

HARY CHRISTADY HARDIYATMO

REKAYASA GEMPA

UNTUK ANALISIS STRUKTUR & GEOTEKNIK



GADJAH MADA UNIVERSITY PRESS

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Rekayasa Gempa.....	1
1.2 Kerusakan Akibat Gempa Bumi.....	2
1.2.1 Guncangan Tanah	2
1.2.2 Kegagalan Struktur	3
1.2.3 Likuefaksi.....	3
1.2.4 Longsor Lereng.....	4
1.2.5 Kegagalan Dinding Penahan Tanah	4
1.2.6 Kerusakan Jaringan Fasilitas	5
1.2.7 Tsunami dan <i>Seiche</i>	5
BAB II GEMPA BUMI	7
2.1 Pendahuluan	7
2.2 Bumi	7
2.3 Isostasi (<i>Isostasy</i>).....	10
2.4 Hipotesis Pergeseran Benua (<i>Continental Drift</i>)	12
2.5 Lempeng Tektonik	13
2.5.1 Lempeng Tektonik di Sekitar Kepulauan Indonesia	16
2.5.2 Tipe-Tipe Gerakan Lempeng Tektonik	16
2.5.3 Dampak Pergerakan Lereng	21
2.6 Sesar	22
2.6.1 Tipe-Tipe Gerakan Sesar	23
2.6.2 Zona Keruntuhan Sesar	27
2.7 Mekanisme Terjadinya Gempa Bumi	27
2.7.1 Pengaruh Lingkungan di Sekitar Sesar	30
2.7.2 Gempa Awal, Gempa Utama, dan Gempa Susulan	31
2.7.3 Jenis-Jenis Sumber Gempa	31
2.7.4 Gempa <i>Intraplate</i> dan <i>Interplate</i>	32
	ix

2.7.5	Distribusi Tegangan pada Gempa <i>Interplate</i> dan <i>Intraplate</i>	32
2.7.6	Perulangan Kejadian Gempa	33
2.7.7	Lokasi Pusat Gempa	33
2.7.8	Definisi Geometri Sesar dan Jaraknya	34
2.7.9	Klasifikasi dan Macam-Macam Gempa Bumi	36
2.8	Sejarah Kejadian Gempa Kuat	38
2.9	Gelombang Gempa	41
2.9.1	Gelombang <i>P</i>	42
2.9.2	Gelombang <i>S</i>	43
2.9.3	Gelombang <i>L</i>	44
2.9.4	Gelombang <i>R</i>	45
2.10	Magnitudo Gempa dan Intensitas Gempa	46
2.10.1	Skala Magnitudo Gempa	47
2.10.2	Intensitas Gempa Skala Mercalli	59
2.10.3	Energi Seismik	62
2.11	Pengukuran Gerakan Tanah	62
2.11.1	Seismograf	62
2.11.2	Hasil Rekaman Seismograf	65
2.12	Waktu Kedatangan Gelombang <i>P</i> dan <i>S</i>	68
2.13	Letak Episentrum	69
BAB III	PREDIKSI PARAMETER GERAKAN TANAH	75
3.1	Pendahuluan	75
3.2	Parameter untuk Perancangan	76
3.3	Macam-Macam Parameter Gerakan Tanah	76
3.3.1	Parameter Amplitudo	77
3.3.2	Durasi	80
3.3.3	Periode Predominan	81
3.3.4	Konten Frekuensi (<i>Frequency Content</i>)	83
3.3.5	Spektra Respons	85
3.4	Estimasi Parameter Gerakan Tanah	85
3.5	Fungsi Atenuasi	87
3.5.1	Faktor-Faktor yang Memengaruhi Fungsi Atenuasi	89
3.5.2	Fungsi Atenuasi Percepatan Puncak	90
3.5.3	Fungsi Atenuasi Kecepatan Puncak	94
3.5.4	Pemilihan Fungsi Atenuasi	95
3.5.5	Karakterisasi Sumber Gempa dan Pengamatan Gerakan Sesar	95
3.6	Analisis Bahaya Seismik	96

3.6.1	Perbedaan Analisis Bahaya Seismik dan Risiko Seismik	97
3.6.2	Tahap-Tahap Analisis Bahaya Seismik	97
3.6.3	Cara Pendekatan dalam Penentuan Gempa Rancangan	97
3.6.4	Analisis Bahaya Seismik Deterministik	99
3.6.5	Analisis Bahaya Seismik Probabilistik.....	103
3.6.6	Perbedaan Metode Probabilistik dan Deterministik	107
3.7	Pembuatan Peta Gempa	108
3.8	Peta Gempa Nasional Indonesia.....	108
BAB IV	SIFAT-SIFAT DINAMIK TANAH	110
4.1	Pendahuluan	110
4.2	Sifat-Sifat Dinamik Tanah	110
4.2.1	Perilaku Tegangan-Regangan Siklik	111
4.2.2	Kecepatan Gelombang Geser	113
4.2.3	Berat Volume dan Kerapatan Relatif	115
4.3	Uji Tanah di Laboratorium	116
4.3.1	Uji Tanah pada Regangan Rendah	117
4.3.2	Uji Regangan Tinggi	118
4.4	Uji Tanah di Lapangan	124
4.4.1	Pengujian pada Regangan Rendah	124
4.4.2	Pengujian pada Regangan Tinggi	132
4.5	Hubungan Modulus dan Regangan Geser	139
4.6	Kecepatan Gelombang dan Modulus Geser.....	140
BAB V	DASAR TEORI DINAMIKA STRUKTUR	142
5.1	Pendahuluan	142
5.2	Pengaruh Gerakan Tanah pada Struktur	142
5.3	Perbedaan Analisis Statik dan Dinamik	143
5.4	Istilah-Istilah	144
5.5	Derajat Kebebasan	145
5.6	Sistem Berderajat Kebebasan Tunggal	145
5.7	Hukum Gerak Newton II dan Prinsip D'Alembert ...	148
5.7.1	Hukum Gerak Newton II	148
5.7.2	Prinsip D'Alembert	149
5.8	Tipe-Tipe Gerakan Dinamik	150
5.8.1	Gerakan Harmonik Sederhana	151
5.8.2	Gerakan Bebas pada Sistem Pegas	153
5.9	Hubungan Gaya dan Perpindahan	160
5.9.1	Sistem Linier Elastik.....	160

5.9.2	Sistem Tak Elastik	162
5.10	Getaran Bebas	162
5.10.1	Struktur Mengalami Getaran Bebas	163
5.10.2	Diagram Bodi Bebas Sistem Tanpa Redaman	166
5.11	Redaman	169
5.12	Rasio Redaman Kritis dan Tipe-Tipe Redaman	170
5.12.1	Kondisi Teredam Kritis	172
5.12.2	Kondisi <i>Overdamped</i>	173
5.12.3	Kondisi <i>Underdamped</i>	173
5.12.4	Pengaruh Rasio Redaman	178
5.13	Kehilangan Gerakan	178
5.14	Pengaruh Beban Luar	181
5.14.1	Menggunakan Hukum Newton II	182
5.14.2	Menggunakan Prinsip D'Alembert	183
5.14.3	Respons Linier Sistem <i>SDOF</i>	184
5.14.4	Sistem Tak Elastik	184
5.15	Pengaruh Gerakan Dasar	185
5.16	Pengaruh Komponen Kekakuan, Redaman, dan Massa	187
5.17	Menentukan Koefisien Redaman secara Eksperimental	193
5.18	Penggabungan Respons Statik dan Dinamik Struktur	196

BAB VI PARAMETER GERAKAN TANAH UNTUK PERANCANGAN **197**

6.1	Pendahuluan	197
6.2	Aspek Dasar Perancangan Seismik	198
6.3	Gerakan Tanah untuk Perancangan	199
6.3.1	Gerakan Tanah Rancangan	200
6.3.2	Penentuan Parameter Gerakan Tanah dari Analisis Bahaya Gempa	201
6.4	Permasalahan dalam Perancangan Seismik	202
6.4.1	Gaya-Gaya pada Struktur	203
6.4.2	Tuntutan Deformasi dan Kapasitas Deformasi	203
6.4.3	Kekakuan dan Kekuatan	205
6.4.4	Daktilitas	205
6.4.5	Sendi Plastis	207
6.4.6	Dinding Geser	209
6.5	Spektrum Respons	210
6.5.1	Prinsip Dasar Spektrum Respons	211
6.5.2	Istilah-Istilah	213
6.5.3	Penggambaran Spektra Respons	214

6.5.4	Pengaruh Redaman terhadap Spektrum Respons	217
6.5.5	Pengaruh Periode dan Rasio Redaman terhadap Respons Perpindahan	218
6.5.6	Gaya Statik Ekuivalen	220
6.5.7	Spektra Respons Perpindahan, Percepatan Semu, dan Kecepatan Semu	222
6.5.8	Respons Struktural Puncak	228
6.5.9	Cara Penggambaran Spektrum Respons	231
6.6	Spektrum Respons Rancangan	231
6.6.1	Spektra Respons Elastik	232
6.6.2	Spektra Respons Elastik dalam Format Plot Logaritma <i>Tripartite</i>	234
6.6.3	Spektrum Respons <i>Tripartite</i> Tak Elastik	239
6.6.4	Spektrum Respons Rancangan Elastik	242
6.6.5	Spektrum Respons Rancangan Tak Elastik ...	250
6.6.6	Spektra Bahaya Gempa Seragam Dihaluskan	252
6.6.7	Pengaruh Kondisi Tanah pada Spektra Respons	254
6.7	Parameter Gerakan Tanah untuk Perancangan	262
6.7.1	Kurva Bahaya Gempa	262
6.7.2	Fungsi Kerapuhan	263
6.7.3	Gempa Maksimum Dipertimbangkan Risiko Tertarget (MCE_R)	266
6.7.4	Periode Ulang Gempa	266
6.7.5	Penentuan Periode Ulang Gerakan Tanah	269
6.7.6	Pemilihan Gempa Rancangan	270
6.7.7	Pemilihan Umur Rencana Bangunan	271
6.7.8	Peta Sumber dan Bahaya Gempa	271
6.7.9	Peta Gempa MCE_R	272
6.8	Periode Fundamental Struktur	272
6.8.1	Periode Alami dan Resonansi	275
6.8.2	Mengatur Periode Bangunan	276
6.8.3	Arah Periode Fundamental	277
6.8.4	Pengaruh Massa	278
6.8.5	Pengaruh Kekakuan	278
6.8.6	Pengaruh Tinggi Bangunan	278
6.8.7	Pengaruh Orientasi Kolom	280
6.8.8	Pengaruh Dinding Pengisi Rangka Beton Bertulang	281
6.8.9	Rangkuman Terkait Periode Fundamental ...	282
6.9	Hitungan Gaya Geser Dasar	282

6.9.1	Identifikasi Lapisan Tanah	283
6.9.2	Klasifikasi Situs	284
6.9.3	Pengaruh Amplifikasi	288
6.9.4	Parameter Spektral Respons Percepatan Rancangan	290
6.9.5	Lokasi Spesifik	292
6.9.6	Definisi Kedekatan Situs terhadap Sesar	293
6.9.7	Faktor Keutamaan I_c dan Kategori Risiko Akibat Gempa	294
6.9.8	Kategori Rancangan Seismik	294
6.9.9	Penentuan Periode Fundamental	297
6.9.10	Gaya Geser Dasar	301
6.9.11	Distribusi Vertikal Gaya Seismik	304
6.9.12	Distribusi Horizontal Gaya Seismik	305
6.9.13	Penggambaran Spektrum Respons Rancangan	305
6.9.14	Pemilihan Periode Fundamental	308
6.10	Penentuan Simpangan Antartingkat	314
6.11	Gerakan Tanah Vertikal	315
6.12	Arah Beban Gempa	317
6.13	Program Komputer untuk Gerakan Tanah	317
BAB VII	LIKUEFAKSI	319
7.1	Pendahuluan	319
7.2	Istilah-Istilah Terkait Likuefaksi.....	321
7.3	Kejadian dan Sebab-Sebab Terjadinya Likuefaksi	322
7.4	Faktor-Faktor yang Memengaruhi Likuefaksi	324
7.4.1	Intensitas dan Durasi Gempa	325
7.4.2	Muka Air Tanah.....	326
7.4.3	Macam Tanah.....	326
7.4.4	Kepadatan atau Kerapatan Relatif (D_r).....	329
7.4.5	Bentuk Butiran	330
7.4.6	Gradasi Butiran	330
7.4.7	Derajat Kejenuhan	332
7.4.8	Kedudukan Awal Tanah	332
7.4.9	Tebal Lapisan Pasir	332
7.4.10	Penuaan (<i>Aging</i>) dan Sementasi	333
7.4.11	Tegangan Vertikal Efektif	333
7.4.12	Tegangan Kekang (<i>Confining Stress</i>)	334
7.4.13	Beban Bangunan di Permukaan Tanah.....	334
7.4.14	Kondisi Drainase	334
7.4.15	Sejarah Kasus Likuefaksi	334

7.5	Uji di Laboratorium	335
7.5.1	Pengujian Castro (1969)	338
7.5.2	Pengujian Ishihara (1985)	339
7.5.3	Korelasi Hasil Uji Triaksial Siklik dan Uji Geser Sederhana	341
7.6	Uji di Lapangan	343
7.7	Evaluasi Likuefaksi dari Hasil Uji <i>SPT</i>	343
7.7.1	Tegangan Geser Akibat Gempa	346
7.7.2	Penentuan Percepatan Tanah Puncak (a_{mak}) ..	348
7.7.3	Metode Evaluasi Likuefaksi	349
7.7.4	Metode Pendekatan Tegangan Siklik	350
7.7.5	Pengaruh Kolom Batuan	385
7.8	Evaluasi Likuefaksi dari Hasil Uji Penetrasi Kerucut Statis	393
7.8.1	Metode Robertson dan Wride (1998)	395
7.8.2	Metode Idriss dan Boulanger (2004)	404
7.9	Indeks Potensi Likuefaksi (<i>Liquefaction Potential Index, LPI</i>)	411
7.10	Metode Regangan Siklik	415
7.10.1	Regangan Siklik Pemicu Likuefaksi	416
7.10.2	Evaluasi Potensi Likuefaksi	418
7.11	Dampak Likuefaksi	420
7.12	Penurunan Akibat Likuefaksi	423
7.12.1	Penurunan Pasir Kering atau Tidak Jenuh	423
7.12.2	Penurunan Pasir Jenuh	433
7.12.3	Estimasi Penurunan Akibat Likuefaksi pada Tanah Pasir dan Lanau Berpasir	434
7.13	Kuat Geser Tanah Terlikuefaksi	447
7.14	Cara Meningkatkan Tahanan Likuefaksi	448
7.15	Permasalahan dalam Longsor Aliran Terkait Kuat Geser Residu	450

BAB VIII STABILITAS LERENG **452**

8.1	Pendahuluan	452
8.2	Analisis Stabilitas Lereng Statik.....	452
8.3	Analisis Stabilitas Lereng Seismik.....	453
8.3.1	Tipe-Tipe Bidang Longsor	454
8.3.2	Analisis Ketidakstabilan Inersial	454
8.3.3	Analisis Penggelinciran Blok Newmark	462
8.3.4	Analisis Ketidakstabilan Lereng Akibat Pelemahan	470

8.3.5	Analisis Stabilitas Lereng untuk Tanah Terlikuefaksi	471
BAB IX	DINDING PENAHAN TANAH	477
9.1	Pendahuluan	477
9.2	Tekanan Tanah Statik pada Dinding Penahan	477
9.2.1	Teori Rankine	478
9.2.2	Teori Coulomb	481
9.3	Respons Dinamik Dinding Penahan Tanah	483
9.4	Tekanan Seismik pada Dinding Penahan Tanah	484
BAB X	KETAHANAN FONDASI TERHADAP GEMPA	490
10.1	Pendahuluan	490
10.2	Fondasi Dangkal	490
10.2.1	Analisis Pseudostatik	492
10.2.2	Pembebanan pada Analisis Kapasitas Dukung Pseudostatik	492
10.2.3	Analisis Respons Dinamik	493
10.2.4	Interaksi antara Tanah-Fondasi-Struktur	494
10.2.5	Faktor Aman	494
10.3	Fondasi Tiang	495
10.3.1	Metode Analisis	495
10.3.2	Kekakuan Fondasi Tiang	497
10.3.3	Tiang pada Tanah yang Berpotensi Terjadi Likuefaksi dan Sebaran Lateral	498
10.3.4	Tipe-Tipe Kerusakan Tiang Akibat Likuefaksi	499
10.3.5	Kerusakan Tiang Akibat Likuefaksi	500
	DAFTAR PUSTAKA	503
	TABEL KONVERSI	519
	TENTANG PENULIS	523