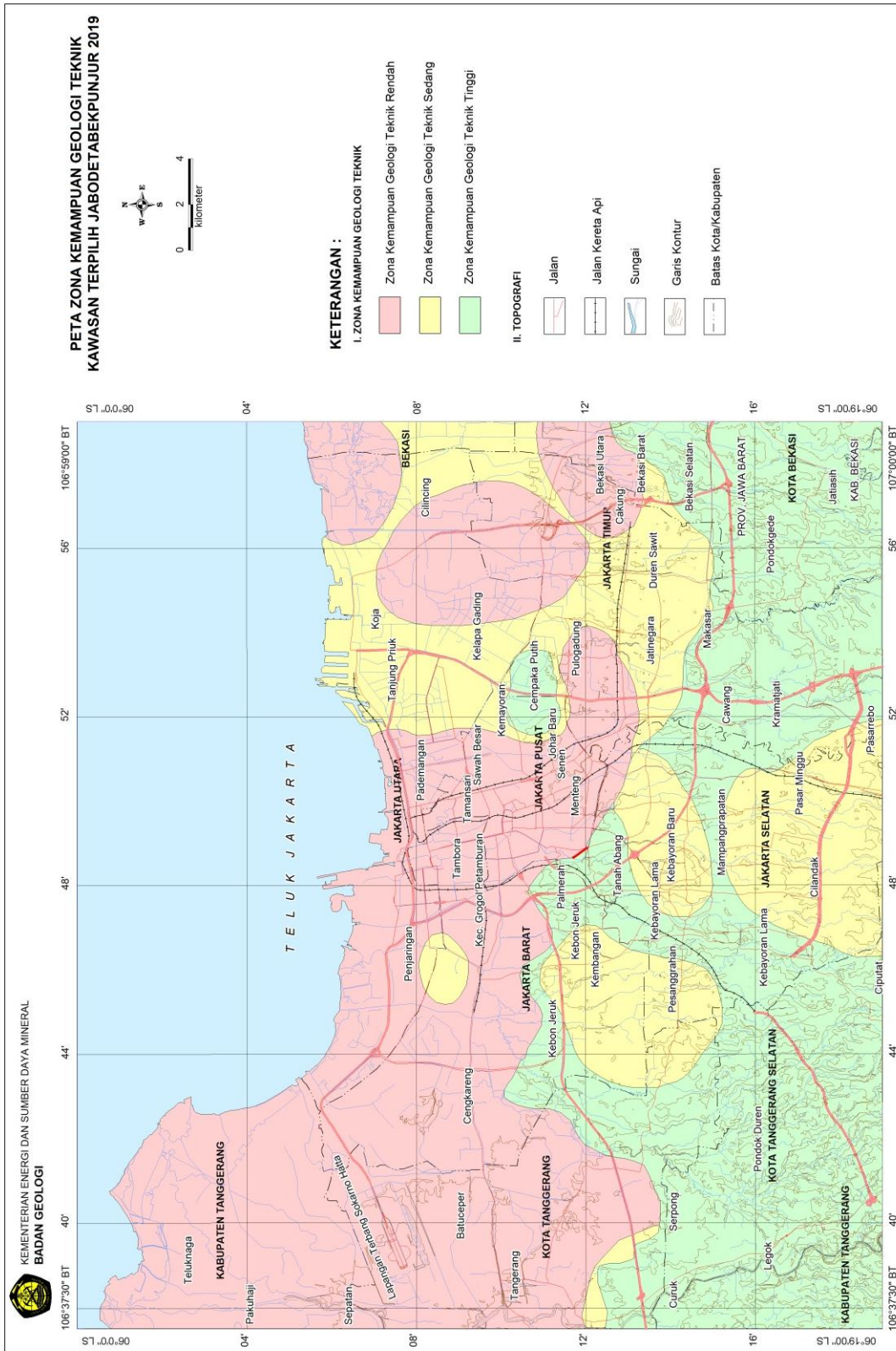
Daerah yang mempunyai tingkat penilaian kemampuan geologi teknik tinggi, sehingga apabila akan dikembangkan pada zona ini memerlukan rekayasa teknik dengan biaya rendah. Litologinya berupa lempung pasiran, pasir lempungan, pasir lanauan dan lempung lanauan. Konsistensi teguh-lunak, di beberapa tempat konsistensinya sangat lunak, plastisitas rendah - tinggi, kompresibilitas menengah-tinggi, permeabilitas rendah, pengembangan tanah rendah – sedang. Nilai N-SPT berkisar antara 40 - >60, di beberapa tempat N-SPT nya 25 - 40. Laju penurunan tanah berkisar antara 0 - 6 cm/2 tahun Potensi kerentanan likuefaksi sedang. Sebarannya menempati bagian selatan dan tengah daerah kajian.

4.9.5. Kesimpulan

- 1) Daerah kajian secara morfogenetik terbagi menjadi 3 (tiga) satuan geomorfologi yakni Morfologi Dataran Aluvial Pantai, Morfologi Gunung Api Muda dan Morfologi Kipas Gunung Api Bogor .
- 2) Daerah kajian tersusun oleh mayoritas endapan Kuartar yang didominasi oleh endapan vulkanik dan sedimen serta dialasi oleh batuan dasar yang berumur Tersier.
- 3) Daerah kajian dapat dibedakan menjadi 4 (empat) satuan geologi teknik yaitu: Lanau Pasiran - Lempung Organik [A(ms,co)], Lempung Lanauan - Lanau Lempungan [A(cm,mc)], Pasir Lanauan [A(sm)], Pasir Lempungan - Lempung Pasiran [A(sc,cs)] dan Lempung Pasiran [R(cs)]
- 4) Zona kemampuan geologi teknik daerah kajian dapat dibedakan menjadi 3 (tiga) zona, yaitu:
 - a. Zona Kemampuan Geologi Teknik Rendah
 - b. Zona Kemampuan Geologi Teknik Sedang
 - c. Zona Kemampuan Geologi Teknik Tinggi

4.9.6. Saran

- 1) Perlu dilakukan pemantauan penurunan tanah di daerah kajian. Beberapa metode yang dapat dilakukan antara lain memasang Titik Tetap (*Bench Mark*) dan Titik Pengamatan (*Monitoring pile*) untuk di pantau menggunakan alat ukur, GPS atau menggunakan satelit.
- 2) Titik pengamatan (*Monitoring pile*) sebaiknya diletakkan pada lapisan yang mengalami penurunan di kedalaman antara 3 – 4 m dari muka tanah setempat dan tidak diletakkan pada tanah urugan.
- 3) Pemasangan *ekstensometer* pada beberapa lapisan yang diperkirakan mengalami penurunan dan memasang *piezometer* guna mengamati perubahan karakteristik tiap lapisan.
- 4) Perlu pertimbangan yang lebih seksama dalam pengembangan kawasan di sekitar pantai, terutama pada daerah yang berpotensi mengalami penurunan tanah dan likuefaksi.
- 5) Agar melakukan upaya konservasi air tanah karena berdasarkan Peta Kerusakan Air Tanah Pada Akuifer Tak Tertekan (Sihwanto, 2003), daerah penyelidikan berada pada zona rawan hingga rusak.



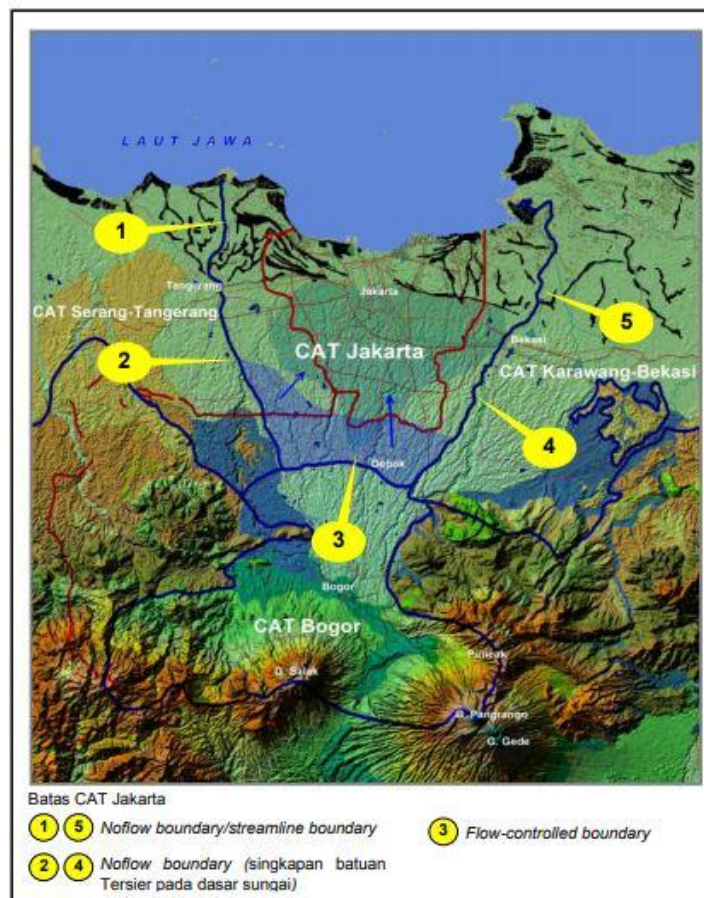
Gambar 4.74. Peta zona kemampuan geologi teknik daerah kajian

BAB V
TEMATIK GEOLOGI LINGKUNGAN
UNTUK PENGEMBANGAN WILAYAH PERKOTAAN

5.1 Tematik Komponen Sumber Daya Geologi

5.1.1. Peta Ketersediaan Air Tanah

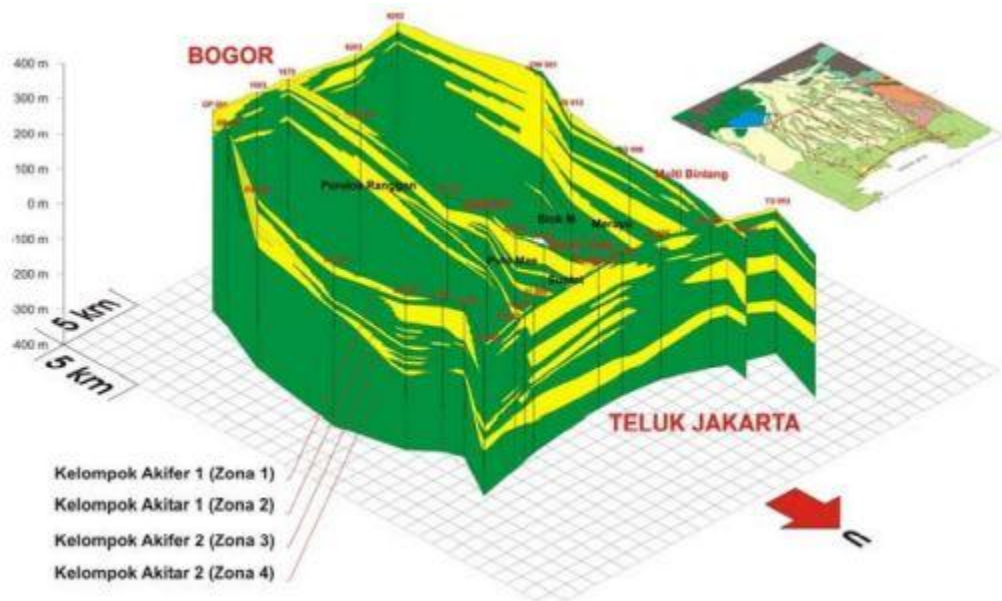
Air tanah merupakan bagian dari air yang terdapat di bumi. Air dalam beberapa wujudnya selalu bergerak dalam suatu peredaran alami, yang dikenal sebagai daur hidrologi. Air merupakan salah satu sumber daya geologi yang vital untuk menunjang kehidupan masyarakat, irigasi, perkebunan, pertambangan, industri, perdagangan dan sebagainya.



Gambar. 5.1. Batas horizontal CAT di Jabodetabekpunjur (Tirtomihardjo, H., dan Taat Setiawan, 2013)

Cekungan air tanah adalah suatu wilayah yang dibatasi oleh batas hidrogeologis, tempat semua kejadian hidrogeologis seperti proses pengimbuhan, pengaliran, dan pelepasan air tanah berlangsung (Undang-Undang Nomor 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air). Mengacu kepada Keputusan Presiden Nomor 26 Tahun 2011 tentang Penetapan Cekungan Air Tanah, CAT Jakarta dikategorikan sebagai cekungan air tanah lintas batas provinsi, yakni Prov. D.K.I. Jakarta, Prov. Jawa Barat, dan Prov. Banten. Secara vertikal, bagian atas CAT Jakarta dibatasi oleh muka air tanah bebas (muka freatik) dan di bagian bawahnya oleh batuan berumur Tersier yang secara nisbi bersifat kedap air (BKAT-Badan Geologi).

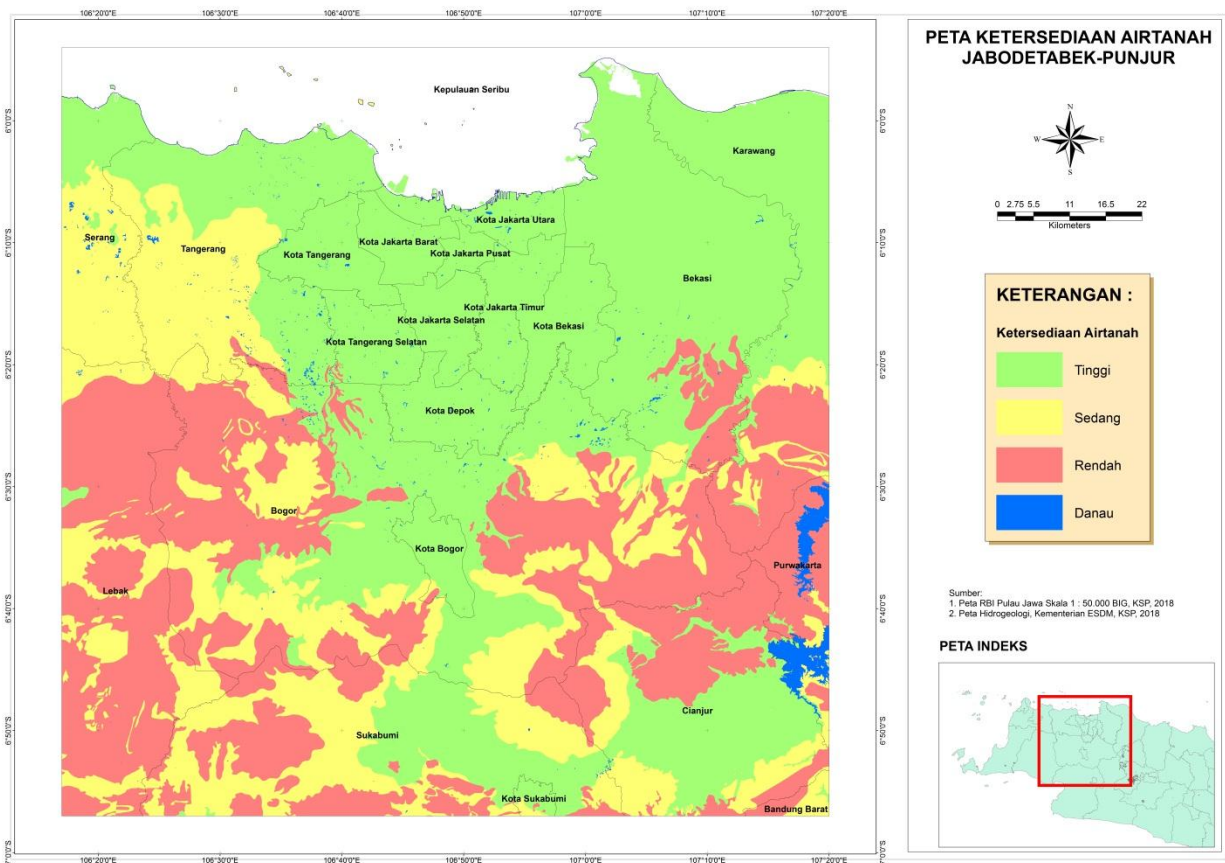
Berdasarkan hasil penelitian Fachri M., dkk, pada tahun 2002 dalam Buletin Geologi Vol. 34 No. 3 telah membagi zona hidrostratigrafi berdasarkan kesesuaian dengan posisi stratigrafi secara regional menjadi 4 zona, yaitu : (i) Zona I, merupakan akifer, disusun oleh Formasi Citalang dan Endapan Vulkanik Kuarter, (ii) Zona II, merupakan akitar, disusun oleh Formasi Kaliwangu bagian atas, (iii) Zona III, merupakan akifer, disusun oleh Formasi Genteng, Kaliwangu bagian tengah, dan Formasi Serpong, dan (iv) Zona IV, merupakan akitar, disusun oleh Formasi Kaliwangu bagian bawah (BKAT-Badan Geologi).



Gambar. 5.2. Diagram Blok Hidrostratigrafi CAT DKI Jakarta (Fachri, M., 2002)

Dalam melaksanakan pengembangan wilayah, maka salah satunya terkait erat dengan ketersediaan sumber daya air. Penilaian potensi sumber daya air meliputi kuantitas, kualitas dan tingkat kemudahan dalam pengambilannya, sebaliknya dianggap rendah jika kuantitasnya sedikit, kualitasnya buruk dan sulit pengambilannya. Berdasarkan keterdapatan air tanahnya (*groundwater occurrence*), pada kawasan Jabodetabekpunjur terdapat tiga kondisi ketersediaan airnya (Gambar. 5.3), yaitu :

- Ketersediaan airtanah tinggi.
Meliputi bagian tengah dan sepanjang wilayah pedataran landai di bagian utara.
- Ketersediaan airtanah sedang.
Meliputi daerah barat dan wilayah-wilayah diantara zona tinggi dan rendah.
- Ketersediaan airtanah rendah.
Sebagian besar meliputi bagian barat dan timur dan sedikit bagian selatan daerah penelitian.



Gambar. 5.3. Peta Ketersediaan Airtanah Kawasan Jabodetabekpunjur

5.1.2. Peta Kemiringan Lereng

Bentuk lahan merupakan salah satu informasi pada kondisi geomorfologi terapan yang dibutuhkan dalam perencanaan dan pengembangan wilayah. Kriteria kemiringan lereng sangat penting diperhatikan dalam perencanaan pengembangan wilayah dalam hubungannya dengan kemudahan konstruksi dan aksesibilitas. Kemiringan lereng merupakan ukuran kemiringan lahan relatif terhadap bidang datar yang secara umum dinyatakan dalam persen atau derajat. Kemiringan lereng berkaitan erat dengan kemudahan pekerjaan konstruksi dan operasional pengembangan wilayah perkotaan. Semakin terjal suatu daerah semakin sulit pekerjaan konstruksi dan pengoperasiannya dilakukan. Kecuraman lereng, panjang lereng, dan bentuk lereng semuanya dapat mempengaruhi besarnya erosi dan aliran permukaan. Sehingga kemiringan lereng suatu kawasan akan ikut berpengaruh terhadap peruntukan lahan seperti sistem perencanaan jaringan jalan, sistem pengaliran drainase, peletakan bangunan-bangunan, lokasi tapak tempat penimbunan sampah dan aspek visual.

Kemiringan lereng adalah sudut yang dibentuk oleh bidang horizontal dengan permukaan tanah yang dinyatakan dengan persen (%) atau derajat ($^{\circ}$). Kemiringan lereng wilayah Jabodetabekpunjur dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu : datar (0 – 5%), landai (5 – 15%) dan terjal ($> 15\%$).

- Datar

Merupakan daerah dataran dengan kemiringan lereng antara 0 - 5%. Wilayah dengan kemiringan ini menempati wilayah paling luas. Sebarannya berada di bagian utara, membentang dari barat ke timur tepatnya di wilayah Tangerang, DKI Jakarta, Kota Bogor, Depok, Kota dan Kabupaten Bekasi dan Karawang.



Gambar. 5.4. Daerah dengan kemiringan lereng datar

- Landai

Satuan morfologi ini mempunyai bentuk permukaan berelief halus dengan kemiringan lereng medan 5 - 15 %. Umumnya morfologi ini merupakan bagian bawah dari kipas aluvial. Daerah landai ini meliputi Kabupaten Bogor bagian barat dan bagian timur serta Kabupaten Cianjur.



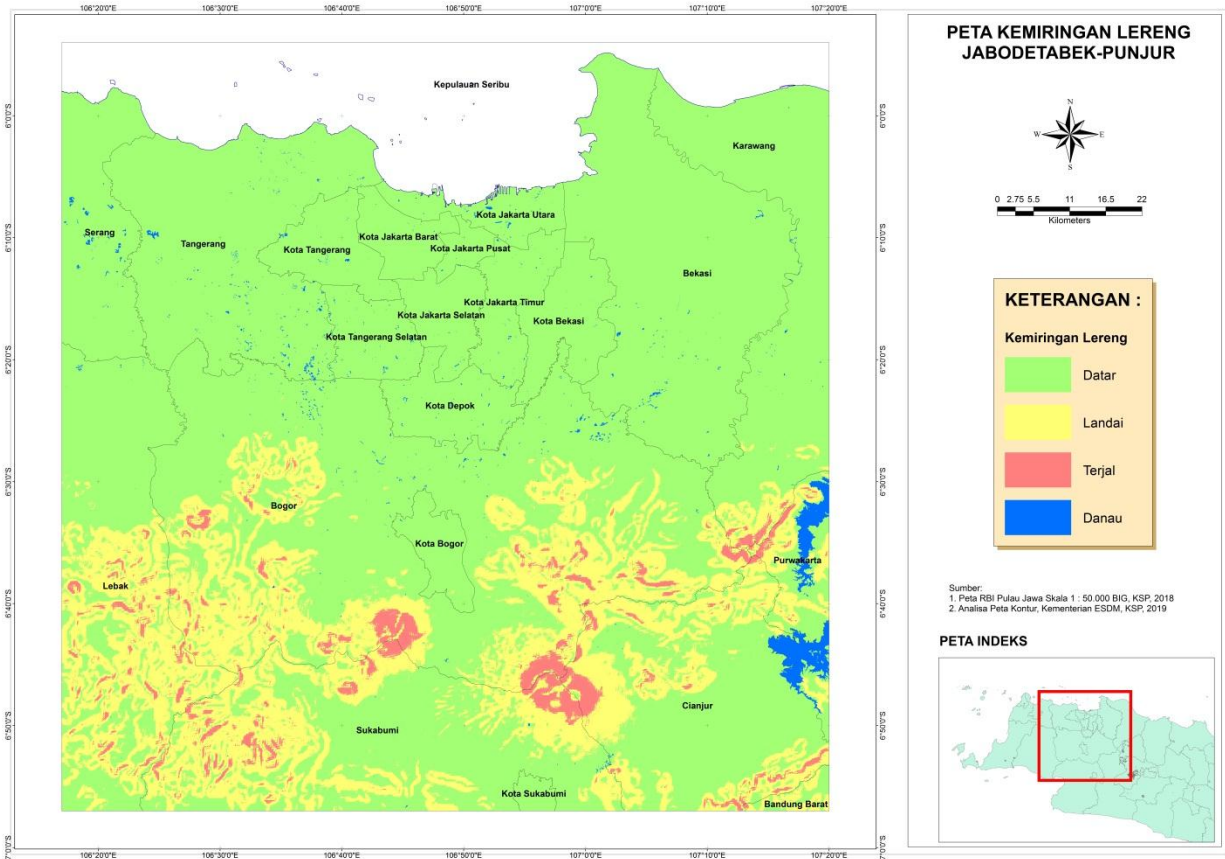
Gambar. 5.5. Daerah dengan kemiringan lereng landai

- Terjal

Satuan morfologi terjal mempunyai bentuk permukaan dengan kemiringan $> 15\%$. Wilayah dengan kemiringan ini meliputi lereng-lereng pegunungan di Kabupaten Bogor bagian barat dan bagian timur serta Kabupaten Cianjur.



Gambar. 5.6. Daerah dengan kemiringan lereng terjal



Gambar. 5.7. Peta Kemiringan Lereng Kawasan Jabodetabekpunjur

5.1.3. Peta Daya Dukung Tanah / Batuan

Kondisi geologi teknik di daerah penyelidikan diperoleh dari interpretasi, evaluasi serta analisis data hasil penyelidikan di lapangan, uji laboratorium dan data sekunder yang tersedia. Satuan geologi teknik dikelompokkan berdasarkan kesamaan sifat fisik dan karakteristik keteknikan tanah dan batuan. Tanah dan batuan di daerah kajian dapat dikelompokkan menjadi lima satuan geologi teknik (Murdohardono, dkk., 1994; Sudarsono, dkk., 2009; Syarief, 2011) yaitu:

a. Lanau Pasiran - Lempung Organik [A(ms,co)]

Merupakan endapan rawa dengan sisipan pasir lempungan. lanau pasiran dan lempung organic berwarna abu-abu kehitaman, konsistensi sangat lunak - lunak, plastisitas sedang - tinggi, kompresibilitas tinggi, permeabilitas rendah, kandungan air dan material organik tinggi, dijumpai sisa-sisa tumbuhan, tebal 2 - >25 m. Kedalaman muka air tanah bebas sangat dangkal.

Penggalian dengan peralatan non mekanik mudah dilaksanakan. Potensi penurunan tanah tinggi. Potensi bahaya likuefaksi rendah.

b. Lempung Lanauan - Lanau Lempungan [A(cm,mc)]

Merupakan endapan sungai dan pantai yang tak terpisahkan. Lempung lanauan – lanau lempungan berwarna coklat kemerahan, coklat kehitaman, lunak – sangat kaku, plastisitas sedang – tinggi, permeabilitas rendah – kedap air, kompresibilitas tinggi, pengembangan tanah menengah – tinggi, tebal 40 - > 250 m. sisipan pasir dan pasir lempungan berwarna abu-abu kecoklatan, kepadatan relative lepas – padat, berukuran pasir halus – kasar, gradasi jelek – baik, permeabilitas sedang – tinggi. Lempung organik berwarna abu-abu kehitaman, konsistensi sangat lunak – lunak, plastisitas sedang, permeabilitas rendah. Kedalaman muka air tanah bebas dangkal – sangat dalam, penggalian mudah dilaksanakan dengan peralatan non mekanik. Potensi penurunan tanah tinggi. Potensi bahaya likuefaksi rendah.

c. Pasir Lanauan [A(sm)]

Merupakan endapan pematang pantai, mengandung fragmen kerikil dang cangkang kerang. Pasir lanauan berwarna abu-abu kehitaman, kepadatan relative lepas – agak padat, berukuran pasir halus – sedang, gradasi jelek, permeabilitas sedang – tinggi, tebal 2 – 10 m. Kedalaman muka air tanah bebas dangkal. penggalian mudah dilaksanakan dengan peralatan non mekanik. Potensi penurunan tanah sedang. Potensi bahaya likuefaksi rendah.

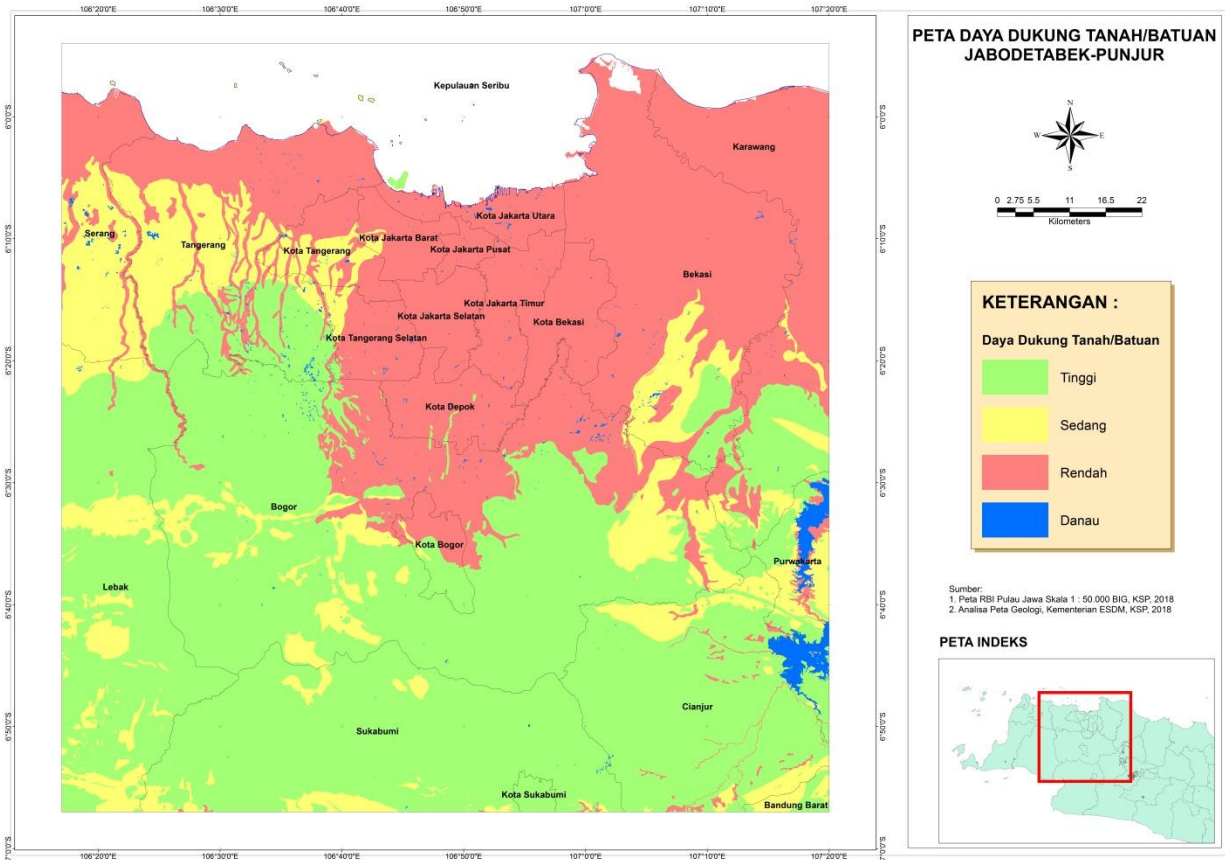
d. Pasir Lempungan - Lempung Pasiran [A(sc,cs)]

Merupakan endapan sungai tua dan dataran limbah banjir. Bagian atas berupa lempung pasiran berwarna coklat keabuan, teguh – kaku, plastisitas sedang – tinggi, permeabilitas rendah, kompresibilitas tinggi. Pasir lempungan berwarna abu-abu kehitaman – kecoklatan, lepas – agak padat, berbutir pasir halus – kasar, membundar – menyudut tanggung, gradasi baik, permeabilitas tinggi, tebal 3 – 18 m. Kedalaman muka air tanah bebas dangkal – sangat dalam. penggalian mudah dilaksanakan dengan peralatan non mekanik. Potensi penurunan tanah sedang - rendah. Potensi bahaya likuefaksi rendah.

e. Lempung Pasiran [R(cs)]

Lempung Pasiran [R(cs)] dengan sisipan pasir lempungan dan pasir lanauan, merupakan pelapukan dari kipas alluvium volkanik. Lempung pasiran berwarna coklat kemerahan, coklat kehitaman, konsistensi lunak – sangat kaku, plastisitas sedang – tinggi, permeabilitas rendah, tebal 3 – 60 m. Pasir lempungan berwarna coklat – coklat kemerahan, kepadatan relative lepas –

padat, permeabilitas sedang. Penggalian agak sukar dilaksanakan dengan peralatan non mekanik. Kedalaman muka air tanah bebas dalam – sangat dalam, di beberapa tempat langka air tanah bebas. Potensi penurunan tanah sedang - rendah. Potensi bahaya likuefaksi rendah



Gambar. 5.8. Peta Daya Dukung Tanah/Batuan Kawasan Jabodetabekpunjur

5.2 Tematik Komponen Bahaya Geologi

Bahaya geologi adalah proses geologi yang mengancam keselamatan harta dan atau jiwa manusia. Keberadaan ancaman bahaya geologi di suatu kawasan berkaitan dengan kondisi geologi di kawasan itu. Manajemen ancaman bahaya geologi dapat dipandang sebagai bagian dari upaya untuk mengurangi dampak negatif apabila bahaya geologi itu benar-benar terjadi (mitigasi bencana) dan merencanakan bagaimana menanggapi bencana geologi bila terjadi (preparedness).

Mitigasi dan *preparadnes* bencana adalah fase awal dari suatu siklus manajemen bencana. Aktifitas mitigasi bencana sesungguhnya adalah upaya untuk mengeliminasi atau mengurangi kemungkinan terjadinya bencana, atau mengurangi efek dari bencana yang tidak dapat dicegah kejadiannya. Karakter dari setiap macam bencana itu perlu dipahami agar kita dapat menyusun strategi menghadapi ancamannya. Secara umum, disamping memperkirakan waktu kejadian, pemetaan daerah-daerah di kawasan pesisir yang terancam oleh suatu ancaman bahaya geologi adalah langkah penting yang harus dilakukan dalam aktifitas mitigasi bencana atau geologi itu yang dilakukan berdasarkan karakter dari bencana atau bahaya geologi tersebut.

Implementasi komponen bahaya geologi dalam penataan ruang dapat mengacu pada pedoman penataan ruang kawasan rawan letusan gunung berapi dan kawasan rawan gempa bumi nomor 21/PRT/M/2007. Pedoman ini disusun dalam rangka menjabarkan Undang-Undang No. 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang antara lain Pasal 3 beserta penjelasannya dan penjelasan umum angka 2. Selain itu pedoman ini juga menjabarkan Undang-Undang No. 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana khususnya Pasal 42, ayat (1), Peraturan Pemerintah No. 47 Tahun 1997 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Nasional, dan Keputusan Presiden No. 32 Tahun 1990 tentang Pengelolaan Kawasan Lindung. Di samping untuk melengkapi pedoman bidang penataan ruang yang telah ada, pedoman ini juga ditujukan untuk memberi acuan bagi pemerintah daerah provinsi dan kabupaten/kota dalam melaksanakan penataan ruang kawasan rawan letusan gunung berapi dan kawasan rawan gempa bumi.

5.2.1. Gempa Bumi

Potensi bencana gempa bumi yang dapat terjadi di daerah Jabodetabekpunjur antara lain guncangan tanah, patahan gempa bumi, gerakan tanah (longsor), retakan tanah, liquifaksi dan tsunami. Potensi guncangan tanah direfleksikan oleh nilai percepatan gempa bumi dalam satuan gal atau cm/detik^2 . Hasil analisis bencana gempa bumi probabilistik (PSHA), menunjukkan daerah Jabodetabekpunjur terletak pada wilayah dengan $\text{PGA} = 0,25 - 0,45 \text{ g}$, 2% probabilistic dalam 50 tahun pada situs batuan SB. Nilai ini dapat disetarakan dengan intensitas VI – VIII MMI.

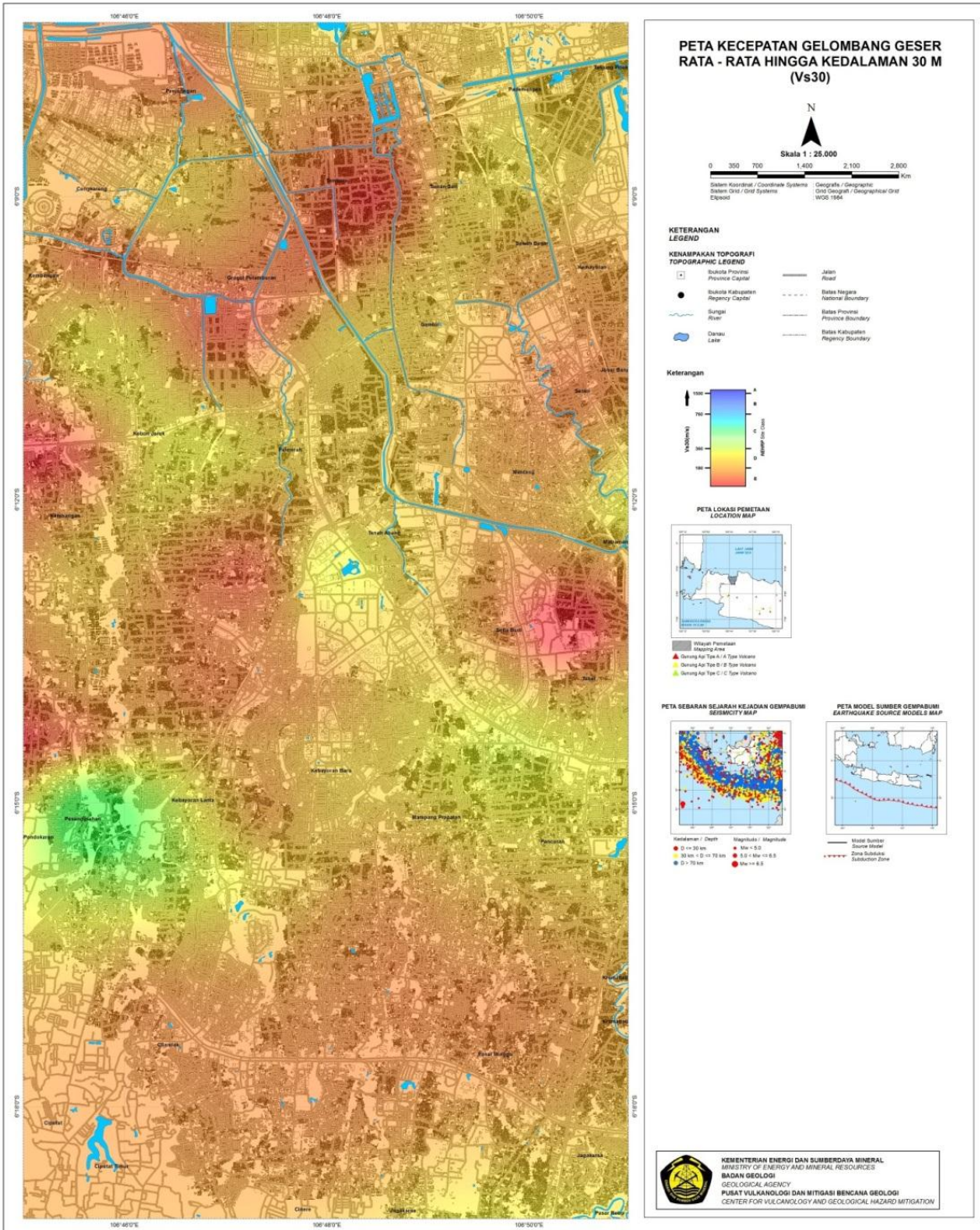
Berdasarkan kondisi tersebut diatas, dinilai bahwa potensi bencana gempa bumi dan risiko tinggi dapat terjadi di daerah yang memiliki kepadatan penduduk dan infrastruktur padat, seperti di kawasan perkotaan dan kecamatan. Besar kecilnya potensi bencana gempa bumi sangat

tergantung pada kondisi geologi dekat permukaan hingga kedalaman 30 meter. Batuan yang terletak 30 meter dibawah permukaan ini disebut sebagai batuan dasar geologi teknik (*geotechnical basement*). Data dan informasi sifat fisik batuan dan tanah setempat yang berperan kuat dalam merespon getaran gempa bumi adalah ragam batuan/tanah (batuan/SA, diluvium/SB, alluvium/SC dan alluvium lunak/SD), kecepatan rambat gelombang S pada kedalaman 30 meter di bawah permukaan disebut sebagai Vs30, frekwensi atau perioda dominan batuan dan tanah, besaran geoteknik nilai N spt.

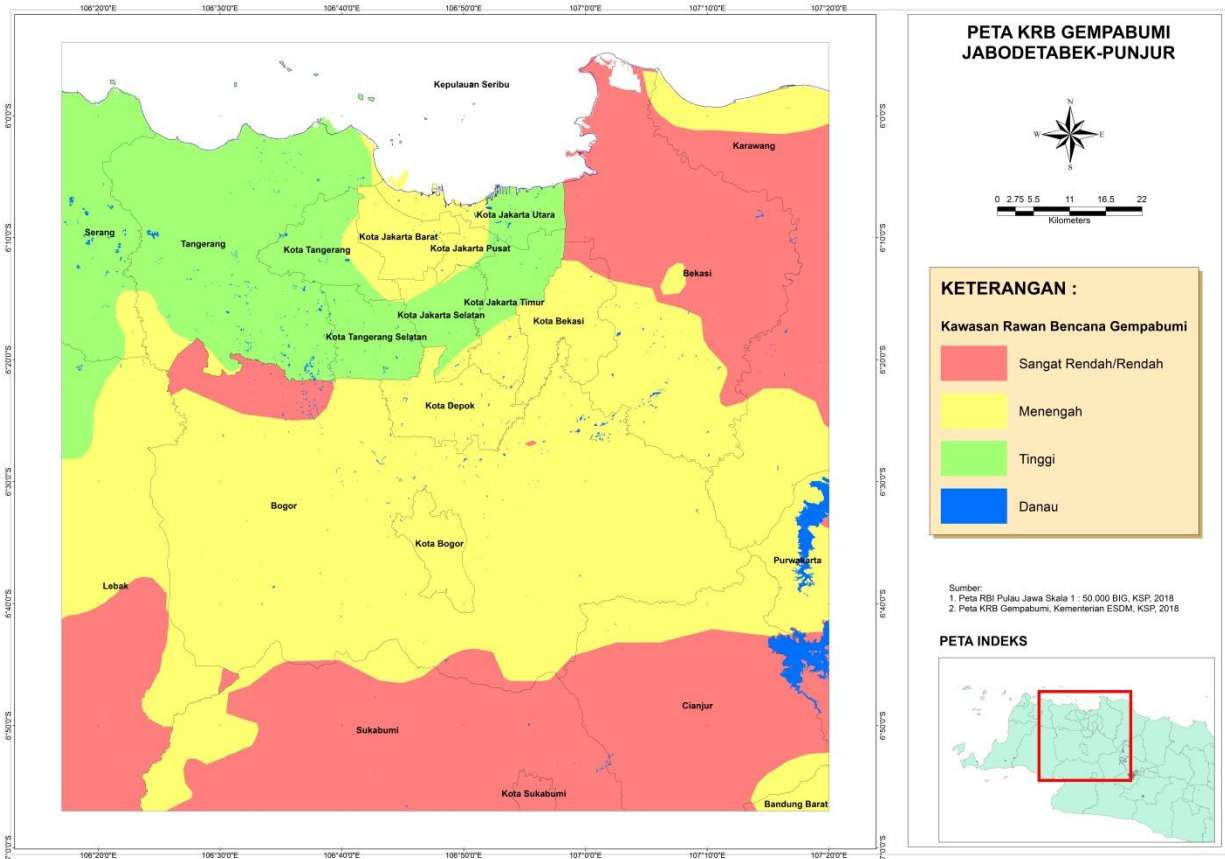
Hasil analisa Struktur Geologi dijumpai adanya struktur berupa sesar normal, sesar mendatar maupun sesar naik. Hasil analisa dari Diagram Mawar Kelurusan Sesar menunjukkan yang paling dominan adalah arah Baratlaut dan Tenggara yaitu sesuai dengan Segmen Kelurusan Sesar Cisadane. Untuk dominan yang ke dua ditempati oleh arah Utara-Timurlaut dan Baratdaya-Selatan yang mana arah tersebut sesuai dengan Segmen Kelurusan Sesar Bekasi. Untuk yang ke tiga yaitu paling kecil berarah Barat dan Timur yang mana arah tersebut sesuai dengan Segmen Kelurusan Sesar Baribis.

Herman (2015) menduga bahwa Cekungan Jakarta atau Cekungan Ciputat adalah cekungan tektonik yang keberadaannya dikontrol oleh Patahan Cisadane di sebelah barat dan Patahan Kali Bekasi di sebelah timur. Selain itu Patahan Ciliwung memotong Kota Jakarta dari selatan ke utara. Ketiga patahan tersebut diperkirakan adalah patahan mendatar yang memiliki komponen normal, sehingga pada dasarnya Cekungan Jakarta adalah sebuah graben.

Hasil pengolahan Vs30 untuk wilayah Jakarta memiliki nilai bervariasi antara 60 - 360 m/s. Berdasarkan klasifikasi kelas tanah dari *National Earthquake Hazard Reduction Program (NEHRP)*, dapat diklasifikasikan kedalam kelas E atau tanah lunak ($V_s < 180$ m/s) dan kelas D atau tanah sedang ($180 \text{ m/s} < V_s < 360$ m/s). Kondisi ini menyebabkan wilayah Jakarta rentan mengalami penguatan guncangan gempa bumi ketika gempa bumi terjadi, sehingga pembangunan infrastruktur di wilayah ini perlu memperhatikan kaidah bangunan tahan gempa untuk mereduksi dampak negatif yang terjadi di wilayah ini.



Gambar 5.9. Peta sebaran kedalaman cekungan wilayah Jakarta dengan Vs 30 m/s.



Gambar 5.10. Peta Kawasan Rawan Bencana Gempa Bumi Jabodetabekpunjur.

5.2.2. Gerakan Tanah

Jenis gerakan tanah yang terdapat di daerah pemetaan Bopunjur umumnya berjenis longsoran bahan rombakan, nendatan, dan aliran bahan rombakan. Berdasarkan penyelidikan lapangan dan interpretasi citra, secara keseluruhan terdapat 870 titik lokasi gerakan tanah dengan dimensi kecil sampai sedang, baik itu berupa longsoran, nendatan, aliran bahan rombakan.

Gerakan tanah tipe longsoran terutama terjadi pada tebing-tebing jalan, lereng yang terpotong untuk pemukiman dan alur-alur air pada tebing jalan yang berada pada daerah perbukitan dengan relief sedang sampai kasar. Gerakan tanah tipe longsoran banyak juga dijumpai pada tebing di daerah pemukiman warga seperti kejadian di pada lereng yang memiliki kemiringan terjal.

Jumlah titik longsor sebanyak 870, dalam perhitungan data kejadian dan potensi gerakan tanah tersebut dibagi ke dalam dua kelompok menjadi longsor *training* dan longsor tes.

Sebanyak 70% (longsor *training*) digunakan dalam perhitungan dan 30% (longsor tes) lainnya digunakan dalam validasi untuk menilai hasil prediksi.

Di daerah pemetaan juga dijumpai longsor dengan tipe nendatan pada badan jalan. Badan jalan selain mengalami nendatan juga mengalami retakan. Gerakan tanah terjadi pada badan jalan yang berada di atas tebing dengan kemiringan terjal dengan tataguna lahan di sekitarnya berupa sawah dan kebun campuran.

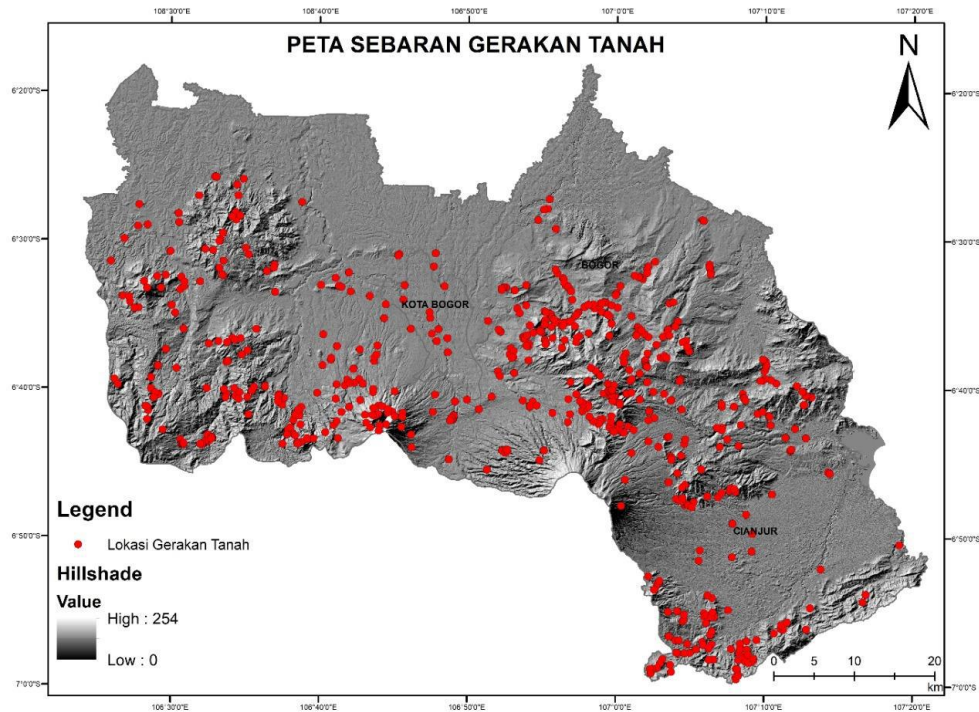
Tipe gerakan tanah jenis aliran bahan rombakan juga ditemukan di daerah penelitian. Daerah yang berpotensi terjadinya aliran bahan rombakan salah satunya adalah aliran sungai yang berhulu di G. Salak, longsor bahan rombakan pada daerah persawahan dimana material longsorannya masuk ke sungai dan menutupi aliran sungai, dapat berpotensi menjadi aliran bahan rombakan.



Gambar 5.11. Longsor bahan rombakan di Kp.Cadas Leueur, Desa Bantar Karet, Kec. Nanggung (kiri); Longsor tipe aliran bahan rombakan yang terjadi di lereng tebing di Desa Sukawangi, Kec. Sukamakmur (kanan).



Gambar 5.12 Potensi aliran bahan rombakan: di Desa Pabangbon, Kec. Leuwiliang, (kiri); di tebing Sungai Ciomas di Kec. Sukamakmur (kanan), Kab. Bogor.



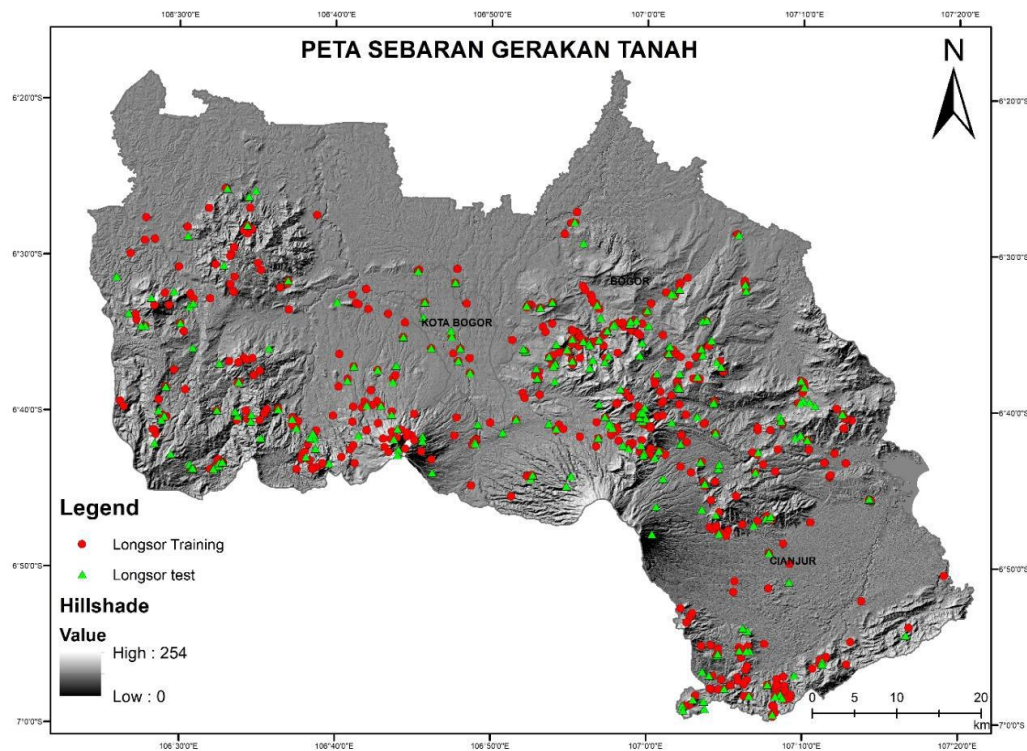
Gambar 5.13 Peta sebaran/distribusi titik gerakan tanah di Bopunjur.

Kualitas tiap parameter pengontrol divalidasi dengan melakukan penghitungan AUC. Parameter pengontrol tersebut merupakan faktor-faktor yang membuat kondisi suatu lereng menjadi rentan atau siap bergerak. Dalam pemetaan di Bopunjur, parameter yang dipakai untuk membuat peta kerentanan gerakan tanah, yaitu lereng (kemiringan lereng), ketinggian (elevasi), geologi (litologi/jenis batuan), tata guna lahan, jenis tanah, dan *peak ground acceleration* (PGA). Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh nilai AUC tiap parameter, secara umum bernilai Cukup Baik, dengan nilai AUC terbesar pada parameter geologi atau jenis batuan dengan nilai 0,78.

Tabel 5.1 Nilai AUC untuk setiap parameter.

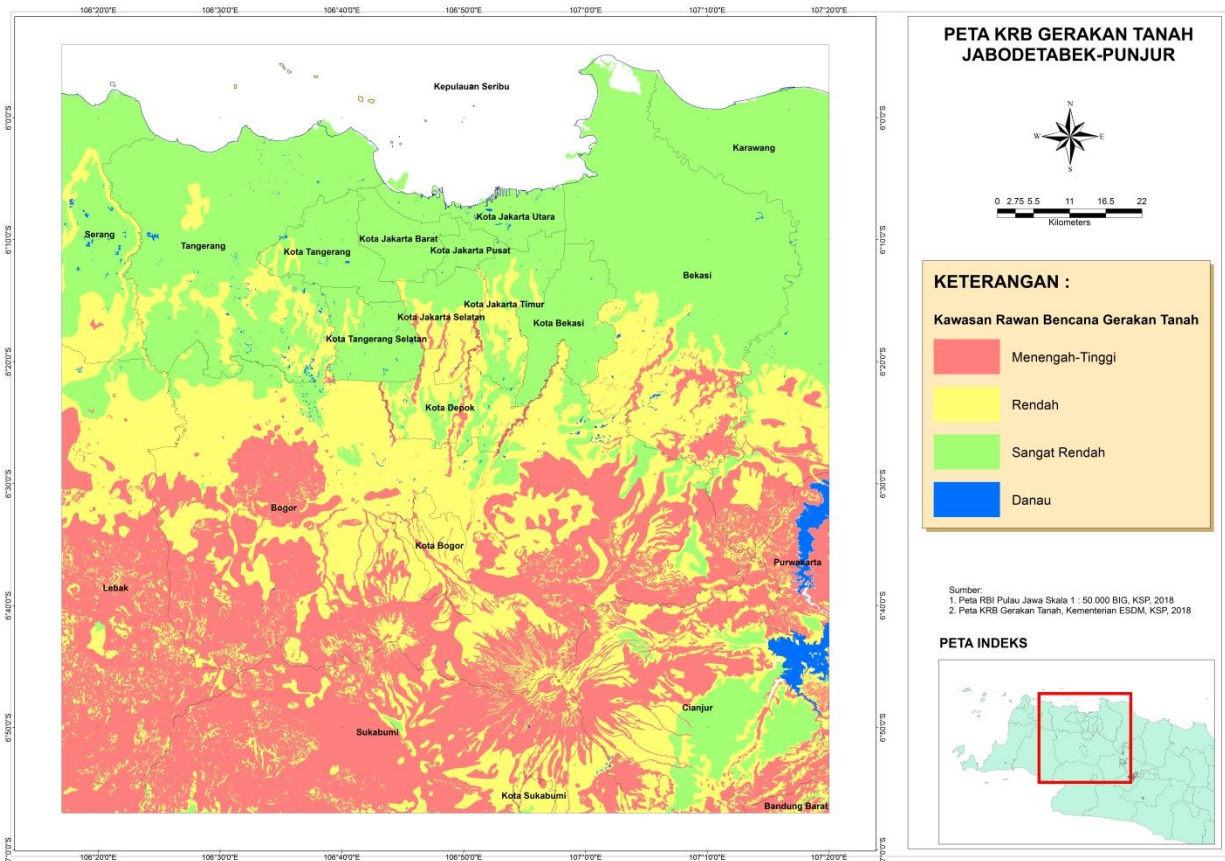
Parameter	Total Area	Longsor training	AUC
Slope	419215	556	0,67
Elevasi			0,68
Geologi			0,78
Lahan			0,65
PGA			0,66
Tanah			0,67

Penentuan kerentanan masing-masing kelas dalam setiap parameter dihitung melalui pendekatan statistik WoE. Setiap kelas parameter tersebut dibobot hubungannya dengan gerakan tanah (Tabel 4.2). Nilai negatif mengandung arti bahwa kerapatan gerakan tanah lebih rendah dari normal dan nilai positif berarti kerapatan gerakan tanah lebih tinggi dari normal. Semakin tinggi nilai positif maka semakin rentan kelas parameter tersebut.



Gambar 5.14 Peta sebaran titik gerakan tanah di Bopunjur, yang dalam analisis dibagi dua menjadi longsor *training* dan longsor tes.

Daerah yang sangat berpotensi terjadinya bencana gerakan tanah secara umum lebih didominasi berada di wilayah selatan dengan topografi tinggi dan kemiringan lereng curam yakni di daerah pegunungan seperti Gunung Salak, Gede-Pangrango, Kendeng, Halimun, Palasari, Lemo, Perbakti, Sudamanik, Gegerbentang, terutama di daerah sekitar kawah muda berupa morfologi gawir melingkar.



Gambar 5.15. Peta Kawasan Rawan Gerakan Tanah Jabodetabekpunjur.

5.2.3. Gunungapi

Potensi bencana dari gunungapi di daerah Jabodetabekpunjur bersumber dari Gunung Gede dan Gunung Salak di wilayah selatan daerah penelitian, potensi kerugian yang ditimbulkan akibat bencana gunungapi berupa kematian, kerusakan sarana dan prasarana publik, dan lain-lain. Yang dimaksud dengan kawasan rawan bencana adalah kawasan yang pernah terlanda atau diidentifikasi berpotensi terancam bahaya letusan baik secara langsung maupun tidak langsung. Kawasan-kawasan tersebut ditentukan atas dasar kemungkinan pola sebaran jenis potensi bahaya yang dikaitkan terhadap situasi topografi/geomorfologinya, sehingga dapat diperkirakan pola sebaran masing-masing jenis produk pada letusan yang akan datang.

Gunung Gede merupakan gunungapi strato dengan ketinggian 2.962 mdpl, secara geografis terletak pada posisi $106^{\circ} 59' \text{ BT} - 6^{\circ} 47' \text{ LS}$, sedangkan secara administrasi gunung tersebut berada di wilayah Cianjur, Sukabumi dan Bogor. Lereng-lereng gunungnya berkembang

bebas kearah selatan dan tenggara. Pada bagian barat dan utara, gunung ini dibatasi oleh Gunung Pangrango yang membentuk gunungapi kembar dengan G. Gede. Pada arah yang lain, gunungapi ini dibatasi oleh kompleks gunungapi tua. Lereng bagian selatan lebih terjal dibandingkan dengan lereng lainnya, memperlihatkan topografi yang kasar dan irisan-irisan erosi yang dalam. Hal ini mungkin disebabkan oleh adanya perpindahan aktifitas vulkanik kearah utara, kearah endapan muda.

Sejarah erupsi G. Gede telah dibahas oleh Junghun (1843) dan Taverne (1926) dalam Kusumadinata K. dan Hamidi S. (1979), diterangkan bahwa erupsi G. Gede pada umumnya kecil dan singkat, kecuali yang terjadi pada tahun 1747 - 1748 yang mengeluarkan aliran lava dari Kawahlarang.



Gambar 5.16. Gunung Gede (PVMBG, 2013).

Sejak erupsi terakhir pada 1954 hingga kini (2006) Gunungapi Gede dalam keadaan istirahat, kecuali beberapa kali terjadi peningkatan kegempaan. Di daerah Cianjur terdapat banyak bukit hasil guguran puing vulkanik (volcanic debris avalanche) seperti di Gunungapi Galunggung yang terkenal dengan nama perbukitan sepuluh ribu. Jika pada waktu yang akan datang terjadi hal serupa, maka kemungkinan akan menjadi bencana besar bagi penduduk yang bermukim di lereng dan kaki Gunung Gede. Berdasarkan sejarah kegiatannya, sifat erupsi,

komposisi kimia dan frekwensi erupsinya yang tergolong jarang, kawasan rawan bencana G. Gede dapat dibagi tiga tingkatan yaitu Kawasan Rawan Bencana III, Kawasan Rawan Bencana II dan Kawasan Rawan Bencana I.

Kawasan Rawan Bencana III

Berdasarkan morfologi kawasan puncak dan lokasi titik kegiatan saat ini, Kawasan Rawan Bencana III (Gambar 5.13, KRB III tidak tergambarkan) meliputi daerah kawah pusat Gunung Gede dan kaldera Gumuruh di sebelah tenggara. Kawasan ini sangat berpotensi terlanda :

- a. aliran massa: awan panas dan surge, serta aliran lava.
- b. Lontaran seperti: jatuhnya piroklastik lebat dan lontaran batu (pijar).
- c. Gas gunungapi beracun.

Kawasan Rawan Bencana II

Kawasan Rawan Bencana II adalah kawasan yang berpotensi terlanda:

- a. Kawasan rawan bencana terhadap aliran massa berupa awan panas, aliran lava, kemungkinan guguran puing vulkanik (volcanic debris avalanches), gas beracun dan aliran lahar, biasanya mengikuti morfologi lebih rendah di sekitar puncak.
- b. Kawasan rawan bencana terhadap material lontaran dan jatuhnya seperti lontaran batu (pijar), hujan abu lebat. Batas sebaran hujan abu lebat dalam radius 5 km dari kawah pusat

Kawasan Rawan Bencana I

Kawasan Rawan Bencana I terdiri atas dua bagian yaitu, yaitu:

- a. Aliran massa: berupa lahar, biasanya pada sungai yang memiliki hulu di puncak.
- b. Lontaran, seperti: jatuhnya piroklastik berbutir relatif halus (hujan abu) dan kemungkinan lontaran batu (panas). Sebaran abu dan lontaran batu ukuran kerikil mencapai jarak 8 km dari pusat erupsi.

Penduduk yang bertempat tinggal disekitar G. Gede cukup padat, pada. Seperti gunungapi lainnya Gunung Gede merupakan lahan yang subur untuk pertanian, oleh karena itu sebagian besar penduduknya bekerja sebagai petani : 70% petani, 20 % pedagang dan 10 % lain-lain. Perkembangan pemukiman dari tipe sederhana hingga real estate dan villa serta hotel-hotel berbintang berkembang cukup pesat hingga jarak 6 km dari puncak Gunungapi Gede. Disamping itu, aset-aset penting seperti Taman Nasional Cibodas yang merupakan tujuan wisata, Perkebunan dan Istana Peristirahatan Presiden juga terdapat di wilayah lereng dan kaki Gunung Gede.

Dari data geologi diketahui bahwa produk erupsi Gunungapi Gede pada masa lalu menghasilkan awan panas yang sebarannya cukup jauh hingga ke daerah Cipanas wilayah Kabupaten Cianjur yang saat ini cukup padat dengan pemukiman.

Gunung Salak memiliki ketinggian 2210 m.dpl merupakan salah satu gunungapi strato Tipe A, yang secara administrasi termasuk kedalam wilayah Kabupaten Bogor di sebelah timurlaut dan Kabupaten Sukabumi di sebelah tenggara. Secara geografi puncak G. Salak terletak pada 106 44' BT dan 6 43' LS. G. Salak merupakan gunungapi yang mengalami beberapa kali letusan, sehingga bentuk aslinya telah rusak dan mengalami erosi yang kuat.

Berdasarkan peta geologi gunungapi yang dibuat oleh D. Aswin, dkk (1983), produk erupsi G. Salak terdiri dari lava, endapan jatuhnya piroklastik, endapan aliran piroklastik dan endapan lahar. Lava merupakan satuan batuan yang paling dominan. Adanya endapan aliran dan jatuhnya piroklastik serat lava yang dominan dengan sebaran luas menunjukkan bahwa pada waktu lampau erupsi magmatik G. Salak cukup Besar. Dari sudut petrokimia diketahui bahwa batuan andesit basaltik lebih umum didapatkan dibandingkan dengan andesit dan basalt (Irianto, dkk, 1996).

Sejak letusan terakhir tahun 1938, G. Salak tidak pernah terjadi letusan lagi, kegiatan terakhir hanya berupa bualan lumpur di Kawah Ratu dan Kawah Hirup, hembusan solfatara dan fumarol di Kawah Ratu.



Omang, A/PVMBG/

Gambar 5.17. Gunung Salak (Omang A, PVMBG).

Peta kawasan rawan bencana G. Salak dibagi kedalam dua kawasan rawan bencana, yaitu : Kawasan Rawan Bencana III, Kawasan Rawan Bencana II, dan Kawasan Rawan Bencana I.

Kawasan Rawan Bencana III

Kawasan Rawan Bencana III adalah kawasan yang letaknya dekat dengan sumber erupsi yang sering terlanda gas racun, lontaran batu (pijar), aliran lava, erupsi freatik dan kemungkinan awan panas. Oleh karena tingkat kerawanan yang tinggi, kawasan ini tidak diperkenankan baik untuk hunian tetap maupun untuk tujuan komersial. Daerah Kawasan Rawan Bencana III meliputi daerah puncak dan Kawah, yang merupakan daerah wisata yang cukup banyak dikunjungi. Penarikan batas Kawasan Rawan Bencana III baik terhadap aliran massa maupun lontaran didasarkan pada kegiatan yang terjadi dalam sejarah letusan. Batas sebaran untuk material lontaran dan hujan abu mengacu pada erupsi magmatik yang pernah terjadi dalam sejarah letusan G. Salak pada radius 0.5 - 1.5 km dari pusat erupsi (Gambar 5.13, KRB III tidak tergambarkan)

Kawasan Rawan Bencana II

Kawasan Rawan Bencana II adalah kawasan yang berpotensi terlanda awan panas, lontaran batu (pijar), aliran lava, hujan abu lebat, hujan lumpur (panas) atau lahar dan gas beracun. Kawasan Rawan Bencana II ini dibedakan menjadi dua kelompok:

1. Kawasan rawan bencana terhadap aliran massa seperti : awan panas, aliran lava dan lahar.
2. Kawasan rawan bencana terhadap material lontaran seperti lontaran batu (pijar) dan hujan abu lebat.

Pada Kawasan Rawan Bencana II masyarakat diharuskan mengungsi jika terjadi peningkatan kegiatan gunungapi, sesuai dengan saran Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) sampai daerah ini dinyatakan aman kembali. Pernyataan bahwa harus mengungsi, tetap tinggal di tempat dan keadaan sudah aman kembali diputuskan oleh Pemerintah Daerah, sesuai peraturan yang berlaku.

Daerah Kawasan Rawan Bencana II G. Salak terdiri atas 2 bagian yaitu kawasan yang berpotensi terlanda aliran massa berupa aliran piroklastik, aliran lava dan lontaran jatuhan piroklastik, lapili, bom gunungapi dan lontaran batu lainnya.

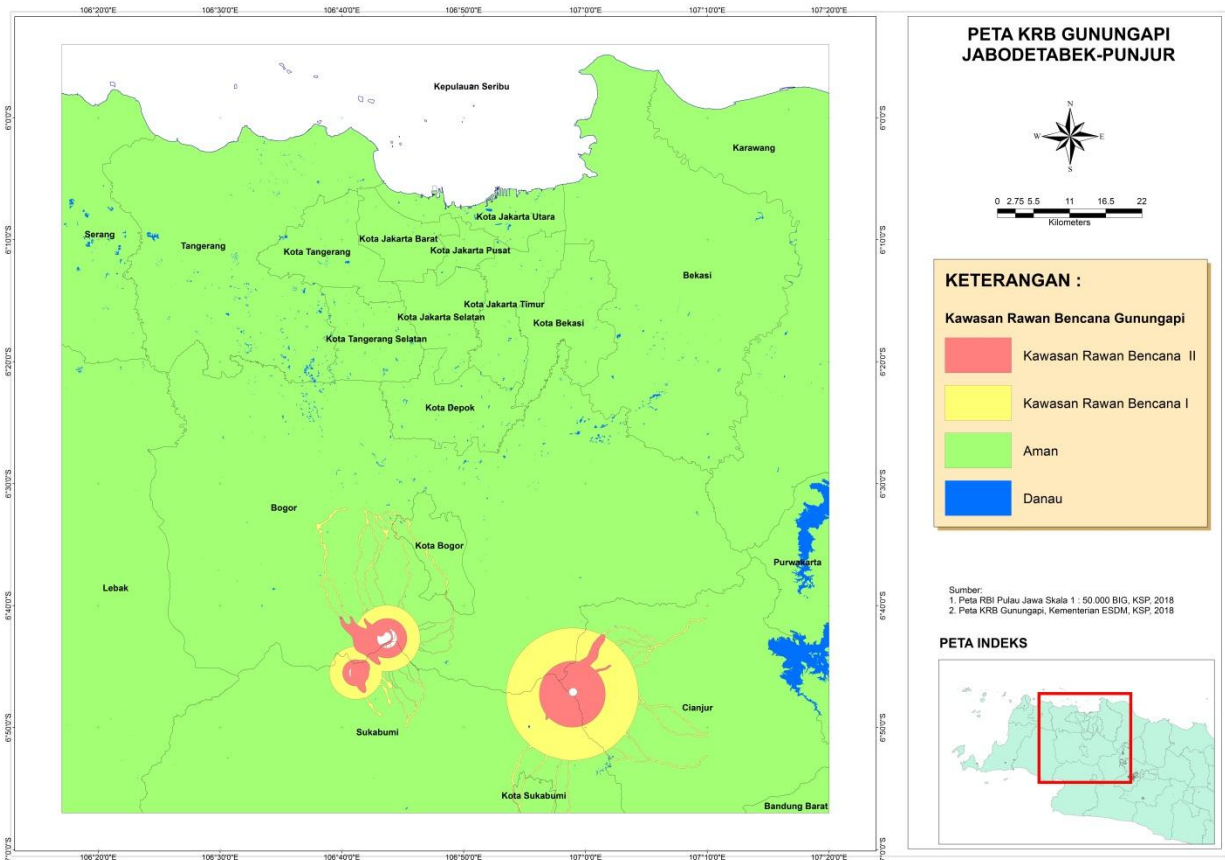
Daerah yang termasuk Kawasan Rawan Bencana II meliputi wilayah Kecamatan Pamijahan diantaranya Desa Gunungsari, Caringin, Arcawinangun dan hulu sungai Cipeundey yang merupakan desa terakhir sebelum melakukan pendakian ke G. Salak.

Kawasan Rawan Bencana I

Kawasan Rawan Bencana I adalah daerah waspada yang berpotensi terlanda lahar/banjir dan tidak menutup kemungkinan dilanda perluasan awan panas dan aliran lava. Bila erupsi membesar, daerah ini mungkin dilanda hujan abu lebat dan lontaran batu (pijar). Kawasan Rawan Bencana I ini dibedakan menjadi dua, yaitu :

1. Kawasan rawan bencana terhadap aliran massa, seperti : lahar/banjir dan kemungkinan perluasan awan panas atau aliran lava.
2. Kawasan rawan bencana terhadap materi jatuhnya seperti : jatuhnya abu dan kemungkinan dapat terkena lontaran batu (pijar), tanpa memperhitungkan arah angin

Hasil pengamatan di lapangan menunjukkan bahwa untuk fragmen jatuhnya piroklastik halus dan lontaran batu berukuran kerikil dijumpai hingga radius 5 Km dari pusat erupsi. Daerah – daerah yang termasuk Kawasan Rawan Bencana I antara lain meliputi wilayah Kecamatan Leuwilian, Ciampea, Dramaga, Ciomas, Cijeruk, Cicurug, Parungkuda dan Cidahu.



Gambar 5.18. Peta KRB Gunungapi Jabodetabekpunjur.

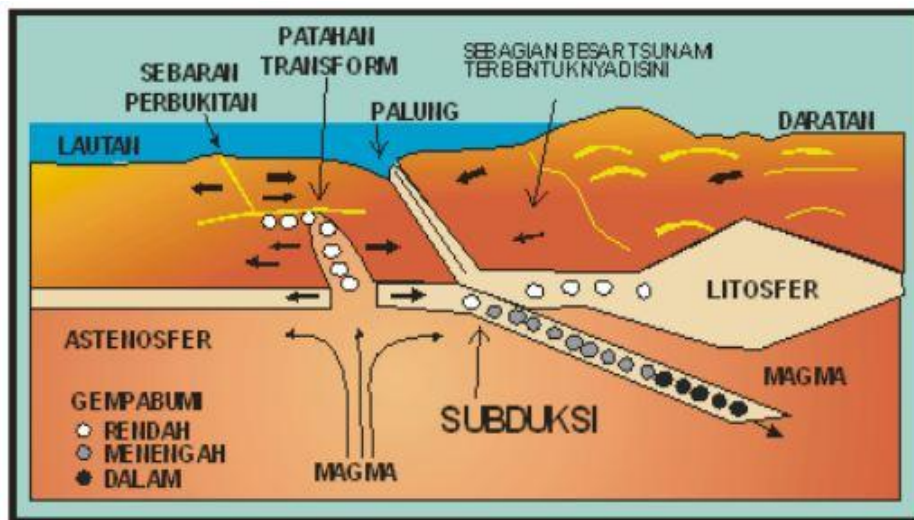
5.2.4. Tsunami

Tsunami adalah rangkaian gelombang laut yang mampu menjalar dengan kecepatan hingga lebih 900 km per jam, terutama diakibatkan oleh gempa bumi yang terjadi di dasar laut.

Kecepatan gelombang tsunami bergantung pada kedalaman laut. Di laut dengan kedalaman 7000 m misalnya, kecepatannya bisa mencapai 942,9 km/jam. Kecepatan ini hampir sama dengan kecepatan pesawat jet. Namun demikian tinggi gelombangnya di tengah laut tidak lebih dari 60 cm. Akibatnya kapal-kapal yang sedang berlayar di atasnya jarang merasakan adanya tsunami. Berbeda dengan gelombang laut biasa, tsunami memiliki panjang gelombang antara dua puncaknya lebih dari 100 km di laut lepas dan selisih waktu antara puncak-puncak gelombangnya berkisar antara 10 menit hingga 1 jam. Saat mencapai pantai yang dangkal, teluk, atau muara sungai gelombang ini menurun kecepatannya, namun tinggi gelombangnya meningkat puluhan meter dan bersifat merusak.

Tsunami terutama disebabkan oleh gempa bumi di dasar laut. Tsunami yang dipicu akibat tanah longsor di dasar laut, letusan gunung api dasar laut, atau akibat jatuhnya meteor jarang terjadi. Tidak semua gempa bumi mengakibatkan terbentuknya tsunami. Syarat terjadinya tsunami akibat gempa bumi adalah:

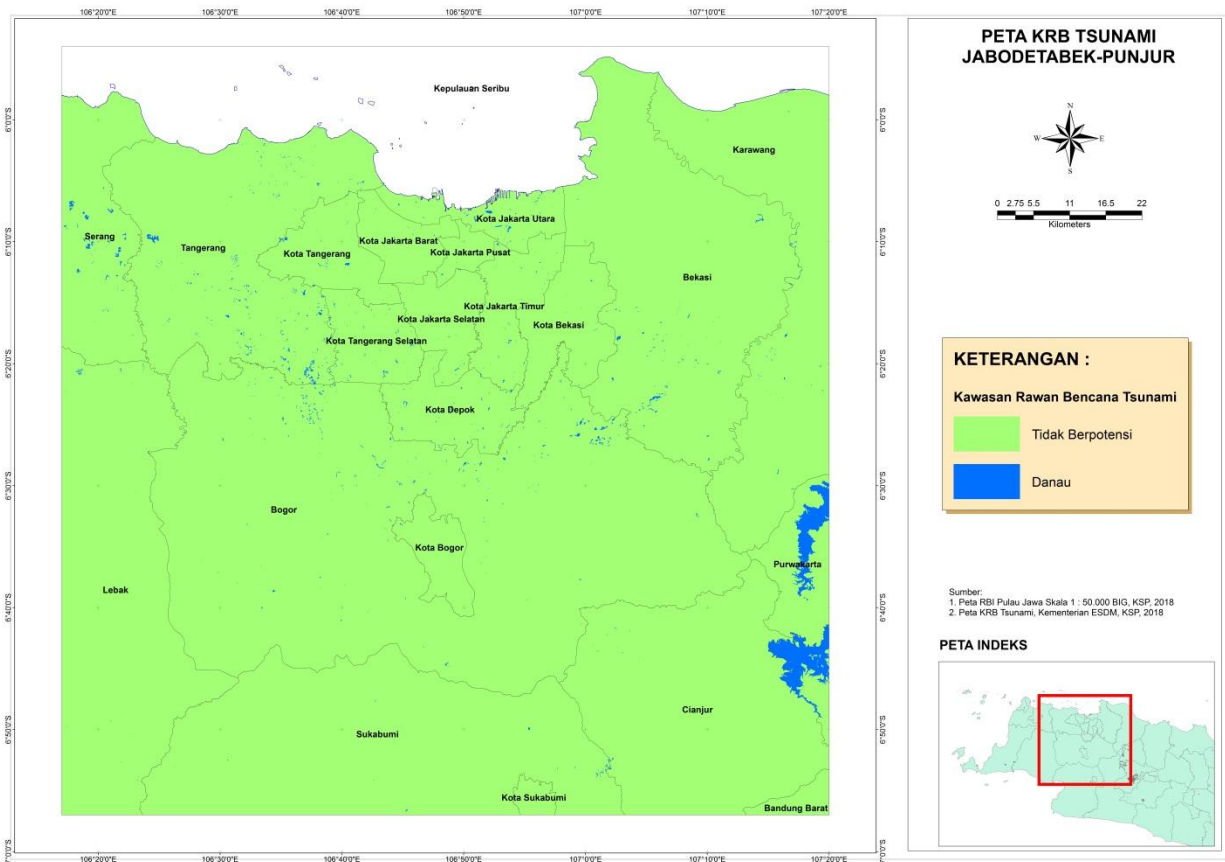
1. Pusat gempa terjadi di dasar laut
2. Kedalaman pusat gempa kurang dari 60 km.



Gambar 5.19. Skema terjadinya tsunami.

Potensi megathrust Selat Sunda tidak terlalu berdampak besar ke wilayah DKI Jakarta. Meski potensi tsunami akibat megathrust di Selat Sunda bisa saja terjadi di Jakarta, beberapa wilayah yang akan terdampak besar akibat megathrust Selat Sunda yakni wilayah yang berada di Selatan Jawa seperti Pangandaran, Cianjur, Sukabumi, hingga Selatan Banten (Nuraini Rahma, Pusgen)

Berdasarkan analisis data geologi lingkungan maka untuk Jabodetabekpunjur terutama wilayah utara pantai Jakarta, Tangerang, Bekasi dan Karawang tidak berpotensi terjadinya tsunami.



Gambar 5.20. Peta KRB Tsunami Jabodetabekpunjur.

5.2.5. Rawan Banjir

Kondisi keairan yang diamati di daerah studi adalah air permukaan dan air tanah dangkal. Air permukaan adalah air yang mengalir atau terdapat pada aliran sungai. Pada musim kemarau airnya relatif kecil atau debitnya sangat kurang, sehingga pengaliran air sangat lambat, sebaliknya di musim penghujan debitnya menjadi sangat besar sehingga pada beberapa tempat air sungai meluap dan terjadi banjir.

Daerah banjir dan daerah berpotensi banjir umumnya berada di sekitar sepanjang alur sungai dan setempat-setempat menggenangi dataran rendah atau cekungan-cekungan. Hal ini menunjukkan bahwa kapasitas daya tampung sungai telah menurun sehingga tidak mampu menampung air hujan lokal maupun yang datang dari daerah hulu, pendangkalan sungai karena sedimentasi, penyumbatan oleh sampah dan limbah padat, penyempitan bantaran sungai oleh pemukiman liar.



Gambar 5.21. Tumpukan sampah di aliran salah satu sungai

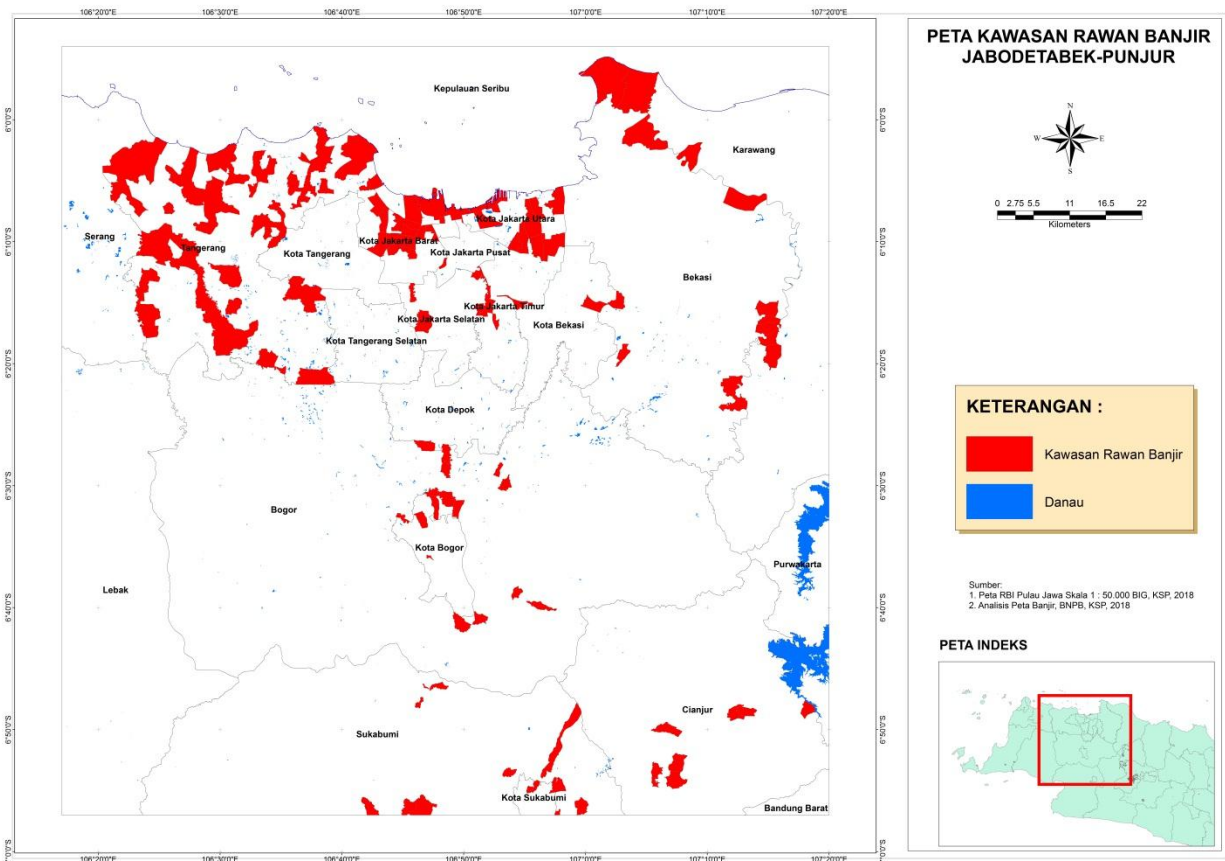


Gambar 5.22. Penyempitan bantaran sungai Ciliwung (BPBD DKI Jakarta).

Permasalahan banjir di Jakarta selalu menjadi isu nasional karena Jakarta merupakan ibukota negara sehingga menjadi perhatian publik. Banjir Jakarta bukan fenomena yang baru terjadi, tetapi sudah menjadi agenda tahunan pada setiap musim hujan datang. Banjir Jakarta adalah fenomena alam yang terjadi di 13 (tiga belas) aliran sungai yang menuju ke Jakarta, sehingga perlu dikendalikan dengan prasarana pengendalian banjir. Oleh karena itu, diperlukan penanganan yang komprehensif bagaimana mengelola banjir yang terjadi supaya tidak mengalami kerugian kembali. Sebagai langkah awal, diperlukan pemahaman tentang kondisi iklim di DAS Jakarta khususnya karakteristik hujan ekstrim dan prediksi di masa mendatang, karakteristik banjir serta sebuah perangkat yang dapat menggambarkan perilaku atau peniruan aliran banjir yang akan digunakan untuk penerapan suatu pendekatan pengendalian banjir secara virtual. Pengendalian banjir secara virtual dapat dengan mudah untuk mengetahui efektivitas dari setiap pendekatan dilakukan. Hasil kajian ini menunjukkan karakteristik hujan maksimum yang terjadi di DAS Jakarta memiliki pola sinusoidal pada DAS Ciliwung mulai dari hulu sampai dengan hilir dan pola berbentuk cekungan pada DAS Angke dan Pesanggrahan. Banjir di Jakarta umumnya karena hujan yang merata di seluruh DAS Jakarta, namun dapat juga terjadi karena hujan di daerah hulu tetapi tidak memberikan dampak yang terlalu buruk bila disertai dengan hujan lokal di Jakarta. Banjir di Jakarta karena hujan yang terjadi di hulu DAS, hanya mampu menaikkan muka air di Manggarai sampai pada + 8 m, dan bila disertai dengan hujan lokal di Jakarta, maka dapat menaikkan muka air sampai pada + 9 m. Lama perjalanan banjir dari Katulampa sampai dengan Depok sekitar 4 jam, dan perjalanan banjir dari Depok sampai dengan Manggarai berkisar antara 10 sampai dengan 13 jam tergantung dari pada kondisi muka air di hilirnya, apakah muka air tinggi atau rendah. Efektivitas pengendalian banjir dengan melakukan sudetan dari Sungai Ciliwung ke BKT untuk banjir kejadian 2007 dapat menurunkan muka air sekitar 0.5 sampai 1 m di hulu dari sudetan, dan mengurangi luas genangan banjir sekitar 11.7 % dari total genangan di daerah layanannya. Sudetan dari Sungai Ciliwung ke BKB dapat menurunkan muka air sekitar 1 sampai 2 m di hulu dari sudetan, dan mengurangi luas genangan banjir sekitar 8.3 %. Pembangunan MPDT dapat menurunkan muka air sekitar 2 m di Kampung Melayu dan sekitarnya, dan mengurangi luas genangan banjir sekitar 45.9 %. Normalisasi di Sungai Ciliwung dapat mengurangi luas genangan banjir sekitar 24 %. Kanal Banjir Cengkareng Drain II dapat menurunkan muka air sekitar 1.5 m di Kali Angke dan 0.5 m di Cengkareng Drain dan luas genangan banjir dapat berkurang sekitar 14.7 %. Polder Lower Angke dan Muara

Karang dapat menurunkan muka air sekitar 2 m di Muara Karang dan sekitar 1.5 m di Lower Angke, dan mengurangi luas genangan banjir sekitar 1.5 %. Polder Ancol-Sentiong dapat menurunkan muka sekitar 1.5 m di Ancol dan sekitarnya, dan mengurangi luas genangan banjir sekitar 7.6 %. Polder Marina dapat menurunkan muka air sekitar 3 m di Gunung Sahari, dan mengurangi frekuensi kejadian banjir (Segel Ginting, [www.researchgate.net/ publication/ 331633657](http://www.researchgate.net/publication/331633657))

Sebaran kawasan rawan banjir pada umumnya berada di Daerah Aliran Sungai, sebagian besar meliputi bagian utara dari wilayah Tangerang, DKI Jakarta dan Kabupaten Bekasi, dan sebagian kecil terdapat di wilayah Bogor dan sekitarnya



Gambar 5.23. Peta Kawasan Rawan Banjir Jabodetabekpunjur.

5.2.6. Lahan Basah

Kondisi lahan basah pesisir di Indonesia saat ini terancam akibat alih fungsi untuk permukiman, pertambakan, perkebunan, pembangunan sektor industri, dan pembangunan sarana dan prasarana. Selain alih-fungsi, pengambilan air tanah di wilayah lahan basah pesisir secara masif, terutama oleh masyarakat perkotaan, telah mengakibatkan penurunan muka tanah. Hal ini terjadi karena ketika air diambil dari lapisan permukaan kulit bumi, maka terjadilah pergeseran susunan bebatuan, dan akhirnya permukaan tanah mengalami penurunan.

Dataran rendah pesisir di Indonesia (diperkirakan sekitar 30 juta hektar) terdiri dari berbagai ekosistem lahan basah penting, seperti ekosistem mangrove, ekosistem gambut, ekosistem muara sungai, ekosistem laguna, ekosistem pertambakan, dan lahan pertanian pasang surut, yang sebagian besar berlokasi tidak jauh dari wilayah permukiman dengan elevasi dari permukaan laut kurang dari 30 meter. Berbagai ekosistem tersebut memiliki nilai dan manfaat serta jasa lingkungan yang sangat luas bagi makhluk hidup, di antaranya sebagai habitat atau tempat tinggal berbagai makhluk hidup, pencegah intrusi air laut, penyimpan air tawar, cadangan karbon yang sangat besar serta untuk mitigasi kebencanaan terkait potensi bahaya tsunami (maritim.go.id).



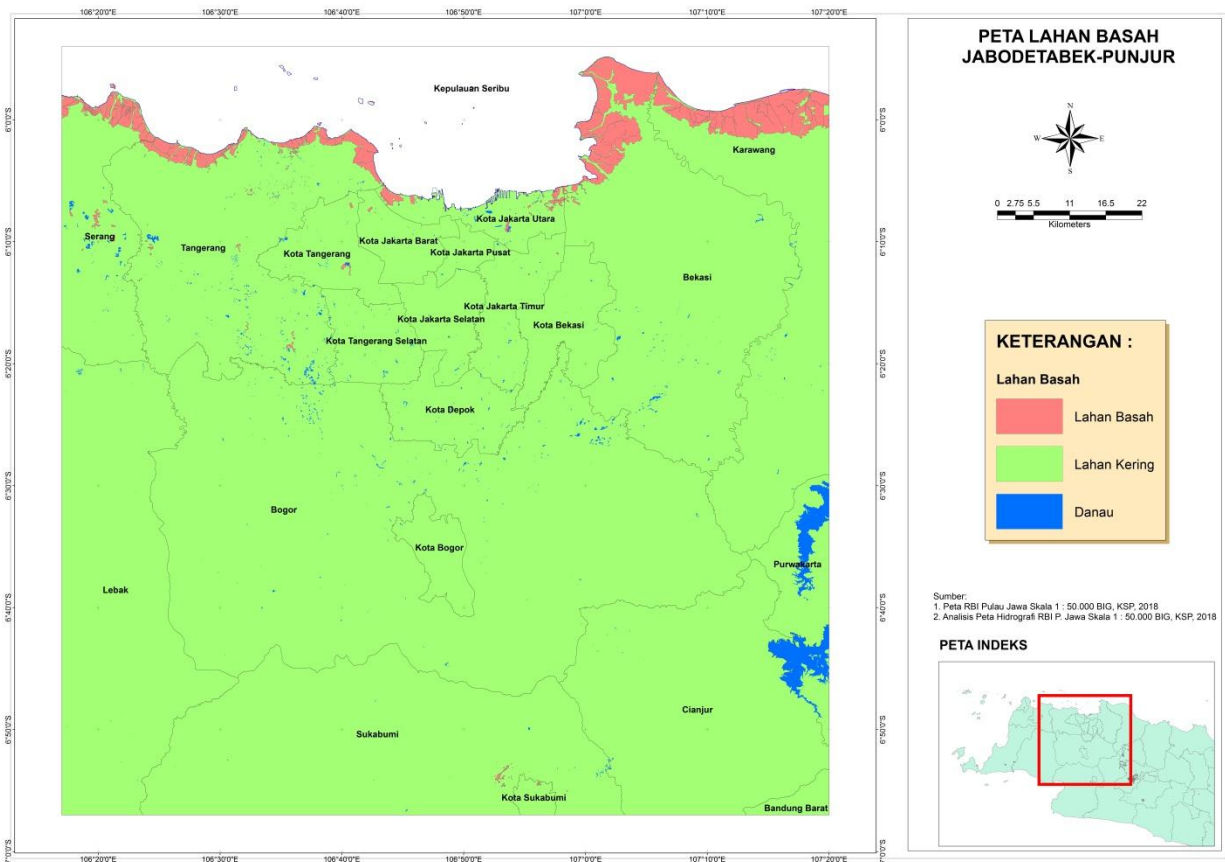
Gambar 5.24. Kawasan lahan basah di Bekasi Utara.



Gambar 5.25. Penanaman pohon bakau di wilayah Tangerang Utara.

Penurunan muka tanah tampak jelas berlangsung di pantai utara pulau Jawa, dengan laju antara 1-25 cm per tahun. Kecenderungan ini merupakan suatu peringatan bagi kita, bahwa proses penurunan muka tanah akan terus berlangsung, jika tidak diambil tindakan untuk menghentikan ataupun mengurangnya. Tanpa kita sadari, penurunan muka tanah akan berimbas kepada bencana yang langsung berdampak kepada masyarakat, bisa disebut juga sebagai *silent killer*, karena menyebabkan banjir dan hilangnya daratan. Ketika hal yang sama terdeteksi di Tokyo pada tahun 1975, pemerintah Jepang segera mengambil tindakan pengendalian pengambilan air tanah. Data menunjukkan ada korelasi antara penghentian pengambilan air tanah dengan laju penurunan muka tanah, baik di Tokyo maupun di Jakarta (Dr. Heri Andreas, Geodesi ITB).

Sebaran lahan basah di Kabupaten Bekasi bagian utara memanjang hingga Kabupaten Kerawang masih terlihat sangat luas, sebagian tersebar di bagian utara Tangerang, selain berupa rawa juga sudah banyak dialih fungsikan sebagai tambak ikan, di beberapa tempat perkembangan pemukiman berjalan dengan pesat terutama di wilayah Kabupaten Bekasi.



Gambar 5.26. Peta Lahan Basah Jabodetabekpunjur.

5.2.7. Kerapatan Sungai

Kriteria kerapatan sungai dimasukkan sebagai parameter dalam penentuan kesesuaian lahan berdasarkan aspek geologi lingkungan erat kaitannya dengan kegiatan konstruksi dan infrastruktur. Semakin rapat sungai dalam suatu wilayah, maka dibutuhkan biaya yang besar untuk membangun akses jalan maupun jembatan.

Kerapatan sungai adalah suatu indeks yang menunjukkan banyaknya anak sungai dalam suatu daerah pengaliran. Horton, (1945) menyatakan bahwa kerapatan jaringan sungai merupakan perluasan fungsi dari besarnya kapasitas infiltrasi dan ketahanan terhadap erosi. Kerapatan sungai rendah terlihat pada daerah dengan jenis tanah yang tahan terhadap erosi atau sangat permeable. Nilai yang tinggi dapat terjadi pada panah yang mudah tererosi atau permeable yang rendah, dengan kemiringan tanah yang curam, dan hanya sedikit ditumbuhi tanaman (Sosrodarsano dan Takeda, 2003).

Kerapatan aliran sungai menggambarkan kapasitas penyimpanan air permukaan dalam cekungancekungan seperti danau, rawa dan badan sungai yang mengalir di suatu DAS. Definisi kerapatan aliran diatas dapat dijabarkan dalam rumus berikut:

$$Dd = L/A$$

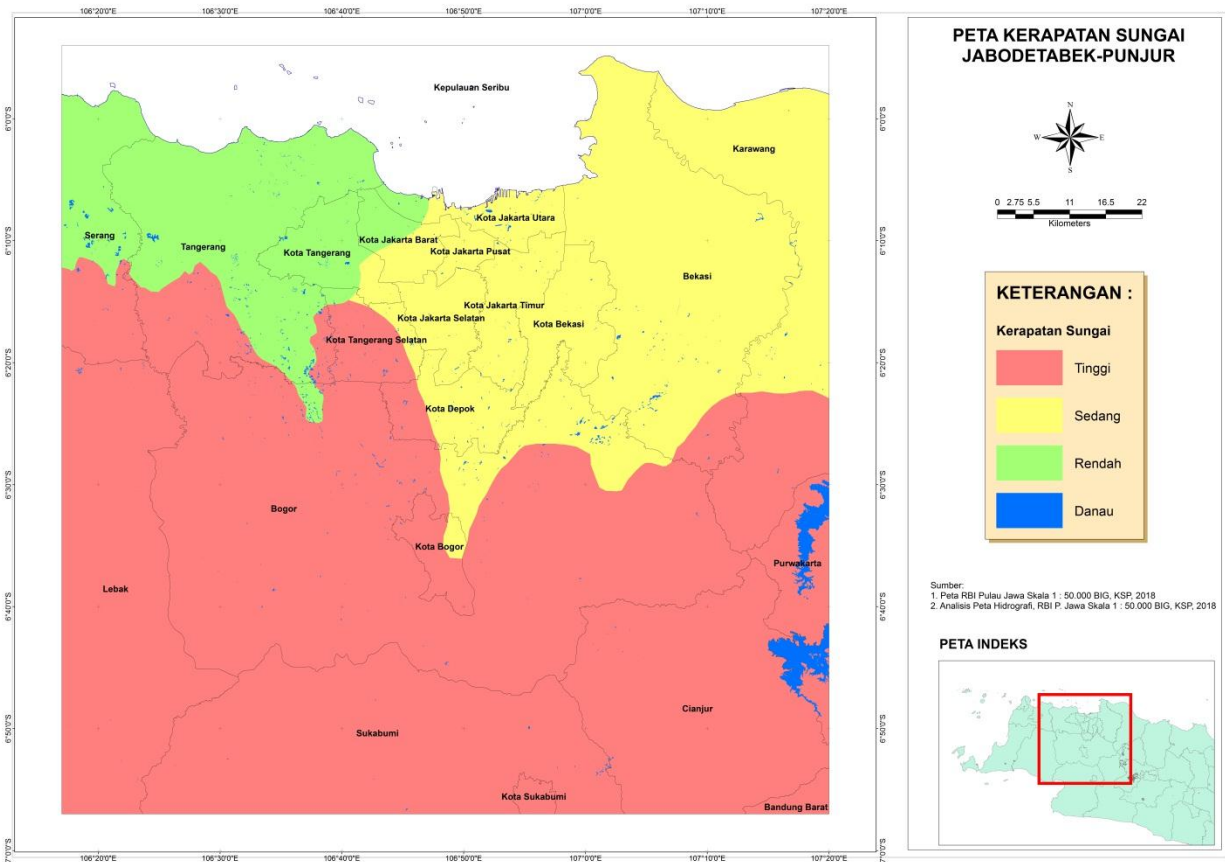
Keterangan: Dd = Kerapatan aliran
L = Panjang Sungai (Km)
A = Luas DAS (km²)

Tabel 5.2. Nilai Dd menurut soewarno, 1991

No.	Dd (Km/Km ²)	KELAS KERAPATAN	KETERANGAN
1.	< 0,25	Rendah	Alur batuan melewati batuan dengan resistensi keras, maka angkutan sedimen yang terangkut aliran sungai lebih kecil jika dibandingkan pada alur sungai yang melewati batuan dengan resistensi yang lebih lunak, apabila kondisi lain yang mempengaruhinya sama;
2.	0,25 - 10	Sedang	Alur sungai yang melewati batuan dengan resistensi yang lebih lunak, sehingga angkutan sedimen yang terangkut aliran akan lebih besar;
3.	10 - 25	Tinggi	Alur sungai yang melewati batuan dengan resistensi yang lunak, sehingga angkutan sedimen yang terangkut aliran akan lebih besar;
4.	< 25	Sangat Tinggi	Alur sungai melewati batuan yang kedap air, keadaan ini akan menunjukkan bahwa hujan yang menjadi aliran akan lebih besar jika dibandingkan suatu daerah dengan Dd Rendah melewati batuan yang permeabilitas besar.

Kondisi kerapatan sungai di wilayah Jabodetabekpunjur dibagi menjadi 3 kondisi yaitu ;

1. Kerapatan sungai tinggi, tersebar disebagian besar wilayah penelitian terutama di bagian selatan dari wilayah Kabupaten Tangerang bagian selatan, Kabupaten Bogor bagian barat sampai ke arah timur di wilayah Kabupaten Cianjur.
2. Kerapatan sungai sedang, tersebar di wilayah Jakarta, Kota Depok, Bogor bagian utara, Kota dan Kabupaten Bekasi serta Kabupaten Karawang.
3. Kerapatan sungai rendah, berada di sebagian wilayah Kabupaten Tangerang dan Kabupaten Bogor bagian utara.



Gambar 5.27. Peta Kerapatan Sungai Jabodetabekpunjur.

BAB VI

HASIL ANALISIS GEOLOGI TATA LINGKUNGAN

Geologi Tata Lingkungan merupakan media dalam penerapan informasi geologi melalui penataan ruang dalam rangka pengembangan wilayah dan pengelolaan lingkungan, yaitu memberikan informasi tentang karakteristik lingkungan geologi suatu lokasi/wilayah berdasarkan keterpaduan dari aspek sumber daya geologi sebagai faktor pendukung dan aspek bencana geologi sebagai faktor kendala. Selanjutnya hasil kajian geologi lingkungan menggambarkan tingkat kekeluasaan suatu wilayah untuk dikembangkan.

Tingkat kekeluasaan (*restraint*) suatu wilayah untuk dikembangkan pada dasarnya menggambarkan tingkat kemudahan dalam pengorganisasian ruang kegiatan maupun pemilihan jenis penggunaan lahan (Indra Badri 2005). Pengertian kekeluasaan yaitu peringkat wilayah yang dapat dikembangkan sebagai kawasan budi daya dalam arti leluasa dalam pemilihan penggunaan lahan dan mudah dalam pengorganisasian ruang.

6.1 Klasifikasi Kesesuaian Lahan untuk Pengembangan Wilayah Perkotaan

Klasifikasi kesesuaian lahan berdasarkan aspek geologi lingkungan meliputi komponen-komponen faktor sumberdaya geologi dan faktor bahaya geologi, maka berdasarkan rumus, diperoleh nilai tertinggi berkisar 72, nilai terendah berkisar -2, kemudian diperoleh rata-rata 24,66 (≈ 25). Dari kisaran tersebut dapat ditentukan klasifikasi peringkat kesesuaian lahan ber aspek geologi lingkungan sebanyak tiga kelas, yakni kesesuaian lahan rendah, kesesuaian lahan sedang dan kesesuaian lahan tinggi seperti pada tabel 6.1 di bawah ini.

Tabel 6.1. Klasifikasi Kesesuaian Lahan




Kelas Kesesuaian Lahan	Kisaran Skor Total
kesesuaian lahan rendah	< 20
kesesuaian lahan sedang	21 - 46
kesesuaian lahan tinggi	47 - 72

Berdasarkan analisis tumpang susun peta bertema (*overlay*) dan penilaian ahli (*judgement expert*) dan pengolahan peta menggunakan SIG (sistim informasi geografi), sehingga menghasilkan Peta Kesesuaian Lahan Berdasarkan Aspek Geologi Jabodetabekpunjur (Gambar 6.1). Peta ini menggambarkan informasi tingkat kesesuaian suatu lahan untuk dikembangkan dalam rangka pengembangan perkotaan, yaitu berdasarkan parameter-parameter yang disebutkan dalam Tabel 6.2., sehingga menghasilkan beberapa karakteristik kesesuaian lahan untuk pengembangan perkotaan berdasarkan aspek geologi.

Adapun karakteristik penilaian tersebut adalah sebagai berikut:

- Ketersediaan airtanah
- Bentuk permukaan bumi dan kemiringan lereng.
- Jenis batuan dan daya dukung pondasi
- Kebencanaan geologi
- Lahan basah
- Kerapatan sungai

Tabel 6.2. Karakteristik kesesuaian lahan

SIMBOL	KESUAIAN LAHAN	DAYA DUKUNG GEOLOGI			KEDALA GEOLOGI			PENCUNGAN LAHAN EKSTENSIF DOMINAN
		KETERSEDIAAN AIR TANAH	BENTUK PERMUKAAN BUMI DAN KEMIRINGAN LERENG	JENIS BAHAN DAN DAYA DUKUNG PONDASI	KEBENCANAAN GEOLOGI	LAHAN BASAH	KERAPATAN SUNGAI	
	Tinggi (56.976 Ha)	<ul style="list-style-type: none"> Ketersediaan air tanah sedang - tinggi Umumnya muka air tanah dangkal < 5 meter Kualitas air tanah baik 	<ul style="list-style-type: none"> Datar Kemiringan lereng < 5 % 	<ul style="list-style-type: none"> Sedapan aluvial surge dan pasir; daya dukung pondasi sangat rendah Persebaran batulempung dan batupasir; daya dukung pondasi sedang Selu pengap; daya dukung pondasi sedang hingga tinggi 	<ul style="list-style-type: none"> Rolasi Gempabumi: Sangat Rendah (IV MWS), Rendah (V-VI MWS), Menengah (VII - VIII MWS) dan Tinggi (>VIII MWS) Kerentanan gerakan tanah sangat rendah-rendah Rolasi banjir, di sekitar muara sungai 	- Basah	<ul style="list-style-type: none"> Rendah sampai sedang 	<ul style="list-style-type: none"> Persebaran Rendah Persebaran Gebu campuran Tegalan ladang Terdapat beberapa lahan yang dimanfaatkan sebagai tambak
	Sedang (71.154 Ha)	<ul style="list-style-type: none"> Ketersediaan air tanah sedang - rendah Muka air tanah sedang 5 - 10 meter Kualitas air tanah baik 	<ul style="list-style-type: none"> Landai Kemiringan lereng 5 - 10 %, selanjutnya 10 - 15% 	<ul style="list-style-type: none"> Persebaran Sedapan pasir lempung dan pasir halus dengan daya dukung pondasi sedang Selu pengap; daya dukung pondasi sedang hingga tinggi 	<ul style="list-style-type: none"> Rolasi Gempabumi: Rendah (V-VI MWS), Menengah (VII - VIII MWS) dan Tinggi (>VIII MWS) Kerentanan gerakan tanah Menengah-Tinggi Gesasa Rawan Gesasa Gunungapi II - III Rolasi banjir, di beberapa lokasi bentan sungai besar 	-	<ul style="list-style-type: none"> Sedang sampai tinggi 	<ul style="list-style-type: none"> Persebaran Gebu campuran Tegalan ladang Semak belukar Terdapat beberapa lahan yang dimanfaatkan sebagai tambak
	Rendah (21.222 Ha)	<ul style="list-style-type: none"> Ketersediaan air tanah sangat rendah Muka air tanah dalam > 10 meter 	<ul style="list-style-type: none"> Tegak Kemiringan lereng umumnya > 15 % 	<ul style="list-style-type: none"> Lava breksi dan produk vulkanik lain dengan daya dukung pondasi tinggi 	<ul style="list-style-type: none"> Rolasi Gempabumi: Menengah (VII - VIII MWS) dan Tinggi (>VIII MWS) Kerentanan gerakan tanah tinggi Gesasa Rawan Gesasa Gunungapi II - III 	-	<ul style="list-style-type: none"> Tinggi 	<ul style="list-style-type: none"> Padang Semak belukar Pada beberapa lahan, bekas tambak

6.2 Rekomendasi Geologi Tata Lingkungan

Setelah menentukan karakteristik kesesuaian lahan maka tahapan selanjutnya adalah menentukan rekomendasi berupa saran teknis sebagai upaya yang seharusnya dilakukan sebelum melakukan revisi penataan ruang dan wilayah maupun pengembangan perkotaan di masa mendatang (gambar 6.1). seperti dibawah ini:

1. Kesesuaian Lahan Tinggi

Dapat dikembangkan untuk pengembangan perkotaan dengan memperhatikan faktor-faktor geologi sebagai berikut :

- Potensi air tanah sedang – tinggi, diharapkan dapat memenuhi kebutuhan air bersih, namun memperhatikan konservasi air tanah
- Lahan datar tidak memerlukan *cut and fill*, kecuali pada lahan rawa memerlukan teknis penimbunan yang memadai
- Untuk pondasi bangunan tinggi/berat harus memperhatikan kedalaman tanah padat
- Daerah dataran Jakarta dominan tersusun dari sedimen tebal dan relatif lunak, tanah/batuan tersebut apabila terjadi gempa dapat memperkuat guncangan gempa, sehingga pembangunan di daerah ini harus memperhatikan *building code*
- Pada daerah penurunan tanah harus ada pengendalian pendirian bangunan baik lateral maupun vertikal dan pengambilan air tanah, karena hal ini dapat mempercepat penurunan tanah
- Mengindari daerah rawan banjir
- Situ-situ yang terbentuk dari genangan bekas penggalian pasir di jabodetabek agar dipertahankan, karena dapat membantu mengendalikan limpasa air permukaan (*run off*) pada saat musim hujan dan menjadi tandon cadangan air pada musim kemarau
- Pada lahan yang diperkirakan dilalui jalur sesar agar dibuat sempadan dan dimanfaatkan untuk RTH

2. Kesesuaian Lahan Sedang

Dapat dikembangkan untuk pengembangan kawasan perkotaan dengan memperhatikan faktor-faktor geologi sebagai berikut :

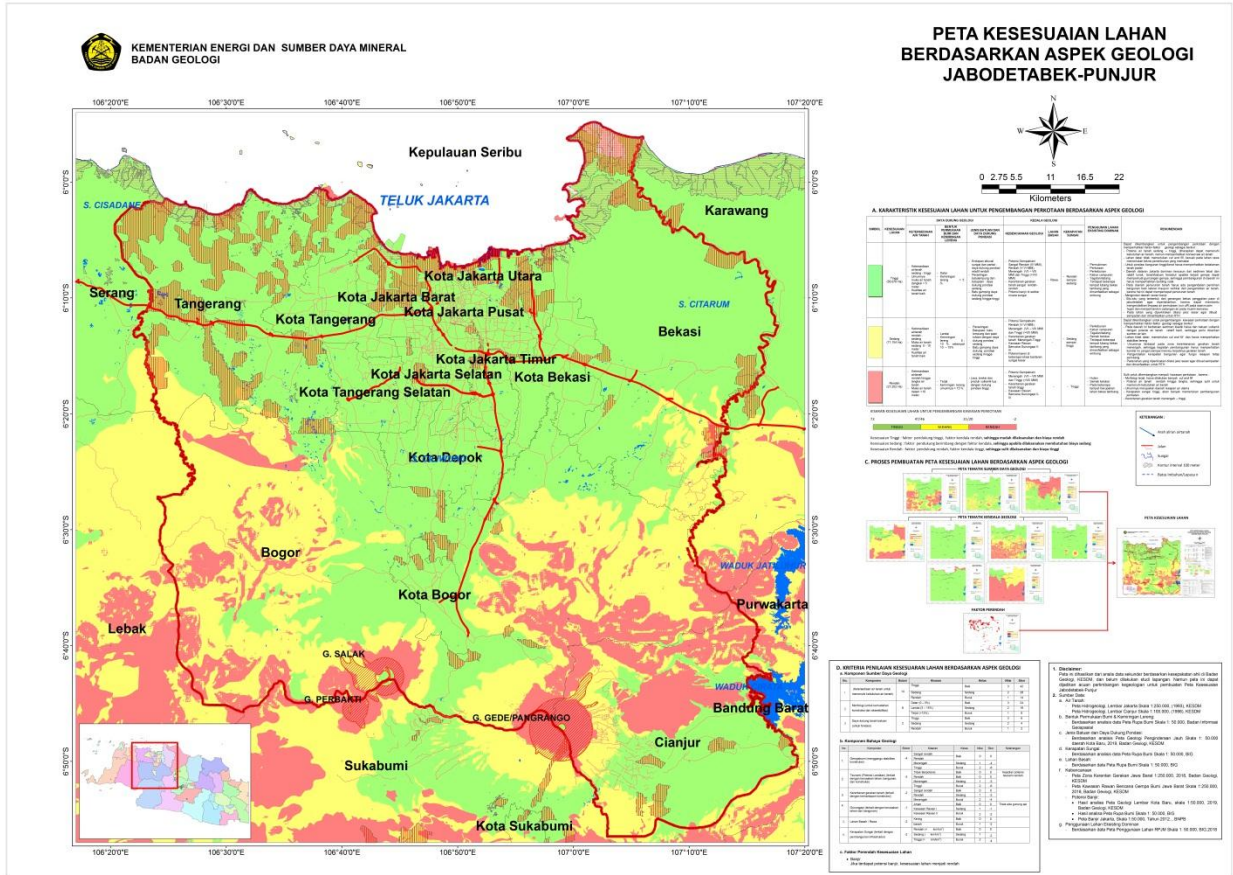
- Pada daerah ini berbatuan sedimen klastik halus dan batuan vulkanik dengan potensi air tanah relatif kecil, sehingga perlu dicarikan sumber air lain
- Lahan tidak datar, memerlukan *cut and fill* dan harus memperhatikan stabilitas lereng

- Umumnya terdapat pada zona kerentanan gerakan tanah menengah, sehingga kegiatan pembangunan harus memperhatikan kondisi ini, jangan sampai memicu terjadinya gerakan tanah
- Pengendalian kerapatan bangunan agar fungsi resapan tetap seimbang
- Pada lahan yang diperkirakan dilalui jalur sesar agar dibuat sempadan dan dimanfaatkan untuk RTH

3. Kesesuaian Lahan Rendah

Sulit untuk dikembangkan menjadi kawasan perkotaan , karena :

- Morfologi terjal, harus dilakukan banyak *cut and fill*
- Potensi air tanah rendah hingga langka, sehingga sulit untuk memenuhi kebutuhan air bersih
- Umumnya merupakan daerah resapan air utama
- Kerapatan sungai tinggi, akan banyak memerlukan pembangunan jembatan
- Kerentanan gerakan tanah menengah – tinggi,



Gambar 6.1 Peta Kesesuaian Lahan Berdasarkan Aspek Geologi Jabodetabekpunjur

BAB VII

PENUTUP

7.1 Kesimpulan

Berdasarkan Kajian Geologi Lingkungan terpadu wilayah Jabodetabekpunjur, maka terdapat beberapa kesimpulan dan saran yang perlu diperhatikan, yaitu:

1. Hasil pemetaan geologi menjumpai beberapa sumberdaya geologi yang dapat dimanfaatkan sebagian besar berupa bahan galian, selain itu terdapat pula potensi kebencanaan yang perlu dipertimbangkan yaitu longsor dan aliran massa gaya berat terutama di daerah vulkanik seperti di Puncak Bogor.
2. Dari pemetaan dan penelitian seismotektonik diperoleh gambaran mengenai potensi bencana gempa bumi yang dapat terjadi di daerah Jabodetabekpunjur antara lain guncangan tanah, patahan gempa bumi, gerakan tanah (longsor), retakan tanah, liquifaksi dan tsunami, terutama di daerah yang memiliki kepadatan penduduk dan infrastruktur padat, seperti di kawasan perkotaan dan kecamatan. Gerakan tanah atau longsor dapat terjadi di daerah ini diakibatkan guncangan tanah kuat pada saat terjadi gempa bumi kuat. Retakan tanah dan patahan gempa bumi sangat berpotensi terjadi di sepanjang jalur patahan aktif dan daerah pedataran yang disusun oleh batuan lunak. Liquifaksi dapat terjadi pada saat guncangan tanah kuat akibat gempa bumi kuat sangat berpotensi terjadi di kawasan pantai Utara Jakarta dan sekitarnya, terutama di daerah dengan Vs30 rendah.
3. Hasil Penelitian/Pemetaan Morfotektonik Jabodetabekpunjur, antara lain; geomorfologi Daerah Jakarta dan Sekitarnya dapat dibagi menjadi 8 Bentuk Asal yang terdiri dari 27 Bentuk lahan, hasil analisa Morfometri DAS, menunjukkan daerah penelitian baik Dataran Tinggi Bogor maupun Dataran Tinggi Tangerang termasuk kedalam daerah tektonik aktif, hasil analisa Morfometri Non DAS, menunjukkan daerah penelitian baik Dataran Tinggi Bogor maupun Dataran Tinggi Tangerang termasuk kedalam daerah tektonik aktif, hasil analisa Struktur Geologi dijumpai adanya struktur berupa sesar normal, sesar mendatar maupun sesar naik, hasil analisa dari Diagram Mawar Kelurusan Sesar menunjukkan yang paling dominan adalah arah Baratlaut dan Tenggara yaitu sesuai dengan Segmen Kelurusan Sesar Cisadane. Untuk dominan yang ke dua ditempati oleh arah Utara-Timurlaut dan

Baratdaya-Selatan yang mana arah tersebut sesuai dengan Segmen Kelurusan Sesar Bekasi. Untuk yang ke tiga yaitu paling kecil berarah Barat dan Timur yang mana arah tersebut sesuai dengan Segmen Kelurusan Sesar Baribis.

4. Hasil kajian stratigrafi dan studi fasies, antara lain ; berdasarkan manifestasi dari endapan-endapan kuarter pada Cekungan Jakarta yang terbentuk, cekungannya adalah aktif turun (*subsidence*). Penurunan tersebut diduga akibat adanya sesar naik aktif di selatan. Cekungan Jakarta mengalami penurunan alami yang diakibatkan oleh gaya vertikal di selatan dan gaya mendatar di utara dengan kisaran penurunan 0,06-0,10 cm/tahun. Kecepatan penurunan alami cekungan Jakarta berdasarkan 8 titik pemboran terbagi menjadi 2 zona yaitu zona dengan rate penurunan $<0,075$ cm/tahun dan $>0,075$ cm/tahun.
5. Kajian geofisika bawah permukaan, antara lain ; keberadaan Sesar Baribis terdeteksi di selatan Jabodetabek, diperkirakan Sesar Baribis tersebut menerus hingga Kabupaten Banten. Sesar Baribis diduga merupakan sesar naik dengan pola Jawa (barat-timur). Sedangkan Sesar Cisadane dan Sesar Bekasi diduga merupakan sesar mendatar dengan diikuti mekanisme ekstensional, sehingga terbentuk beberapa struktur patahan *half graben* di kedua zona sesar tersebut (Sesar Cisadane dan Sesar Bekasi).
6. Pemetaan KRB Gempabumi, memberikan gambaran bahwa gempabumi dengan magnitudo besar secara intensif menghasilkan gelombang gempabumi gelombang panjang. Oleh sebab itu, pada kejadian gempabumi besar, gedung-gedung tinggi yang dibangun di atas cekungan sedimen yang sangat dalam, berpotensi mengalami guncangan sangat besar. Sebaliknya, untuk gempabumi kecil, guncangan pada periode pendek akan sangat mempengaruhi bangunan 1-2 lantai yang berdiri di atas sedimen tipis seperti di puncak bukit.
7. Pemetaan mikrozonasi gempabumi, menghasilkan informasi antara lain ; Nilai V_{s30} di wilayah Jakarta memiliki nilai bervariasi antara 60 - 360 m/s, yang dapat diklasifikasikan kedalam kelas E atau tanah lunak ($V_s < 180$ m/s) dan kelas D atau tanah sedang (180 m/s $< V_s < 360$ m/s); Karakter dari batuan kelas E dan D ini dapat memperkuat guncangan gempa bumi, khususnya untuk bangunan - bangunan yang memiliki periode pendek seperti bangunan satu atau dua lantai; Nilai kedalaman cekungan di wilayah Jakarta memiliki nilai yang cukup besar, antara 400 hingga 1600 meter. Nilai cekungan yang dalam menunjukkan tebalnya sedimen yang ada di bawah wilayah Jakarta; Sedimen yang tebal dapat

memperkuat guncangan gempa bumi, khususnya untuk bangunan - bangunan yang memiliki periode panjang seperti bangunan - bangunan tinggi yang terdapat di wilayah Jakarta,

8. Analisis zona kerentanan gerakan tanah secara statistik ini dilakukan dengan melakukan metode analisis *Logistic Regression (LR)* dan *Weight of Evidence (WoE)*. Dari proses tersebut, zona kerentanan gerakan tanah dibagi menjadi 4 (empat) zona kerentanan gerakan tanah/ZKGT yaitu zona kerentanan gerakan tanah sangat rendah, rendah, menengah dan tinggi.
9. Kajian Geologi Teknik, diperoleh gambaran antara lain ; Daerah kajian dapat dibedakan menjadi 4 (empat) satuan geologi teknik yaitu: Lanau Pasiran - Lempung Organik [A(ms,co)], Lempung Lanauan - Lanau Lempungan [A(cm,mc)], Pasir Lanauan [A(sm)], Pasir Lempungan - Lempung Pasiran [A(sc,cs)] dan Lempung Pasiran [R(cs)]; Zona kemampuan geologi teknik daerah kajian dapat dibedakan menjadi 3 (tiga) zona, yaitu: Zona Kemampuan Geologi Teknik Rendah; Zona Kemampuan Geologi Teknik Sedang, Zona Kemampuan Geologi Teknik Tinggi.
10. Pada wilayah dengan kesesuaian lahan tinggi, pengembangan perkotaan masih dapat dilakukan dengan memperhatikan konservasi airtanah, pengendalian bangunan di dataran Jakarta dengan menggunakan *building code*, mempertahankan keberadaan situ-situ dan membuat sempadan pada zona yang dilewati sesar aktif. Pada wilayah dengan kesesuaian lahan sedang dan rendah dalam pengembangan pembangunan harus memperhatikan aspek-aspek geologi.

7.2 Saran

1. Pengukuran Gayaberat yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan konsep *line* atau lintasan Gayaberat, sehingga data-data yang ada tersebut kurang kuat dalam menjelaskan mekanisme sesar mendatar di Zona Sesar Cisadane dan Zona Sesar Bekasi. Penelitian lanjutan sangat diperlukan guna mengetahui jenis pergeseran kedua zona sesar tersebut. Dan apabila penelitian lanjutan tersebut ada, sebaiknya pengukuran Gayaberat yang akan dilakukan menggunakan konsep *mapping*.
2. Perpaduan nilai Vs30 yang relatif rendah di seluruh wilayah Jakarta beserta sedimen tebal di wilayah ini memberikan risiko yang tinggi terhadap bahaya gempa bumi, sehingga proses

pembangunan di wilayah ini perlu memperhatikan kaidah-kaidah pembuatan bangunan tahan gempa untuk meminimalisir dampak gempa bumi yang dapat terjadi di masa depan.

3. Perlu dilakukan pemantauan penurunan tanah di daerah kajian. Beberapa metode yang dapat dilakukan antara lain memasang Titik Tetap (*Bench Mark*) dan Titik Pengamatan (*Monitoring pile*) untuk di pantau menggunakan alat ukur, GPS atau menggunakan satelit. Titik pengamatan (*Monitoring pile*) sebaiknya diletakkan pada lapisan yang mengalami penurunan di kedalaman antara 3 – 4 m dari muka tanah setempat dan tidak diletakkan pada tanah urugan. Pemasangan *ekstensometer* pada beberapa lapisan yang diperkirakan mengalami penurunan dan memasang *piezometer* guna mengamati perubahan karakteristik tiap lapisan. Perlu pertimbangan yang lebih seksama dalam mengembangkan kawasan di sekitar pantai, terutama pada daerah yang berpotensi mengalami penurunan tanah dan likuefaksi.
4. Penyelidikan-penyelidikan detail tersebut di atas dapat menjadi acuan dasar dalam peraturan zonasi seperti yang diamanatkan dalam Peraturan Pemerintah No.26 Tahun 2008 Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Nasional (RTRWN), sehingga diharapkan penerapan peraturan zonasi di wilayah kajian dapat selaras dengan pembangunan yang berkesinambungan dengan memperhatikan kemampuan daya dukung lahan dan ketersediaan sumber daya, baik sumber daya alam, sumber daya lahan dan sumber daya manusia sehingga memberikan kenyamanan dan keamanan masyarakat dalam berkehidupan dan berusaha.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin dkk., 2003, *Pengembangan GPS untuk Penelitian Penurunan Tanah di Titik Pantau DTLGKP Pasar Ikan, Jakarta Utara*, Laboratorium Geodesi ITB
- Afif, H., 2010. Pemetaan Kecepatan Gelombang shear (Vs) di Area STIEKERS dengan menggunakan CMPCC MASW, Skripsi S1, Program Studi Geofisika FMIPA, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Aleotti, P. dan Chowdhury, R., 1999. *Landslide Hazard Assessment: Summary, Review and New Perspectives*. Bulletin of Engineering Geology & Environment, 58
- Anonim, 2008. Metode Pengujian Sondir, SNI-28-27-2008. Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Badan Pusat Statistik (BPS), 2018. *Provinsi DKI Jakarta Dalam Angka 2018*. Kota DKI Jakarta
- Badan Pusat Statistik (BPS), 2018. *Kota Bogor Dalam Angka 2018*. Kota Bogor
- Badan Pusat Statistik (BPS), 2018. *Kabupaten Bogor Dalam Angka 2018*. Kabupaten Bogor
- Badan Pusat Statistik (BPS), 2018. *Kota Depok Dalam Angka 2018*. Kota Depok
- Badan Pusat Statistik (BPS), 2018. *Kota Tangerang Dalam Angka 2018*. Kota Tangerang
- Badan Pusat Statistik (BPS), 2018. *Kabupaten Tangerang Dalam Angka 2018*. Kabupaten Tangerang
- Badan Pusat Statistik (BPS), 2018. *Kota Bekasi Dalam Angka 2018*. Kota Bekasi
- Badan Pusat Statistik (BPS), 2018. *Kabupaten Bekasi Dalam Angka 2018*. Kabupaten Bekasi
- Badan Pusat Statistik (BPS), 2018. *Kabupaten Cianjur Dalam Angka 2018*. Kabupaten Cianjur
- Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2016. *Penyusunan dan Penentuan Zona Kerentanan Gerakan Tanah SNI 8291:2016*. Jakarta
- Badan Standardisasi Nasional, BSN, 2012. SNI 1726-2012. BSN, Jakarta
- Bailey, B. L., R. D. Miller, S. Peterie, J. Ivanov, D. Steeples, and R. Markiewicz. Implications of Vp/Vs ratio on shallow P and S reflection correlation and lithology discrimination. SEG Houston 2013 Annual Meeting. Cas, RAF., Wright, JV., 1987. Volcanic Successions, modern and ancient. Allen and Unwin, London, pp. 528.
- Baker, J. W., and Jayaram, N., 2008. "Correlation of spectral acceleration values from NGA ground motion models." Earthquake Spectra, 24(1), 299-317
- Baker, J. W., Lin Ting, Shahi Shrey K., Jayaram Nirmal, 2011. New Ground Motion Selection Procedures and Selected Motions for the PEER Transportation Research Program. Pacific Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkeley.
- Baker, J. W., Lin Ting, Januari 10-13, 2011. Probabilistic Seismic Hazard Deaggregation of Ground Motion Prediction Models. 5th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering. Santiago, Chile.

- Bender, B., Perkins, D.M., 1987. SEISRISK III: A Computer Program for Seismic Hazard Estimation. U.S. Geological Survey Bulletin 1772. U.S. Government Printing Office, Washington.
- Bowles, Joseph .1982. *Foundation Analysis and Design*. McGraw Hill International Book Company
- Bowles, J.E.,1993, *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*, Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta.
- Brian S.-J. Chiou and Robert R. Youngs, November 2008. NGA Model for Average Horizontal Component of Peak Ground Motion and Response Spectra. PEER Report 2008/09 Pacific Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkeley
- Budi, Gatot Setyo. 2011. *Pondasi Dangkal*. ANDI, Yogyakarta.
- Das, Braja M.1990. *Principles of Foundation Engineering*. PWSKENT Publishing Company
- Chung, C. F. dan Fabbri, A., 2003. *Validation of Spatial Prediction Models for Landslide Hazard Mapping*. Springer. Natural Hazards, 30, pp 451-472
- Christen, M., Kowalski, J., Bartelt, P., 2010. *RAMMS: Numerical Simulation of Dense snow-avalanches in three dimensional terrains*. Cold Regions Science and Technology, 63(1-2)(1-14)
- Cipta, A, P. Cummins, M. Irsyam dan S. Hidayati, 2018, Basin Resonance and Seismic Hazard in Jakarta, Indonesia, *Geosciences* 8(4), 128, <https://doi.org/10.3390/geosciences8040128>.
- Cruden, 1991. *A simple definition of a landslide*. Bulletin of IAEG, No.41
- Davis, W.M., 1899. The geographical cycle, *Geographical Essays*, pp. 381-412, Ginn and Co., New York
- Douglas John, April 2011. Ground-motion prediction equations 1964–2010. PEER Report 2011/102 Pacific Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkeley
- Douglas John, August 2016. Ground motion prediction equations 1964_2016. PEER Report 2011/102 Pacific Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkeley
- Donald L. Wells and Kevin J. Coppersmith, August 1994. New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 84, No. 4, pp. 974-1002.
- Effendi, A.C; dkk., 1974. *Peta Geologi Lembar Bogor Skala 1:100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., Savage, W.Z., 2008. *Guidelines for Landslide Susceptibility, Hazard and Risk Zoning for Landuse Planning, Joint Technical Committee (JTC-1) on Landslides and Engineered Slopes*. Netherland. Elsevier, In: Eng Geo, Vol. 102, pp. 85-98.
- Guzzetti, F., Carrarra, A., Cardinali, M., Reichenbach, P., 1999. *Landslide Hazard Evaluation: are View of Current Techniques and their Application in a Multi-Scale Study, Central Italy*. Geomorphology, vol. 31, no. 1-4, pp. 181-216 .
- Guzzetti, F., Reichenbach, P., Cardinali, M., Galli, M., Ardizzone, F., 2005. *Probabilistic Landslide Hazard Assessment at the Basin Scale*. Netherland Elsevier. In: Geomorphology, Vol. 72, pp. 272-299.

- Hadisantono, R.D., 1988. *Some aspects of the nature and origin of the widespread pyroclastic flow deposits surrounding Tangkubanparahu, Bandung, West Java*. MSc Thesis, Victoria Univ. of Wellington, New Zealand (unpub. rep.).
- Hall, R., 2002, Cenozoic Geological and Plate Tectonic Evolution of SE Asia and the SW Pacific: Computer Based Reconstruction, Model and Animation, *Journal of Asian Earth Science* (20) 2002, 353 – 431.
- Hamilton, W., 1979. Tectonics of the Indonesian region. U.S. Geological Survey Professional Paper 1078, Washington, 345 pp.
- Hamilton, W., 1989. Convergent Plate Tectonics viewed from the Indonesian region. *Journ. Indon. Ass. Geol.*, Special Volume No. 60, pp. 35-88.
- Han, D-h., A. Nur, dan D. Morgan. 1986. Effects of porosity and clay content on wave velocities in sandstones. *Geophysics*, 51(11), 2093-2107.
- Hardiyatmo, Hary Cristady. 2010. *Analisis dan Perancangan Pondasi II*. UGM Press. Yogyakarta
- Haryanto, I. 2004. *Tektonik Sesar Baribis- Cilandiri*, Prosiding tahunan IAGI 33.
- HAQ, B.U. (1991) Sequence stratigraphy, sea-level change, and significance for the deep sea. In: I.M. Macdonal (ed), *Sedimentation, Tectonics and Eustasy; Sea-level changes at active margins, Spec. Publs. Int. Ass. Sediment (1991)* 12, 3 – 39.
- Heteren, V.S., Fitzgerald, D.M., McKinlay, P.A., and Buynevich, I.V., 1998. *Radar Facies of Paraglacial Barrier System*. Coastal New England, USA. Sedimentology
- Hilde, TWC., 1983. Sediment subduction versus accretion around the Pacific. *Tectonophysics*, 99 pp. 381-397. Elsevier, Amsterdam.
- HOBLER, M. (1984) *Jakarta Groundwater Study*. Installation of the groundwater monitoring site Cengkareng – Pedongkelan. German Hydrogeological Advisory in Indonesia CTA-40. Directorate of Environmental Geology – Bandung, Federal Institute of Geosciences and Natural Resources – Hannover, Working Paper (HAG) 79, Unpublished Report, 20 p.
- IDRC (1996) *Development of Groundwater Management Strategies in the Coastal Region of Jakarta, Indonesia*. Final Report by: H. Maathuis, R.N. Yong, S. Adi and S. Prawiradisastira, International Development Research Centre (IRDC) – Environment and Natural Resources Division Ottawa (Canada), (IRDC File 91-1007-02), SRC Publication No. R-1250-1-E-96, 62 p.
- ILN (1987) Cisadane River Feasibility Study. *Groundwater*, Vol. 3. Index & Associates Ltd., Lavalin International Inc., and Nippon Koei Co. Ltd.. Ministry of Public Works, Directorate of Water Resources Development, Indonesia, Unpublished Report.
- James *Kaklamanos*, David M. Boore, Eric M. Thompson, and Kenneth W. Campbell, December 2, 2011. Implementation of the Next Generation Attenuation (NGA) Ground-Motion Prediction Equations in Fortran and R. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey.
- JWRMS (1994a) *Groundwater management analysis*. Jabotabek Water Resources Management Study. Final Report, Vol. 8, Annex 15. Ministry of Public Works, Directorate of Water Resources Development, Indonesia, Unpublished Report, 72 p.
- JWRMS (1994b) *Groundwater management measures*. Jabotabek Water Resources Management Study. Final Report, Vol. 8, Annex 16. Ministry of Public

- Works, Directorate of Water Resources Development, Indonesia, Unpublished, 56 p.
- Kadir, W.G.A. 2000. Eksplorasi Gaya Berat dan Magnetik. Program Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknologi Mineral, Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Karnawati, D., 2005. *Bencana Alam Gerakan Massa Tanah di Indonesia dan Upaya Penanggulangannya*. Jurusan Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada, Indonesia
- Katili, J.A., 1989. Evolution of the southeast Asian Arc complex, Journal of the Indonesian Association on Geologists. Special Volume No 60, pp. 113-143.
- Keller, G.V., and Frischknecht, F.C., 1987, *Electrical Methods in Geophysical Prospecting*. Pergamon Press, Oxford.
- Keller, E.A. dan Pinter, N., 1996, *Active Tectonic Earthquake, Uplift and Landscape*, Prentice hall, Upper Saddle River, New Jersey 07458: 338 pp.
- Keller, E.A., Pinter, N., 2002 “*Active Tectonics. Earthquakes, Uplift, and Landscape*” Prentice Hall, New Jersey.
- Kloosterman, FH., 1989. Groundwater flow system in the northern coastal lowland of West- and Central Java, Indonesia: An earth-scientific approach. Ph.D. Thesis, Free University of Amsterdam, 298 pp.
- Kowalski, J., 2008. *Two-phase modeling of debris flows*. (PhD. Thesis), Swiss Federal Institute of Technology, Zurich
- Lilie, R.J., 1999. *Whole Earth Geophysics, An Introductory Textbook for Geologists & Geophysicists*. Prentice–Hall.
- Loke, M.H., 2004, *Tutorial: 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys*, unpublished (PDF file).
- Lu, N. dan Godt, J.W., 2013. *Hillslope Hydrology and Stability*. Cambridge, UK. Cambridge University Press, 437, 3.
- Moechtar, H. 2003. *Siklus Sekuen Stratigrafi Cekungan Kuarter Jakarta*. Bandung: Puslitbang Geologi dan IAGI Pusat.
- Malamud, B. D., Turcote, D. L., Guzzetti, F., Reichenbach, P., 2004. *Landslide Inventories and Their Statistical Properties*. Wiley InterScience. Earth Surface Processes and Landforms, 29, pp 687-711
- Martodjojo, S., 1989. Stratigraphic and tectonic behaviour of a back arc basin in West Java, Indonesia. Proc. Reg. Conf. Geol. Min. Hyd. Res. SE Asia. Pp.
- Martodjojo, S., 2003. *Evolusi Cekungan Bogor, Jawa Barat*, Disertasi S3, Fak. Pasca Sarjana, Penerbit ITB, Bandung, 238 hal.
- McCalpin, J.P., 2009, *Paleoseismology* (second edition), Academic Press: 613 pp.
- McFadden, D., 1973. *Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Be*. In: Zarembka, P., Ed., *Frontiers in Econometrics*, Academic Press, New York, 105-142
- Mezughi, T., Akhir, J.M., Rafek, A.G., Abdullah, I., 2011. *A Multi-class Weight of Evidence Approach for Landslide Susceptibility Mapping Applied to an Area Along the E-W Highway (Gerik – Jeli), Malaysia*. EJGE, Vol 16: pp 1259–1273
- Mirzaoglu, Mete dan Ünal Dýkmena, 2003, *Application of microtremors to seismic microzoning Procedure*, Journal Of The Balkan Geophysical Society, Vol. 6, No. 3, p. 143 – 156.

- Nakamura, Y., 1989, *A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface*, Quarterly Reports of the Railway Technical Research Institute, Tokyo, 30, 25-33.
- Nettleton, L. L. 1942. *Determination of density for reduction of Gravimeter Observation*, *Geophysics*, Vol. 42, P.117–134.
- Geotechnical Hazards: Prevention, Mitigation and Engineering Response, Yogyakarta, Indonesia, April 24th - 27th.
- Nefeslioglu, H.A., Gokceoglu, C., Sonmez, H., Gorum, T., 2011. *Medium-Scale Hazard Mapping for Shallow Landslide Initiation: The Buyukkoy Catchment Area (Cayeli, Rize, Turkey) Landslides*. Springer-Verlag
- OYO Corporation, 2010. Operation Manual Model 1109 Mcseis, SeisImager.
- Pannekoek, A.J., 1949. *Outline of the geomorphology of Java*. Tijdschr. Kon. Ned. Aard. Gen., Vol. LXVI, part 3, pp. 270-326.
- Panizza, M., 1991, *Geomorphology and Seismic Risk*, *Earth-Science Reviews* 31, 11-20.1
- Paolo Bazzurro and C. Allin Cornell, April 1999. Disaggregation of Seismic Hazard, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 89, 2, pp. 501-520.
- Park C.B., Miller R.D., Xia J., 1999, Multichannel analysis of surface waves, *Geophysics*, 64(3), 800-808
- Park C.B., Miller R.D., Xia J., Ivanov J., 2007, Multichannel analysis of surface waves (MASW)- active and passive methods, *The Leading Edge* January, 2007
- Pimiento, E., 2010. *Shallow Landslide Susceptibility : Modelling and Validation*. (Master Thesis), Lund University, Swedia.
- Poedjoprajitno S., 2010, *Peta Geomorfologi Pulau Jawa, Skala 5.000.000*, Pusat Survei Geologi.
- Pourghasemi, H.R., Moradi, H.R., Aghda, F.S.M., 2013. *Landslide Susceptibility Mapping by Binary Logistic Regression, Analytical Hierarchy Process, and Statistical Index Models and Assessment of their Performances*. Springer.
- Prakash, Shamsar. 1989. *Pile Foundation in Engineering Practice*. Wiley Interscience Publication.
- Pulunggono dan Martodjojo S., 1994, Perubahan Tektonik Paleogen-Neogen merupakan Peristiwa Tektonik Terpenting di Jawa, *Proceedings Geologi dan Geotektonik Pulau Jawa Sejak Akhir Mesozoik Hingga Kuartar*, ISBN: 979 – 8611 – 00 – 4, 37 – 50.
- Rusmana, 1991. *Peta Geologi Lembar Serang Skala 1:100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung
- Salm, B., 1993. *Flow, flow transition and runout distances of flowing avalanches*. *Ann. Glaciol.*, 18, 221–226
- Santoso, Dj., 2002. *Pengantar Teknik Geofisika*. ITB Press. Bandung
- Schmidt Victor A, Harbert William. “*The Living Machine: Plate Tectonics*”. *Planet Earth and the New Geosciences (third ed.)*. ISBN 0787242969.
- Sieh, K. dan Natawidjaja, D.H., 2000, Neotectonics of the Sumatran Fault, Indonesia, *Journal of Geophysical Research*, Vol 105, No. 12, 28.295 – 28.326.
- Slemmons, D.B., 1986, *A Procedure for Analyzing Fault Controlled Lineament and Activity of Faults*, International Basement Tectonics Association, Nevada USA.

- Soekardi, R. (1982) Aspek geologi terhadap perkembangan pantai dan tata airtanah daerah Jakarta. Skripsi Sarjana, *Jur. Geologi FIPPA Universitas Padjadjaran Bandung*, Tidak dipublikasikan, 139 h.
- Soeters, R., dan Van Westen, C.J., 1996. *Slope Instability Recognition, Analysis and Zonation*. In: Turner, A.K., and Schuster, R. L. (eds). Investigation and Mitigation. Washington DC. Special Report vol 247, Transport Research Board. National Research Council, p. 36 – 75
- Spiker, E. C., dan Gori, P.L., 2000. *National Landslide Hazards Mitigation Strategy-A Framework for Loss Reduction*. U.S. Geological Survey OpenFile Report 00-450. Washington, D.C. Partnerships for Reducing Landslide Risk: Assessment of the National Landslide Hazards Mitigation Strategy: 49
- Sudjatmiko, 1972. Peta Geologi Lembar Cianjur, Jawa, skala 1 : 100.000. *Direktorat Geologi*, Bandung.
- Sudjatmiko., 2003. Peta geologi lembar Cianjur, Jawa skala 1 : 100.000, Puslitbang Geologi, terbit.
- Supartoyo, Suro dan Putranto, E.T., 2014, Katalog Gempabumi Merusak di Indonesia Tahun 1629 – 2014 (edisi kelima), Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Bandung.
- Stewart, I.S., and Hancock, P.L., 1994, *Continental deformation in neotectonic*, Pergamon Press.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R. E., Keys, D. A., 1990, *Applied Geophysics*, Cambridge University Press, London.
- Turkandi, T; Sidarto, D.A; Agustiyanto; dan M.M. Purbo Hadiwidjoyo., 1992. Peta Geologi Jakarta dan Kepulauan Seribu, Skala 1:100.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Van Bemmelen, R.W., 1949. *The Geology of Indonesia*, Vol IA, Vol II, Martinus Nijhoff, The Hague. Asrurifak, M., Irsyam, M., Budiono, B., Triyoso, W., Hendriyawan, March 2010. Development of Spectral Hazard Map for Indonesia with a Return Period of 2500 Years using Probabilistic Method. *Civil Engineering Dimension*, Vol. 12, No. 1, pp. 52–62.
- Van Zuidam R.A. 1983; Aspect of the Applied Geomorphological Map of the Republic Indonesia, Scale 1 : 100.000 BAKOSURTANAL_ITC Project, Cibinong, Indonesia.
- Van Zuidam R.A., 1985; *Aerial Photo-Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping*, ITC syllabus, The Netherlands.
- Van Westen, C. J., Rengers, N., Soeters, R., 2003. *Use of Geomorphological Information in Indirect Landslide Susceptibility Assessment*. Netherlands. Kluwer Academic Publishers. In: *Natural Hazards 30*, pp 399-419
- Van Westen, C. J., Van Ash, T. W. J., Soetoers, R., 2005. *Landslide Hazard and Risk, Zonation-Why is it Still So Difficult ?*. *Bull Eng Geol Env* 65, pp 167-184
- Varnes, D. J., 1978. *Slope Movement, Type and Processes*. In: Schuster, R.L., Krizek, R.J. (Eds), *Landslides: Analysis and Control*. Washington: National Academic of Sciences, Transportation Research Board, Special Report, vol. 176
- Verstappen H. Th., 1985, *Applied geomorphological survey and natural hazard zoning*; ITC syllabus, The Netherlands.

- Verstappen, H.Th., 2000, Outline of The Geomorphology of Indonesia. A Case Study on Tropical Geomorphology of a Tectonic Region, ITC – Division of Applied Geomorphological Survey (AGS), The Netherlands.
- Vilimak, V., 2004, Morphotectonic effects in Fault Zones, Acta Universitatis Carolinae Geographica No.1 Pag 47 – 58, Prague.
- Wahid, A., 2007. *Analisis Keberadaan Batuan Gamping (Limestone) Berdasarkan Nilai Resistivitasnya*. Media Exacta, Journal of Science and Engineering, vol.8, no.2, Juli 2007, hlm 1056-1062, ISSN: 1412-3703, Mandiri
- Wahono, B.F.D., 2010. *Applications of Statistical and Heuristic Methods for Landslide Susceptibility Assessments, a Case Study in Wadas Lintang Sub District, Wonosobo Regency, Central Java Province, Indonesia*. (Master Thesis), Universitas Gadjah Mada – ITC, Jogjakarta - Enschede
- Well, D.L., dan Coppersmith, K.J., 1994, New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area and Surface Displacement, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 84, no. 4, August 1994, 974 – 1002.
- Wieczorek, G.F., 1984. *Preparing a Detailed Landslide-Inventory Map for Hazard Evaluation and Reduction*. Bulletin Association of Engineering Geologists. 21: 337–342.
- Wirabuana, T., dkk., 2019, Atlas Zona Kerentana Likuefaksi Indonesia, Badan Geologi, Bandung
- Zhao, J. X., K. Irikura, J. Zhang, Y. Fukushima, P. G. Somerville, A. Asano, T. Saiki, H. Okada, dan T. Takahashi, 2004, *Site Classification For Strong-Motion Stations In Japan Using H/V Response Spectral Ratio*, 13th World Conference of Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, paper No. 1278.
- Zhou S., Wang W., Chen G., Liu B., Fang L., 2016. *A Combined Weight of Evidence and Logistic Regression Method for Susceptibility Mapping of Earthquake-induced Landslides: A Case Study of the April 20, 2013 Lushan Earthquake, China*. China: Acta Geologica Sinica.