

JURNAL TEKNIK SIPIL

**Proses Evaluasi Penawaran Kontraktor Dengan Sistem Nilai
(Merit Point System)**

(*Maksum Tanubrata, Milsa Setiaputri*)

Kajian Kelayakan Air Sungai Cikapundung Sebagai Air Bersih

(*Ginardy Husada, Maria Christine, Maria Fransiska*)

**Penggunaan Teori Pengembangan Rongga
dalam Uji Menard Pressuremeter**

(*Ibrahim Surya*)

**Evaluasi Karakteristik Agregat Untuk Dipergunakan
Sebagai Lapis Pondasi Berbutir**

(*Yully Yanette, Tan Lie Ing, Samun Haris*)

**Pengembangan Model Simulasi Integrasi Biaya dan Jadwal
Proyek Konstruksi dibawah Ketidakpastian**

(*Deni Setiawan, Ronald Simatupang*)

J. Tek.Sipil	Vol. 6	No. 2	Hlm.79-193	Bandung, Oktober 2010	ISSN 1411-9331
--------------	--------	-------	------------	-----------------------------	-------------------



JURNAL TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS KRISTEN MARANATHA

Jurnal Teknik Sipil adalah jurnal ilmiah jurusan teknik sipil Universitas Kristen Maranatha yang diterbitkan 2 kali setahun pada bulan April dan Oktober. Pertama kali terbit bulan Oktober 2003. Tujuan penerbitan adalah sebagai wadah komunikasi ilmiah dan juga penyebarluasan hasil penelitian, studi literatur dalam bidang teknik sipil atau ilmu terkait. Bila pernah dipresentasikan pada seminar agar diberi keterangan lengkap.

Pelindung	: Rektor Universitas Kristen Maranatha
Penanggung Jawab	: Dekan Fakultas Teknik Universitas Kristen Maranatha
Pemimpin Redaksi	: Ir. Maksum Tanubrata, MT.
Ketua Dewan Penyunting	: Yosafat Aji Pranata, ST., MT.
Penyunting Pelaksana	: Dr. Ir. Budi Hartanto Susilo, M.Sc. Ir. Maria Christine, M.Sc. Ir. Herianto Wibowo, M.Sc. Anang Kristianto, ST., MT. Andrias Suhendra Nugraha, ST., MT.
Desain Visual dan Editor	: Aldrin Boy
Sekretariat dan Sirkulasi	: Dra. Dorliana
Alamat Redaksi	: Sekretariat Jurnal Teknik Sipil Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha Jl. Prof. drg. Suria Sumantri MPH. No. 65 Bandung 40164 Tel. 022 - 2012186 ext. 212 Fax. 022 - 2017622
E-mail	: jurnal_ts@eng.maranatha.edu
Penerbit	: Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha Jl. Prof. drg. Suria Sumantri MPH. No. 65 Bandung 40164



JURNAL TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS KRISTEN MARANATHA

DAFTAR ISI :

Proses Evaluasi Penawaran Kontraktor Dengan Sistem Nilai (<i>Merit Point System</i>) (<i>Maksum Tanubrata, Milsa Setiaputri</i>)	79-100
Kajian Kelayakan Air Sungai Cikapundung Sebagai Air Bersih (<i>Ginardy Husada, Maria Christine, Maria Fransiska</i>)	101-120
Penggunaan Teori Pengembangan Rongga dalam Uji Menard <i>Pressuremeter</i> (<i>Ibrahim Surya</i>)	121-150
Evaluasi Karakteristik Agregat Untuk Dipergunakan Sebagai Lapis Pondasi Berbutir (<i>Yully Yanette, Tan Lie Ing, Samun Haris</i>)	151-164
Pengembangan Model Simulasi Integrasi Biaya dan Jadwal Proyek Konstruksi dibawah Ketidakpastian (<i>Deni Setiawan, Ronald Simatupang</i>)	165-192

PROSES EVALUASI PENAWARAN KONTRAKTOR DENGAN SISTEM NILAI (*MERIT POINT SYSTEM*)

Maksum Tanubrata¹, Milsa Setiaputri²

¹Dosen, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha

²Alumnus, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha

Jl. Prof. drg. Suria Sumatri MPH., No. 65, Bandung, email : maksum_tanubrata150@gmail.com

ABSTRAK

Pemilihan calon kontraktor dalam pengadaan barang/jasa pemborongan di bidang konstruksi pada prinsipnya dilakukan dengan metode pelelangan umum pascakualifikasi, terutama proyek pemerintah. Namun, yang sering menjadi kendala dalam proses pelelangan tersebut adalah sistem evaluasi penawaran kontraktor yang kurang memadai baik dari segi teknis maupun biaya sehingga dapat mengurangi kualitas pekerjaan yang dilaksanakan. Sistem nilai (*Merit Point System*) merupakan salah satu sistem evaluasi penawaran dengan menilai aspek administrasi, teknis dan biaya secara rinci sesuai dengan Keppres No. 80 Tahun 2003 tentang Pedoman Pelaksanaan Pengadaan Barang dan Jasa Pemerintah dan Kepmen Kimpraswil No. 257 Tahun 2004 tentang Standar dan Pedoman Pengadaan Jasa Konstruksi. Penilaian dilakukan dengan cara memberikan bobot penilaian terhadap aspek teknis dan biaya berdasarkan tingkat kompleksitas dan kebutuhan proyek, tetapi tidak menyimpang dari peraturan pemerintah serta kriteria yang ditetapkan oleh panitia pengadaan. Pada pengadaan proyek Pembangunan Gedung Kuliah Kampus Politeknik Negeri Bandung Tahap I, evaluasi dilakukan terhadap 3 (tiga) urutan calon kontraktor yang memperoleh nilai tertinggi dengan perbandingan persentase bobot evaluasi teknis dan biaya sebesar 70:30. Dalam penelitian ini ditentukan kombinasi lain dari perbandingan bobot tersebut yaitu 60:40 dan 80:20 untuk mengetahui pengaruhnya terhadap nilai dan urutan calon kontraktor. Hasil evaluasi terhadap ketiga perbandingan bobot teknis dan biaya tersebut menyimpulkan bahwa perbandingan bobot 60:40 hanya mengubah nilai dari setiap aspek tetapi tidak mengubah urutan calon kontraktor, sedangkan perbandingan bobot 80:20 mengubah nilai maupun urutan calon kontraktor.

Kata kunci : Evaluasi penawaran kontraktor, Sistem nilai, Pelelangan umum, Pascakualifikasi, Bobot, Evaluasi teknis dan biaya.

ABSTRACT

Selection of candidates for contractors in the procurement of goods and contract service in the field of construction, in principle, be done with general post-auction method, especially government projects. However, that often become obstacles in the auction process is that the contractor bid evaluation system is inadequate both in terms of technical and cost so as to reduce the quality of work performance. Value system (*Merit Point System*) is one of the bid evaluation system by assessing aspects of administrative, technical and cost in detail in accordance with Presidential Decree. 80 Year 2003 on Guidelines for Procurement of Goods and Services Government and Regional Infrastructure Ministerial Decree No. 257 of 2004 on the Standards and Guidelines for the Procurement of Construction Services. The assessment is done by giving weight rating of the technical aspects and the level complexity and cost based on project needs, but do not deviate from government regulations and criteria established by the procurement committee. In the procurement of construction projects building Bandung State Polytechnic College Campus Pahse I, an evaluation carried out on 3 (three) order the contractor candidates who obtain the highest value by compariosn of the precentage weighting of technical and costevaluation of 70:30. In this study determined other combination of the weight ratio of 60:40 and 80:20 to determine the effect on the value and order of candidate contractors. The evaluation results of the three technical

weight and cost comparison concluded that the weight ratio of 60:40 is only changing the value of every aspects but does not change the order of the prospective contractor, while the weight ratio of 80:20 to change the order value and the prospective contractor.

Keywords: Evaluation of contractor bids, Merit point system), Public tender, Postqualification, Weight, Technical evaluation and cost.

1. PENDAHULUAN

Procurement (pengadaan) diartikan sebagai suatu proses untuk mendapatkan barang dan jasa konstruksi. Metode pemilihan penyedia barang/jasa pemborongan pada prinsipnya menggunakan metode pelelangan umum (pascakualifikasi). Tahapan yang paling menentukan dalam proses pelelangan umum yaitu evaluasi penawaran, dimana dilakukan evaluasi terhadap seluruh dokumen penawaran yang masuk, baik secara teknis maupun biaya.

Dalam pemilihan penyedia barang/jasa pemborongan, metode yang sering digunakan adalah sistem nilai dengan kriteria penawaran biaya terendah. Namun bila penawaran dinilai terlalu rendah, dapat menjadi kekhawatiran bagi pihak pengguna jasa dalam hal kualitas pekerjaan sehingga metode ini dianggap kurang memadai. Sistem nilai lainnya yang dapat digunakan adalah sistem evaluasi nilai (*Merit Point System*) dimana proses perhitungannya sangat rinci dan lebih teliti, sesuai dengan Keppres No.80 Tahun 2003 tentang Pedoman Pelaksanaan Pengadaan Barang dan Jasa Pemerintah dan Kepmen Kimpraswil No.257 Tahun 2004 tentang Standar dan Pedoman Pengadaan Jasa Konstruksi.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji dan memahami cara evaluasi penawaran kontraktor dengan sistem nilai (*Merit Point System*) pada proses pelelangan sesuai dengan Keppres No. 80 Tahun 2003, Kepmen Kimpraswil No.257 Tahun 2004, Keppres No. 61 Tahun 2004, Peraturan Presiden No. 70 Tahun 2005 dan Peraturan Presiden No. 8 Tahun 2006. Tujuan kedua adalah menentukan urutan calon pemenang penyedia barang/jasa pemborongan (kontraktor) dengan variasi bobot evaluasi teknis dan biaya berdasarkan Keppres No.80 Tahun 2003.

2. TINJAUAN LITERATUR, STUDI KASUS DAN PEMBAHASAN

a. Metode Pemilihan Penyedia Barang/Jasa Pemborongan

1. Metode Pelelangan Umum
2. Metode Pelelangan Terbatas
3. Metoda Pemilihan Langsung

4. Metoda Penunjukan Langsung

b. Metode Evaluasi Penawaran Pengadaan Barang/Jasa Pemborongan

1. Sistem Gugur
2. Sistem Nilai (penawaran biaya terendah dan *Merit Point System*)
3. Sistem Penilaian Biaya Selama Umur Ekonomis

c. Peraturan-peraturan Pengadaan Barang/Jasa Konstruksi

1. Kepmen Kimpraswil No. 257 Tahun 2004 tentang Standar dan Pedoman Pengadaan Jasa Konstruksi;
2. Keppres No. 80 Tahun 2003 tentang Pedoman Pelaksanaan Pengadaan Barang dan Jasa Pemerintah;
3. Keppres No. 61 Tahun 2004 berisi perubahan atas Keppres No.80 Tahun 2003 tentang Pedoman Pelaksanaan Pengadaan Barang dan Jasa Pemerintah;
4. Peraturan Presiden No. 70 Tahun 2005; dan
5. Peraturan Presiden No. 8 Tahun 2006 berisi perubahan selanjutnya atas Keppres No. 80 Tahun 2003.

d. Persiapan Pengadaan Barang/Jasa Pemborongan

1. Panitia Pengadaan Barang/Jasa
Tugas, wewenang dan tanggung jawab panitia/pejabat pengadaan barang/jasa yaitu:
 - a) Menentukan jadwal, cara pelaksanaan/kriteria evaluasi, serta lokasi pengadaan;
 - b) Menyusun dan menyiapkan Harga Perkiraan Sendiri (HPS);
 - c) Menyiapkan dokumen pengadaan;
 - d) Mengumumkan pengadaan barang/jasa melalui media cetak dan papan pengumuman resmi untuk penerangan umum, ataupun media elektronik;
 - e) Menilai kualifikasi penyedia melalui pascakualifikasi atau prakualifikasi;
 - f) Melakukan evaluasi terhadap penawaran yang masuk (sesuai kriteria evaluasi);
 - g) Mengusulkan calon pemenang;
 - h) Membuat laporan proses dan hasil pengadaan kepada pengguna barang/jasa;

- i) Menandatangani pakta integritas sebelum pelaksanaan pengadaan barang/jasa.
2. Persyaratan Kualifikasi
- a) Membuat surat pernyataan minat untuk mengikuti pengadaan barang/jasa;
 - b) Menandatangani Pakta Integritas sebelum pelaksanaan pengadaan barang/jasa dimulai oleh yang secara hukum mempunyai kapasitas untuk menandatangani kontrak yang tercantum dalam akte pendirian;
 - c) Memiliki Ijin Usaha Jasa Konstruksi (IUJK), yang diterbitkan oleh pemerintah Kabupaten/Kota tempat domisili penyedia jasa;
 - d) Memiliki kompetensi yang ditunjukkan dengan Sertifikat Badan Usaha (SBU) pada tahun proyek yang akan dilaksanakan yang diregistrasi oleh Lembaga Pengembangan Jasa Konstruksi (LPJK);
 - e) Memiliki Sertifikat Tenaga Ahli /Terampil (SKA/SKT);
 - f) Secara hukum mempunyai kapasitas menandatangani kontrak (Akte Pendirian dan Perubahan Perusahaan);
 - g) Tidak dalam pengawasan pengadilan, bangkrut atau sanksi pidana;
 - h) Dalam kurun waktu 4 (empat) tahun terakhir pernah memperoleh pekerjaan menyediakan barang/jasa pemerintah/swasta termasuk pengalaman subkontrak, kecuali penyedia barang/jasa yang baru berdiri kurang dari 3 (tiga) tahun;
 - i) Memiliki sumber daya manusia, modal, peralatan, dan fasilitas lain yang diperlukan dalam pengadaan barang/jasa;
 - j) Tidak masuk dalam daftar hitam;
 - k) Memiliki alamat tetap dan jelas serta dapat dijangkau dengan pos;
 - l) Memiliki kemampuan pada bidang/sub bidang pekerjaan yang sesuai;
 - m) Memenuhi $KD = 2Np_t$ pada sub bidang pekerjaan yang sesuai dalam kurun waktu 7 (tujuh) tahun terakhir ($KD =$ Kemampuan Dasar, $Np_t =$ Nilai Pengalaman tertinggi);
 - n) Menyampaikan daftar perolehan pekerjaan yang sedang dilaksanakan;
 - o) Tidak membuat pernyataan yang tidak benar tentang kompetensi dan kemampuan usaha yang dimilikinya;
 - p) Memiliki Sisa Kemampuan Keuangan (SKK) yang cukup dan Sisa Kemampuan Paket (SKP).

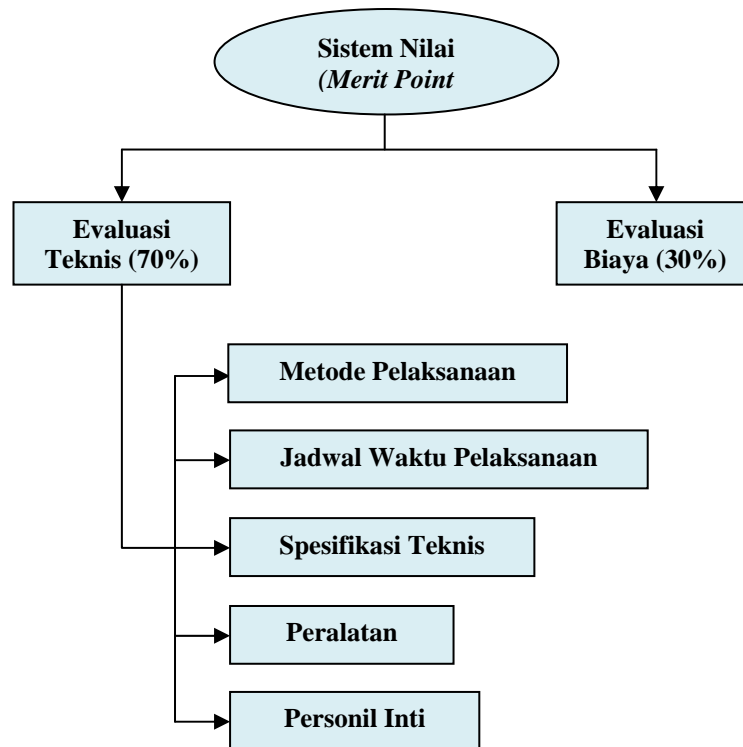
e. Tahap Evaluasi Dokumen Penawaran

1. Koreksi Aritmatik
 - a) Volume pekerjaan yang tercantum dalam dokumen penawaran disesuaikan dengan yang tercantum dalam dokumen pengadaan;
 - b) Apabila terjadi kesalahan hasil pengalian antara volume dengan harga satuan pekerjaan, maka dilakukan koreksi, dengan ketentuan harga satuan pekerjaan yang ditawarkan tidak boleh berubah;
 - c) Hasil koreksi aritmatik dapat mengubah nilai/urutan penawaran menjadi lebih tinggi atau lebih rendah terhadap urutan penawaran semula.
2. Evaluasi Administrasi
 - a) Kelengkapan dokumen penawaran;
 - b) Dokumen penawaran yang masuk menunjukkan persaingan sehat, tidak terjadi pengaturan bersama (kolusi) yang dapat merugikan banyak pihak;
 - c) Surat Penawaran;
 - d) Jaminan Penawaran;
 - e) Surat Kuasa;
 - f) Kelengkapan lampiran penawaran.
3. Evaluasi Teknis
 - a) Metoda Pelaksanaan
 - b) Jadwal Waktu Pelaksanaan
 - c) Spesifikasi Teknis
 - d) Jenis, Kapasitas, Komposisi, dan Jumlah Peralatan
 - e) Personil Inti
4. Evaluasi Harga
 - a) Evaluasi Harga Penawaran
Mengevaluasi kelengkapan dokumen penawaran harga serta koreksi aritmatik.
 - b) Evaluasi Kewajaran Harga
Harga penawaran kontraktor harus lebih rendah dari Harga Perkiraan Sendiri (HPS) atau *Owner Estimate* (OE)
5. Penilaian Kualifikasi
 - a) Penelitian Administrasi (lulus/gugur)
 - b) Penilaian Keuangan
Yaitu Dukungan Bank (DB) dan Sisa Kemampuan Keuangan (SKK).

- c) Penilaian Teknis
Yaitu Kemampuan Dasar (KD), pengalaman perusahaan (*scoring*), personil, peralatan, serta manajemen mutu.
- d) Ambang Lulus (*passing grade*)
- e) Sisa Kemampuan Paket (SKP)

f. Data dan Hasil Penelitian

1. Proyek pembangunan gedung kuliah kampus Politeknik Negeri Bandung:
 - Jenis proyek : Proyek pemerintah
 - Nilai proyek : <Rp.50.000.000.000,00 (lima puluh milyar rupiah)
 - Panitia pengadaan : CV. Mentaya Mitra Cipta
 - Metode pemilihan : Pelelangan umum (pascakualifikasi)
 - Metode evaluasi penawaran : Sistem Nilai (metode satu sampul)
2. Bobot Evaluasi Teknis dan Biaya



Gambar 2.1 Sistem Nilai.

3. Kombinasi Bobot Evaluasi Teknis dan Evaluasi Biaya
Penentuan kombinasi persentase bobot evaluasi teknis dan biaya tersebut diambil dengan perbandingan 60:40 dan 80:20 karena merupakan persentase batas

maksimum dan batas minimum seperti yang tercantum dalam Keppres No. 80 Tahun 2003. Evaluasi dilakukan terhadap 3 (tiga) calon kontraktor dengan urutan nilai tertinggi, yaitu PT. Sinarindo, PT. Bina Profitama Mandiri dan PT. Arkindo.

Tabel 2.1 Kombinasi bobot evaluasi teknis dan evaluasi biaya.

Data	Bobot Evaluasi Teknis (%)	Bobot Evaluasi Biaya (%)
Panitia Lelang	70	30
Kombinasi I	60	40
Kombinasi II	80	20

4. Hasil Evaluasi Administrasi

Tabel 2.2 Hasil Evaluasi Administrasi.

No.	Uraian	PT. Sinarindo	PT. Bina P.M.	PT. Arkindo
1.	Surat Penawaran	✓	✓	✓
	a. Tanda tangan pemimpin/direktur atau penerima kuasa dari pemimpin/direktur	✓	✓	✓
	b. Materai dan bertanggal	✓	✓	✓
	c. Jangka waktu berlaku penawaran tidak kurang dari 60 hari terhitung dari tanggal penawaran	✓	✓	✓
	d. Isi surat penawaran sesuai yang disyaratkan	✓	✓	✓
2.	Jaminan Penawaran	✓	✓	✓
	a. Diterbitkan oleh Bank Umum (tidak termasuk bank perkreditan rakyat) atau oleh perusahaan asuransi yang mempunyai program kerugian asuransi (<i>surety bond</i>)	✓	✓	✓
	b. Masa berlakunya jaminan penawaran tidak kurang dari 90 hari terhitung dari tanggal penawaran	✓	✓	✓
	c. Nama penawar yang tercantum dalam surat jaminan penawaran sama dengan nama yang tercantum dalam surat penawaran	✓	✓	✓
	d. Nilai jaminan penawaran 1% - 3% dari Harga Penawaran	✓	✓	✓
	e. Besaran nilai jaminan penawaran dicantumkan dalam angka dan huruf	✓	✓	✓

Tabel 2.2 lanjutan.				
	f. Nama Pengguna Jasa yang menerima jaminan penawaran sesuai	✓	✓	✓
	g. Paket pekerjaan yang dijamin sesuai	✓	✓	✓
	h. Isi surat jaminan penawaran sesuai	✓	✓	✓
3	Surat Kuasa	-	✓	-
4	Surat Pernyataan Bukan PNS dan Anggota TNI/POLRI	✓	✓	✓
5	Referensi Bank sesuai dengan pekerjaan yg dilelangkan	✓	✓	✓
6	Surat Pernyataan Kesiadaan dimasukkan dalam daftar hitam apabila memberikan data yang tidak benar	✓	✓	✓
7	Dokumen Penawaran Teknis	✓	✓	✓
8	Dokumen Kualifikasi	✓	✓	✓
9	Dokumen Penawaran Biaya	✓	✓	✓
	Penilaian	Lulus	Lulus	Lulus

5. Hasil Evaluasi Teknik

Tabel 2.3 Hasil evaluasi teknik.

No.	Evaluasi Teknis	Ran ge Poin t	Point			Rata- Rata	Bobot	Nilai
			Penilai 1	Penilai 2	Penilai 3	(a)	(b)	$N = (a \times b)$
1.	Metoda Pelaksanaan	0 - 1						
	Bobot = 30							
	a. Tim Kerja		0.000	0.000	0.700	0.233	2.500	0.583
	b. Tugas masing-masing Tim		0.900	0.700	0.700	0.767	2.500	1.917
	c. Teknis Pelaksanaan		0.800	0.800	0.900	0.833	5.000	4.167
	d. Proyeksi terhadap waktu pelaksanaan		0.800	0.800	1.000	0.867	5.000	4.333
	e. Progress Prioritas		0.800	0.900	0.000	0.567	5.000	2.833
	f. Lay Out Area Kerja		1.000	1.000	1.000	1.000	2.500	2.500
	g. Gambar tahapan kerja serta penggunaan alat		0.800	0.700	0.800	0.767	7.500	5.750
						Jumlah	30.000	22.083
2.	Jadwal Waktu Pelaksanaan	0 - 1						
	Bobot = 20							
	a. Network Planning		1.000	1.000	0.800	0.933	15.000	14.000
	b. Time Schedule (S Curve)		1.000	1.000	0.900	0.967	5.000	4.833
						Jumlah	20.000	18.833
3.	Spesifikasi Teknis	0 - 1						
	Bobot = 10							
	a. Dukungan Alat		0.900	1.000	1.000	0.967	5.000	4.833
	b. Dukungan dari Supplier		0.000	0.000	0.000	0.000	5.000	0.000
						Jumlah	10.000	4.833

6. Hasil Evaluasi Biaya

Evaluasi Biaya dilakukan menggunakan sistem *scoring* item harga penawaran terhadap *Owner Estimate (OE)* dengan syarat berikut ini.

Tabel 2.4 Hasil evaluasi biaya.

> 110 % = 0

Range (%) thd OE	Point
109.1 - 110	0.063
108.1 - 109	0.125
107.1 - 108	0.188
106.1 - 107	0.250
105.1 - 106	0.313
104.1 - 105	0.375
103.1 - 104	0.438
102.1 - 103	0.500
101.1 - 102	0.563
100.1 - 101	0.625
99.1 - 100	0.688
98.1 - 99	0.750
97.1 - 98	0.813
96.1 - 97	0.875
95.1 - 96	0.938
94.1 - 95	1.000
93.1 - 94	0.960
92.1 - 93	0.920
91.1 - 92	0.880
90.1 - 91	0.840

Range (%) thd OE	Point
89.1 - 90	0.800
88.1 - 89	0.760
87.1 - 88	0.720
86.1 - 87	0.680
85.1 - 86	0.640
84.1 - 85	0.600
83.1 - 84	0.560
82.1 - 83	0.520
81.1 - 82	0.480
80.1 - 81	0.440
79.1 - 80	0.400
78.1 - 79	0.360
77.1 - 78	0.320
76.1 - 77	0.280
75.1 - 76	0.240
74.1 - 75	0.200
73.1 - 74	0.160
72.1 - 73	0.120
71.1 - 72	0.080
70 - 71	0.040

< 70 % = 0

7. Penilaian Kualifikasi

7.a. PT. ARKINDO

Tabel 2.5 Penilaian Administrasi (Lulus/Gugur).

No.	Uraian	Keterangan
1	Surat Ijin Usaha Jasa Konstruksi (SIUJK)	√
2	Sertifikat Badan Usaha (SBU)	√
3	Pengalaman 7 (tujuh) tahun Terakhir	√
4	Pelunasan Pajak tahun terakhir (SPTIPPH) dan Laporan PPH 25/21/23	√
	PPN 3 (tiga) bulan terakhir	
5	Kemampuan pada bidang/ subbidang yang sesuai	√
6	Memenuhi KD = 2Npt dalam kurun waktu 7 (tujuh) tahun terakhir	√

Tabel 2.5 lanjutan.		
7	Melengkapi formulir dokumen kualifikasi:	
	a. Data Administrasi	√
	b. Ijin Usaha	√
	c. Landasan Hukum Pendirian Perusahaan	√
	d. Pengurus Perusahaan	√
	e. Data Keuangan:	
	- Susunan Kepemilikan saham	√
	- Pajak	√
	- Neraca Perusahaan	√
	f. Data Personalia	√
	g. Data Peralatan/Perlengkapan	√
	h. Data Pengalaman Perusahaan	√
	i. Data Pekerjaan yang dilaksanakan	√
	j. Modal Kerja	√
8	Surat Keterangan Dukungan Bank (minimum 10% dari Nilai Proyek)	√
9	Kemampuan dalam penyediaan fasilitas peralatan	√
10	Menandatangani Pakta Integritas	√
11	Surat Pernyataan Kemampuan usaha	√
12	Memiliki Sisa Kemampuan Keuangan (SKK) dan Sisa Kemampuan Pekerjaan (SKP)	√
13	Surat Pernyataan Secara Hukum Mempunyai Kapasitas Menandatangani Kontrak Pengadaan Jasa Pemborongan	√
14	Surat Pernyataan Tidak dalam Pengawasan Pengadilan	√
15	Surat Pernyataan Tidak Masuk dalam Daftar Hitam/ sanksi di suatu Instansi	√
16	Surat pernyataan Kebenaran Data	√
17	Surat Pernyataan Bukan Pegawai Negeri Sipil Anggota 1 / POLRI	√
PENILAIAN		LULUS

Tabel 2.6 Penilaian Keuangan dan Teknis.

No.	Uraian	Keterangan	Point	Bobot	Nilai
			(a)	(b)	(a x b)
2.	Penilaian Keuangan				
	a. Dukungan Bank (DB)	a. Menyerahkan Dukungan Bank sebesar 10% dari Nilai Penawaran Pekerjaan	1.00	2.50	2.50
	Nilai Maksimum = 2,5	b. Tidak menyerahkan	0.00		
	Nilai < 2,5 = Gugur				
		Penilaian			2.50
			LULUS		
	b. Sisa Kemampuan Keuangan (SKK)	a. SKK \geq 0,7 Nilai Paket Pekerjaan	1.00	7.50	7.50
	Nilai Maksimum = 7,5	b. SKK < 0,7 Nilai Paket Pekerjaan	0.00		
	Nilai < 7,5 = Gugur				
		Penilaian			7.50
			LULUS		
3.	Penilaian Teknis				
	a. Kemampuan Dasar (KD)	a. KD \geq Nilai Paket Pekerjaan			√
		b. KD < Nilai Paket Pekerjaan			
	Nilai Maksimum = 90				
	Nilai Minimum = 42.5				
	Nilai < 42.5 = Gugur				
		Penilaian			LULUS
	b. Pengalaman Perusahaan				
	Nilai Maksimum = 50				
	Nilai Minimum = 15				
	Nilai < 15 = Gugur				
	b.1 Bidang Pekerjaan				
	Nilai Maksimum = 20				
	- Pengalaman dalam bidang dan sub bidang yang sama dengan pekerjaan yang dilelangkan Bobot = 15	a. > 5 proyek	1.00		
		b. 5 proyek	0.90		
		c. 2 - 4 proyek	0.75	15.00	11.25
		d. 1 proyek	0.25		
	- Pengalaman dalam bidang yang sama tapi sub bidang yg berbeda Bobot = 5	a. > 5 proyek	1.00		
		b. 2 - 5 proyek	0.60		
		c. 1 proyek	0.25		
	b.2 Penilaian Besarnya Nilai Kontrak				
	Nilai Maksimum = 20 Bila Nilai Pekerjaan yang akan dilelangkan = X,	a. Nilai Kontrak \geq X	1.00	20.00	20.00
		b. $0.5 X \leq$ nilai kontrak < X	0.50		
		c. Nilai Kontrak < 0.5 X	0.00		
	b.3 Status Penyedia Jasa				
	Nilai Maksimum = 10	a. Kontraktor utama/ <i>Lead firm</i> J.O	1.00	10.00	10.00
		b. Sub Kontraktor/Anggota J.O	0.30		
		Penilaian			41.25
			LULUS		

Keterangan: KD = Rp. 13.310.000.000,00; SKK = Rp. 40.608.246.000,00

Tabel 2.7 Penilaian Personil, Nilai Maksimum = 20, Nilai Minimum = 5, Nilai < 5 = Gugur

No.	Posisi	Pendidikan	Pengalaman	SKA/SKT	Point	Bobot	Nilai	
				(a)	(b)	(c)	(a x b x c)	
1.	<i>Project Manager</i> Bobot = 3.0	S1 / S2 (Sipil/Arsitek)	a. > 10 tahun	1.00	1.00	3.00	3.00	
			b. 5 - 10 tahun		0.75			
			c. 2 - 4 tahun		0.50			
			d. 1 tahun		0.25			
2.	<i>Site Manager</i> Bobot = 2.5	S1 (Sipil/Arsitek)	a. > 8 tahun	1.00	1.00	2.50	2.50	
			b. 5 - 8 tahun		0.75			
			c. 2 - 4 tahun		0.50			
			d. 1 tahun		0.25			
		D3 Sipil	a. > 15 tahun		1.00			
			b. 10-15 tahun		0.75			
			c. 5 - 10 tahun		0.50			
			d. < 5 tahun		0.25			
3.	Ahli Struktur Bobot = 2.3	S1 Sipil	a. > 6 tahun	1.00	1.00	2.30	2.30	
			b. 4 - 6 tahun		0.75			
			c. 2 - 3 tahun		0.50			
			d. 1 tahun		0.25			
		D3 Sipil	a. > 10 tahun		1.00			
			b. 5 - 10 tahun		0.75			
			c. 2 - 4 tahun		0.50			
			d. 1 tahun		0.25			
4.	Ahli Arsitektur Bobot = 2.2	S1 Arsitek	a. > 6 tahun	1.00	1.00	2.20	2.20	
			b. 4 - 6 tahun		0.75			
			c. 2 - 3 tahun		0.50			
			d. 1 tahun		0.25			
		D3 Arsitek	a. > 10 tahun		1.00			
			b. 5 - 10 tahun		0.75			
			c. 2 - 4 tahun		0.50			
			d. 1 tahun		0.25			
5.	Ahli ME Bobot = 2.0	S1 Elektro	a. > 6 tahun	1.00	1.00	2.00	2.00	
			b. 4 - 6 tahun		0.75			
			c. 2 - 3 tahun		0.50			
			d. 1 tahun		0.25			
		D3 Elektro	a. > 10 tahun		1.00			
			b. 5 - 10 tahun		0.75			
			c. 2 - 4 tahun		0.50			
			d. 1 tahun		0.25			
6.	Pelaksana Bobot = 2.0	S1 (Sipil/Arsitek)	a. > 6 tahun	1.00	1.00	2.00	2.00	
			b. 4 - 6 tahun		0.75			
			c. 2 - 3 tahun		0.50			
			d. 1 tahun		0.25			
		D3 (Sipil/Arsitek)	a. > 10 tahun		1.00			
			b. 5 - 10 tahun		0.75			
			c. 2 - 4 tahun		0.50			
			d. 1 tahun		0.25			
7.	Suveyor Bobot = 1.4	STM	a. > 10 tahun	1.00	1.00	1.40	1.40	
			b. 5 - 10 tahun		0.75			
			c. 2 - 4 tahun		0.50			
			d. 1 tahun		0.25			
8.	Petugas Logistik Bobot = 1.3	STM	a. > 10 tahun	1.00	1.00	1.30	1.30	
			b. 5 - 10 tahun		0.75			
			c. 2 - 4 tahun		0.50			
			d. 1 tahun		0.25			
9.	<i>Quality Control</i> Bobot = 1.3	D3 Sipil	a. > 10 tahun	1.00	1.00	1.30	1.30	
			b. 5 - 10 tahun		0.75			
			c. 2 - 4 tahun		0.50			
			d. 1 tahun		0.25			
10.	Adm dan Keu Bobot = 1.0	D3 Ekonomi	a. > 10 tahun	1.00	1.00	1.00	1.00	
			b. 5 - 10 tahun		0.75			
			c. 2 - 4 tahun		0.50			
			d. 1 tahun		0.25			
11.	<i>Drafter</i> Bobot = 1.0	D3 Sipil	a. > 10 tahun	1.00	1.00	1.00	1.00	
			b. 5 - 10 tahun		0.75			
			c. 2 - 4 tahun		0.50			
			d. 1 tahun		0.25			
Jumlah						20.00		
PENILAIAN						LULUS		

**Tabel 2.8 Penilaian Peralatan; Nilai Maksimum = 15, Nilai Minimum = 7.5,
Nilai < 7.5 = Gugur**

No.	Jenis Alat	Kepemilikan Peralatan	Bukti	Point	Bobot	Nilai
			(a)	(b)	(c)	(a x b x c)
1.	<i>Excavator Standard</i> Bobot = 2,0	a. Milik Sendiri		1.00		
		b. Sewa Beli		1.00		
		c. Sewa Jangka Panjang		0.90		
		d. Sewa Jangka Pendek	1.00	0.50	2.00	1.00
2.	<i>Dump Truck</i> Bobot = 2,0	a. Milik Sendiri		1.00		
		b. Sewa Beli		1.00		
		c. Sewa Jangka Panjang		0.90		
		d. Sewa Jangka Pendek	1.00	0.50	2.00	1.00
3.	<i>Jack Hammer</i> Bobot = 1,0	a. Milik Sendiri	1.00	1.00	1.00	1.00
		b. Sewa Beli		1.00		
		c. Sewa Jangka Panjang		0.90		
		d. Sewa Jangka Pendek		0.50		
4.	Mesin Las Bobot = 1,0	a. Milik Sendiri	1.00	1.00	1.00	1.00
		b. Sewa Beli		1.00		
		c. Sewa Jangka Panjang		0.90		
		d. Sewa Jangka Pendek		0.50		
5.	<i>Hand Stamper</i> Bobot = 1,0	a. Milik Sendiri	1.00	1.00	1.00	1.00
		b. Sewa Beli		1.00		
		c. Sewa Jangka Panjang		0.90		
		d. Sewa Jangka Pendek		0.50		
6.	<i>Concrete Mixer</i> Bobot = 1,5	a. Milik Sendiri	1.00	1.00	1.50	1.50
		b. Sewa Beli		1.00		
		c. Sewa Jangka Panjang		0.90		
		d. Sewa Jangka Pendek		0.50		
7.	<i>Concrete Vibrator</i> Bobot = 1,5	a. Milik Sendiri	1.00	1.00	1.50	1.50
		b. Sewa Beli		1.00		
		c. Sewa Jangka Panjang		0.90		
		d. Sewa Jangka Pendek		0.50		
8.	<i>Water Pump dia 4"</i> Bobot = 1,0	a. Milik Sendiri	0.75	1.00	1.00	0.75
		b. Sewa Beli		1.00		
		c. Sewa Jangka Panjang		0.90		
		d. Sewa Jangka Pendek		0.50		
9.	<i>Genset</i> Bobot = 1,0	a. Milik Sendiri	1.00	1.00	1.00	1.00
		b. Sewa Beli		1.00		
		c. Sewa Jangka Panjang		0.90		
		d. Sewa Jangka Pendek		0.50		
10.	<i>Bar Cutter</i> Bobot = 1,0	a. Milik Sendiri	1.00	1.00	1.00	1.00
		b. Sewa Beli		1.00		
		c. Sewa Jangka Panjang		0.90		
		d. Sewa Jangka Pendek		0.50		
11.	<i>Bar Bender</i> Bobot = 1,0	a. Milik Sendiri	1.00	1.00	1.00	1.00
		b. Sewa Beli		1.00		
		c. Sewa Jangka Panjang		0.90		
		d. Sewa Jangka Pendek		0.50		
12.	<i>Theodolite + Water Pass</i> Bobot = 1,0	a. Milik Sendiri	1.00	1.00	1.00	1.00
		b. Sewa Beli		1.00		
		c. Sewa Jangka Panjang		0.90		
		d. Sewa Jangka Pendek		0.50		
Jumlah						13.00
PENILAIAN						LULUS

Tabel 2.9 Manajemen Mutu, Nilai Maksimum = 5

No.	Uraian	Point	Bobot	Nilai
		(a)	(b)	$N = (a \times b)$
1.	Menyampaikan program mutu	1.00		
2.	Tidak menyampaikan program mutu	0.00	5.00	0.00
Jumlah				0.00

Tabel 2.10 Ambang Lulus (*Passing Grade*)

Nilai ambang lulus adalah 70 untuk pekerjaan yang tidak kompleks.

No.	Uraian	Nilai	Keterangan
1.	Kelengkapan Dokumen Kualifikasi		
2.	Penilaian Keuangan		
	a. Dukungan Bank	2.50	LULUS
	b. Sisa Kemampuan Keuangan	7.50	LULUS
Jumlah 1		10.00	
3.	Penilaian Teknis		
	a. Kemampuan Dasar (KD)	OK	LULUS
	b. Pengalaman Perusahaan	41.25	LULUS
	c. Personil	20.00	LULUS
	d. Peralatan	13.00	LULUS
	e. Manajemen Mutu	0.00	
Jumlah 2		74.25	
TOTAL		84.25	
PENILAIAN		LULUS	

Sisa Kemampuan Paket (SKP)

Bagi penyedia jasa yang masih mempunyai nilai SKP dinyatakan lulus kualifikasi.

$$\text{SKP} = \text{KP} - (\text{jumlah paket yang sedang dikerjakan})$$

KP = Kemampuan menangani paket pekerjaan

Untuk penyedia jasa usaha menengah KP = 5

$$\text{Maka, SKP} = 5 - 0 = 5$$

$$\text{PENILAIAN} = \text{LULUS}$$

7.b. PT. SINARINDO

Tabel 2.11 Penilaian Administrasi (Lulus/Gugur).

No.	Uraian	Keterangan
1	Surat Ijin Usaha Jasa Konstruksi (SIUJK)	√
2	Sertifikat Badan Usaha (SBU)	√
3	Pengalaman 7 (tujuh) tahun Terakhir	√
4	Pelunasan Pajak tahun terakhir (SPTIPPH) dan Laporan PPH 25/21/23	√
	PPN 3 (tiga) bulan terakhir	
5	Kemampuan pada bidang/ subbidang yang sesuai	√
6	Memenuhi KD = 2NPt dalam kurun waktu 7 (tujuh) tahun terakhir	√
7	Melengkapi formulir dokumen kualifikasi:	
	a. Data Administrasi	√
	b. Ijin Usaha	√
	c. Landasan Hukum Pendirian Perusahaan	√
	d. Pengurus Perusahaan	√
	e. Data Keuangan:	
	- Susunan Kepemilikan saham	√
	- Pajak	√
	- Neraca Perusahaan	√
	f. Data Personalia	√
	g. Data Peralatan/Perlengkapan	√
	h. Data Pengalaman Perusahaan	√
	i. Data Pekerjaan yang dilaksanakan	√
	j. Modal Kerja	√
8	Surat Keterangan Dukungan Bank (minimum 10% dari Nilai Proyek)	√
9	Kemampuan dalam penyediaan fasilitas peralatan	√
10	Menandatangani Pakta Integritas	√
11	Surat Pernyataan Kemampuan usaha	√
12	Memiliki Sisa Kemampuan Keuangan (SKK) dan Sisa Kemampuan Pekerjaan (SKP)	√
13	Surat Pernyataan Secara Hukum Mempunyai Kapasitas Menandatangani Kontrak Pengadaan Jasa Pemborongan	√
14	Surat Pernyataan Tidak dalam Pengawasan Pengadilan	√
15	Surat Pernyataan Tidak Masuk dalam Daftar Hitam/ sanksi di suatu Instansi	√
16	Surat pernyataan Kebenaran Data	√
17	Surat Pernyataan Bukan Pegawai Negeri Sipil Anggota 1 / POLRI	√
PENILAIAN		LULUS

Tabel 2.12 Penilaian Keuangan dan Teknis.

No.	Uraian	Keterangan	Point	Bobot	Nilai
			(a)	(b)	(a x b)
2.	Penilaian Keuangan				
	a. Dukungan Bank (DB)	a. Menyerahkan Dukungan Bank sebesar 10% dari Nilai Penawaran Pekerjaan	1.00	2.50	2.50
	Nilai Maksimum = 2,5	b. Tidak menyerahkan	0.00		
	Nilai < 2,5 = Gugur				
		Penilaian			2.50
					LULUS
	b. Sisa Kemampuan Keuangan (SKK)	a. $SKK \geq 0,7$ Nilai Paket Pekerjaan	1.00	7.50	7.50
	Nilai Maksimum = 7,5	b. $SKK < 0,7$ Nilai Paket Pekerjaan	0.00		
	Nilai < 7,5 = Gugur				
		Penilaian			7.50
					LULUS
3.	Penilaian Teknis				
	a. Kemampuan Dasar (KD)	a. $KD \geq$ Nilai Paket Pekerjaan			√
		b. $KD <$ Nilai Paket Pekerjaan			
	Nilai Maksimum = 90				
	Nilai Minimum = 42.5				
	Nilai < 42.5 = Gugur				
		Penilaian			LULUS
	b. Pengalaman Perusahaan				
	Nilai Maksimum = 50				
	Nilai Minimum = 15				
	Nilai < 15 = Gugur				
	b.1 Bidang Pekerjaan				
	Nilai Maksimum = 20				
	- Pengalaman dalam bidang dan sub bidang yang sama dengan pekerjaan yang dilelangkan Bobot = 15	a. > 5 proyek	1.00		
		b. 5 proyek	0.90	15.00	13.50
		c. 2 - 4 proyek	0.75		
		d. 1 proyek	0.25		
	- Pengalaman dalam bidang yang sama tapi sub bidang yg berbeda Bobot = 5	a. > 5 proyek	1.00		
		b. 2 - 5 proyek	0.60		
		c. 1 proyek	0.25		
	b.2 Penilaian Besarnya Nilai Kontrak	a. Nilai Kontrak $\geq X$	1.00	20.00	20.00
	Nilai Maksimum = 20	b. $0.5 X \leq$ nilai kontrak $< X$	0.50		
	Bila Nilai Pekerjaan yang akan dilelangkan = X,	c. Nilai Kontrak $< 0.5 X$	0.00		
	b.3 Status Penyedia Jasa	a. Kontraktor utama/Lead firm J.O	1.00	10.00	10.00
	Nilai Maksimum = 10	b. Sub Kontraktor/Anggota J.O	0.30		
		Penilaian			43.50
					LULUS

Keterangan: Keterangan: KD = Rp. 23.322.672.000,00; SKK = Rp. 18.664.787.299,20

Tabel 2.13 Penilaian Personil, Nilai Maksimum = 20, Minimum = 5, < 5 = Gugur

No.	Posisi	Pendidikan	Pengalaman	SKA/SKT	Point	Bobot	Nilai	
				(a)	(b)	(c)	(a x b x c)	
1.	<i>Project Manager</i> Bobot = 3.0	S1 / S2 (Sipil/Arsitek)	a. > 10 tahun	0.50	1.00	3.00	1.50	
			b. 5 - 10 tahun		0.75			
			c. 2 - 4 tahun		0.50			
			d. 1 tahun		0.25			
2.	<i>Site Manager</i> Bobot = 2.5	S1 (Sipil/Arsitek)	a. > 8 tahun	1.00	1.00	2.50	2.50	
			b. 5 - 8 tahun		0.75			
			c. 2 - 4 tahun		0.50			
			d. 1 tahun		0.25			
		D3 Sipil	a. > 15 tahun		1.00			
			b. 10-15 tahun		0.75			
			c. 5 - 10 tahun		0.50			
			d. < 5 tahun		0.25			
3.	Ahli Struktur Bobot = 2.3	S1 Sipil	a. > 6 tahun	0.50	1.00	2.30	1.15	
			b. 4 - 6 tahun		0.75			
			c. 2 - 3 tahun		0.50			
			d. 1 tahun		0.25			
		D3 Sipil	a. > 10 tahun		1.00			
			b. 5 - 10 tahun		0.75			
			c. 2 - 4 tahun		0.50			
			d. 1 tahun		0.25			
4.	Ahli Arsitektur Bobot = 2.2	S1 Arsitek	a. > 6 tahun	0.50	1.00	2.20	1.10	
			b. 4 - 6 tahun		0.75			
			c. 2 - 3 tahun		0.50			
			d. 1 tahun		0.25			
		D3 Arsitek	a. > 10 tahun		1.00			
			b. 5 - 10 tahun		0.75			
			c. 2 - 4 tahun		0.50			
			d. 1 tahun		0.25			
5.	Ahli ME Bobot = 2.0	S1 Elektro	a. > 6 tahun	0.50	1.00	2.00	1.00	
			b. 4 - 6 tahun		0.75			
			c. 2 - 3 tahun		0.50			
			d. 1 tahun		0.25			
		D3 Elektro	a. > 10 tahun		1.00			
			b. 5 - 10 tahun		0.75			
			c. 2 - 4 tahun		0.50			
			d. 1 tahun		0.25			
6.	Pelaksana Bobot = 2.0	S1 (Sipil/Arsitek)	a. > 6 tahun	1.00	1.00	2.00	2.00	
			b. 4 - 6 tahun		0.75			
			c. 2 - 3 tahun		0.50			
			d. 1 tahun		0.25			
		D3 (Sipil/Arsitek)	a. > 10 tahun		1.00			
			b. 5 - 10 tahun		0.75			
			c. 2 - 4 tahun		0.50			
			d. 1 tahun		0.25			
7.	Suveyor Bobot = 1.4	STM	a. > 10 tahun	1.00	1.00	1.40	1.40	
			b. 5 - 10 tahun		0.75			
			c. 2 - 4 tahun		0.50			
			d. 1 tahun		0.25			
8.	Petugas Logistik Bobot = 1.3	STM	a. > 10 tahun	0.50	1.00	1.30	0.65	
			b. 5 - 10 tahun		0.75			
			c. 2 - 4 tahun		0.50			
			d. 1 tahun		0.25			
9.	<i>Quality Control</i> Bobot = 1.3	D3 Sipil	a. > 10 tahun	0.50	1.00	1.30	0.65	
			b. 5 - 10 tahun		0.75			
			c. 2 - 4 tahun		0.50			
			d. 1 tahun		0.25			
10.	Adm dan Keu Bobot = 1.0	D3 Ekonomi	a. > 10 tahun	1.00	1.00	1.00	1.00	
			b. 5 - 10 tahun		0.75			
			c. 2 - 4 tahun		0.50			
			d. 1 tahun		0.25			
11.	<i>Drafter</i> Bobot = 1.0	D3 Sipil	a. > 10 tahun		1.00			
			b. 5 - 10 tahun	0.50	0.75	1.00	0.38	
			c. 2 - 4 tahun		0.50			
			d. 1 tahun		0.25			
Jumlah						13.33		
PENILAIAN						LULUS		

Tabel 2.14 Penilaian Peralatan; Maksimum = 15, Minimum = 7.5, < 7.5 = Gugur

No.	Jenis Alat	Kepemilikan Peralatan	Bukti	Point	Bobot	Nilai
			(a)	(b)	(c)	(a x b x c)
1.	<i>Excavator Standard</i> Bobot = 2,0	a. Milik Sendiri		1.00		
		b. Sewa Beli		1.00		
		c. Sewa Jangka Panjang		0.90		
		d. Sewa Jangka Pendek	1.00	0.50	2.00	1.00
2.	<i>Dump Truck</i> Bobot = 2,0	a. Milik Sendiri		1.00		
		b. Sewa Beli		1.00		
		c. Sewa Jangka Panjang		0.90		
		d. Sewa Jangka Pendek	1.00	0.50	2.00	1.00
3.	<i>Jack Hammer</i> Bobot = 1,0	a. Milik Sendiri	1.00	1.00	1.00	1.00
		b. Sewa Beli		1.00		
		c. Sewa Jangka Panjang		0.90		
		d. Sewa Jangka Pendek		0.50		
4.	Mesin Las Bobot = 1,0	a. Milik Sendiri	1.00	1.00	1.00	1.00
		b. Sewa Beli		1.00		
		c. Sewa Jangka Panjang		0.90		
		d. Sewa Jangka Pendek		0.50		
5.	<i>Hand Stamper</i> Bobot = 1,0	a. Milik Sendiri	1.00	1.00	1.00	1.00
		b. Sewa Beli		1.00		
		c. Sewa Jangka Panjang		0.90		
		d. Sewa Jangka Pendek		0.50		
6.	<i>Concrete Mixer</i> Bobot = 1,5	a. Milik Sendiri	1.00	1.00	1.50	1.50
		b. Sewa Beli		1.00		
		c. Sewa Jangka Panjang		0.90		
		d. Sewa Jangka Pendek		0.50		
7.	<i>Concrete Vibrator</i> Bobot = 1,5	a. Milik Sendiri	1.00	1.00	1.50	1.50
		b. Sewa Beli		1.00		
		c. Sewa Jangka Panjang		0.90		
		d. Sewa Jangka Pendek		0.50		
8.	<i>Water Pump dia 4"</i> Bobot = 1,0	a. Milik Sendiri	1.00	1.00	1.00	1.00
		b. Sewa Beli		1.00		
		c. Sewa Jangka Panjang		0.90		
		d. Sewa Jangka Pendek		0.50		
9.	<i>Genset</i> Bobot = 1,0	a. Milik Sendiri	1.00	1.00	1.00	1.00
		b. Sewa Beli		1.00		
		c. Sewa Jangka Panjang		0.90		
		d. Sewa Jangka Pendek		0.50		
10.	<i>Bar Cuter</i> Bobot = 1,0	a. Milik Sendiri	0.75	1.00	1.00	0.75
		b. Sewa Beli		1.00		
		c. Sewa Jangka Panjang		0.90		
		d. Sewa Jangka Pendek		0.50		
11.	<i>Bar Bender</i> Bobot = 1,0	a. Milik Sendiri	0.75	1.00	1.00	0.75
		b. Sewa Beli		1.00		
		c. Sewa Jangka Panjang		0.90		
		d. Sewa Jangka Pendek		0.50		
12.	<i>Theodolite + Water Pass</i> Bobot = 1,0	a. Milik Sendiri	0.75	1.00	1.00	0.75
		b. Sewa Beli		1.00		
		c. Sewa Jangka Panjang		0.90		
		d. Sewa Jangka Pendek		0.50		
Jumlah						12.25
PENILAIAN						LULUS

Tabel 2.15 Manajemen Mutu, Nilai Maksimum = 5

No.	Uraian	Point	Bobot	Nilai
		(a)	(b)	$N = (a \times b)$
1.	Menyampaikan program mutu	1.00	5.00	5.00
2.	Tidak menyampaikan program mutu	0.00		
Jumlah				5.00

Tabel 2.16 Ambang Lulus (*Passing Grade*)

Nilai ambang lulus adalah 70 untuk pekerjaan yang tidak kompleks.

No.	Uraian	Point	Bobot	Nilai
		(a)	(b)	$N = (a \times b)$
1.	Menyampaikan program mutu	1.00	5.00	5.00
2.	Tidak menyampaikan program mutu	0.00		
Jumlah				5.00

Sisa Kemampuan Paket (SKP)

Bagi penyedia jasa yang masih mempunyai nilai SKP dinyatakan lulus kualifikasi.

$$SKP = KP - (\text{jumlah paket yang sedang dikerjakan})$$

KP = Kemampuan menangani paket pekerjaan

Untuk penyedia jasa usaha menengah KP = 5

$$\text{Maka, } SKP = 5 - 0 = 5$$

PENILAIAN = LULUS

g. Usulan Nominasi Pemenang

Usulan nominasi pemenang ditentukan oleh panitia pengadaan berdasarkan hasil evaluasi dokumen penawaran. Kemudian, hasil evaluasi gabungan teknis dan biaya yang diperoleh dari masing-masing calon penyedia barang/jasa tersebut diurutkan dari nilai tertinggi sampai terendah dan ditentukan urutan 1, 2 dan 3. Hasil penelitian yang dilakukan terhadap 3 (tiga) perbandingan persentase bobot evaluasi teknis dan biaya sebesar 70:30, 60:40, dan 80:20 memungkinkan terjadinya perubahan urutan calon pemenang lelang.

Tabel 2.17 Bobot Evaluasi Teknis 70% dan Evaluasi Biaya 30% (data asli).

No.	Nama Perusahaan	Evaluasi			Total Nilai (Teknis+Biaya)	Evaluasi Kualifikasi		Rank
		Administrasi	Teknis (70%)	Biaya (30%)		Nilai	Ket.	
2.	PT. Bina Profitama Mandiri	LULUS	74.992	69.615	73.379	81.20	LULUS	2
3.	PT. Duta Tekno Adiprima	LULUS	61.758	63.721	62.347	77.93	LULUS	4
4.	PT. Jaya Jasa	LULUS	66.650	35.433	57.285	86.65	LULUS	5
5.	PT. Mulus Natausaha	LULUS	63.000	68.525	64.657	69.60	GUGUR	
6.	PT. Purna Dharma Perdana	LULUS	40.550	14.405	32.706	56.25	GUGUR	
7.	PT. Sinarindo	LULUS	75.075	74.565	74.922	84.08	LULUS	1
8.	PT. Trie Insanlestari Kst	LULUS	64.246	51.865	60.532	69.91	GUGUR	
9.	PT. Wiga Nusantara Sejati	GUGUR						

Tabel 2.18 Bobot Evaluasi Teknis 60% dan Evaluasi Biaya 40% (data asli).

No.	Nama Perusahaan	Evaluasi			Total Nilai (Teknis+Biaya)	Evaluasi Kualifikasi		Rank
		Administrasi	Teknis (60%)	Biaya (40%)		Nilai	Ket.	
2.	PT. Bina Profitama Mandiri	LULUS	74.992	69.615	72.841	81.20	LULUS	2
3.	PT. Duta Tekno Adiprima	LULUS	61.758	63.721	62.543	77.93	LULUS	4
4.	PT. Jaya Jasa	LULUS	66.650	35.433	54.163	86.65	LULUS	5
5.	PT. Mulus Natausaha	LULUS	63.000	68.525	65.210	69.60	GUGUR	
6.	PT. Purna Dharma Perdana	LULUS	40.550	14.405	30.092	56.25	GUGUR	
7.	PT. Sinarindo	LULUS	75.075	74.565	74.871	84.08	LULUS	1
8.	PT. Trie Insanlestari Kst	LULUS	64.246	51.865	59.293	69.91	GUGUR	
9.	PT. Wiga Nusantara Sejati	GUGUR						

Tabel 2.19 Bobot Evaluasi Teknis 80% dan Evaluasi Biaya 20% (data asli).

No.	Nama Perusahaan	Evaluasi			Total Nilai (Teknis+Biaya)	Evaluasi Kualifikasi		Rank
		Administrasi	Teknis (80%)	Biaya (20%)		Nilai	Ket.	
2.	PT. Bina Profitama Mandiri	LULUS	74.992	69.615	73.916	81.20	LULUS	3
3.	PT. Duta Tekno Adiprima	LULUS	61.758	63.721	62.151	77.93	LULUS	4
4.	PT. Jaya Jasa	LULUS	66.650	35.433	60.407	86.65	LULUS	5
5.	PT. Mulus Natausaha	LULUS	63.000	68.525	64.105	69.60	GUGUR	
6.	PT. Purna Dharma Perdana	LULUS	40.550	14.405	35.321	56.25	GUGUR	
7.	PT. Sinarindo	LULUS	75.075	74.565	74.973	84.08	LULUS	1
8.	PT. Trie Insanlestari Kst	LULUS	64.246	51.865	61.770	69.91	GUGUR	
9.	PT. Wiga Nusantara Sejati	GUGUR						

3. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil evaluasi *Merit Point System* dengan 3 (tiga) kombinasi persentase bobot:

A. Evaluasi teknis 70% dan evaluasi biaya 30% (data asli)

Urutan calon pemenang: PT. Sinarindo, PT. Bina Profitama Mandiri, PT. Arkindo

B. Evaluasi teknis 60% dan evaluasi biaya 40%

Urutan calon pemenang: PT. Sinarindo, PT. Bina Profitama Mandiri, PT. Arkindo

C. Evaluasi teknis 80% dan evaluasi biaya 20%

Urutan calon pemenang: PT. Sinarindo, PT. Arkindo, PT. Bina Profitama Mandiri

Penentuan bobot evaluasi teknis dan biaya penawaran bebas ditentukan oleh panitia pengadaan tergantung dari spesifikasi, kebutuhan perusahaan dan tingkat kompleksitas pekerjaannya, tetapi dengan syarat tidak menyimpang dari ketentuan yang tercantum dalam Keppres No. 80 Tahun 2003. Kombinasi bobot evaluasi teknis dan biaya yang bervariasi akan menyebabkan terjadinya perubahan nilai evaluasi teknis dan biaya sehingga dapat mempengaruhi/mengubah urutan calon pemenang lelang walaupun tidak mengubah nilai evaluasi kualifikasi.

Dalam pengadaan barang/jasa pemborongan proyek pemerintah, harus mengikuti prosedur yang sesuai dengan peraturan-peraturan pemerintah yang tercantum dalam Keppres No. 80 Tahun 2003 dan Kepmen No. 257 Tahun 2004, Perpres No. 8 Tahun 2006, serta peraturan-peraturan lainnya yang berkaitan dengan proses pengadaan. Sebaiknya diberikan nilai standar dalam menentukan bobot penilaian agar dapat dijadikan acuan yang pasti dalam menentukan evaluasi penawaran, baik dalam evaluasi teknis maupun evaluasi biaya penawaran.

DAFTAR PUSTAKA

1. Abduh, M. dan Wirahadikusumah, R. D. 2005. *Model Penilaian Kewajaran Harga Penawaran Kontraktor Dengan Sistem Nilai*. Jurnal Teknik Sipil, ITB, Vol. 12 No.3.
2. Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (BAPPENAS). 2006. *Model Dokumen Pengadaan Nasional Jasa Pemborongan Pascakualifikasi*. Jakarta: Pusat Pengembangan Kebijakan Pengadaan Barang/Jasa Publik.
3. Keputusan Menteri Permukiman dan Prasarana Wilayah Nomor 257. 2004. *Standar dan Pedoman Pengadaan Jasa Konstruksi*. Jakarta: BP. Panca Usaha Putra.
4. Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 61. 2004. *Pedoman Pelaksanaan Pengadaan Barang dan Jasa Pemerintah*. Jakarta: BP. Panca Usaha Putra.

5. Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 80. 2003. *Pedoman Pelaksanaan Pengadaan Barang dan Jasa Pemerintah*. Jakarta: BP. Panca Usaha Putra.
6. Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 8. 2006. *Pedoman Pelaksanaan Pengadaan Barang dan Jasa Pemerintah*. Jakarta: BP. Panca Usaha Putra.
7. Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 70. 2005. *Pedoman Pelaksanaan Pengadaan Barang dan Jasa Pemerintah*. Jakarta: BP. Panca Usaha Putra.
8. Setia Tunggal, Hadi. 2007. *Peraturan Pelaksanaan Undang-undang Jasa Konstruksi*. Jakarta: Harvarindo.
9. Sudarjanto. 2005. *Pedoman Evaluasi Penawaran Pelelangan Nasional Pekerjaan Jasa Pelaksanaan Konstruksi*. Jakarta: Badan Pembinaan Konstruksi dan Investasi.

KAJIAN KELAYAKAN AIR SUNGAI CIKAPUNDUNG SEBAGAI AIR BERSIH

Ginardy Husada¹, Maria Christine², Maria Fransiska³

¹Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha

²Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha

³Dosen Luar Biasa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha

ABSTRAK

Saat ini **air bersih** menjadi langka dan berbagai penyakit yang disebabkan oleh air baku yang sudah terkontaminasi mempengaruhi hampir seluruh penduduk dunia. Indonesia diperkirakan mengalami krisis **air bersih** pada tahun 2025. Air bawah tanah kota Bandung juga dinyatakan dalam keadaan kritis. Oleh karena itu, perlu ditemukan proses pemurnian air dengan metode yang efisien. Penelitian akan dilakukan di kota Bandung dengan fokus air baku dari sungai yang sudah terkontaminasi dan air sumur yang tidak layak dikonsumsi. Air baku tersebut diolah menjadi **air bersih** dengan proses kimia-fisika. Proses **pengolahan air** diamati dan dirancang ke dalam rangkaian alat yang sederhana, murah dan mudah dioperasikan. Penelitian dilakukan di 3 titik aliran sungai Cikapundung dan 1 titik di sungai Cisangkuy Banjaran., dari hasil pemeriksaan air di Laboratorium didapat bahwa air baku sungai Cikapundung sampel 1, 1A dan 1C dan air sungai Cisangkuy sampel 1B masih mudah diolah menjadi air bersih dengan sistem pengendapan semalam sambil diberi kaporit dan tawas kemudian dilakukan penyaringan sederhana, Sedangkan untuk syarat air minum ada beberapa unsur yang harus dikurangi, untuk air baku sungai Cikapundung sampel 1 unsur yang tidak memenuhi yaitu, Besi 0,38, Mangan 0,18 dan Timbal 0,0118, untuk sampel 1A masih memenuhi syarat air minum, untuk sampel 1C unsur yang tidak memenuhi yaitu, Besi 0,43 dan Mangan 0,12. Untuk sampel 1B unsur yang tidak memenuhi yaitu, Besi 0,46 dan Mangan 0,33. Untuk air sumur sampel 1D unsur yang tidak memenuhi sebagai air minum pH 6,06 dan Timbal 0,016. Untuk Penyaringan awal dibutuhkan waktu yang cukup signifikan, sehingga tidak meningkatkan parameter-parameter yang tidak diharapkan. Dari hasil penelitian ini dirancang 2 buah alat penyaringan yaitu : Alat penyaringan dengan 1 tabung dan Alat penyaringan dengan 2 tabung.

Kata Kunci: pengolahan air, air bersih

ABSTRACT

Nowadays, clean water becomes scarce and various diseases caused by contaminated raw water affects almost the entire population of the world. Water crisis is estimated to be occurred in Indonesia by 2025. Ground water in Bandung is also stated in critical condition. Therefore, it is necessary to find the water purification process in an efficient method. Research will be conducted in Bandung focusing on well water that is not consumable and raw water from rivers that have been contaminated. Raw water is treated into clean water with chemical-physical processes. Water treatment process are observed and designed into a series of equipment that are simple, inexpensive and easy to operate. The study was conducted at three spot of Cikapundung River and one spot at the Cisangkuy River at Banjaran. Laboratory inspection found that the raw water sample from Cikapundung River (sample 1, 1A and 1C) and from Cisangkuy River (sample 1B) can be easily treated into clean water by overnight chlorine and alum precipitation system and by a simple filtering system. Meanwhile for the requirement of drinking water, there are several elements that must be reduced; on sample 1: Iron 0.38, Manganese 0.18, Lead 0.0118; sample 1A already complete the requirement of drinking water; on sample 1B: Iron 0.43, and Manganese 0.12; on sample 1C: pH 6,06 and Lead 0,016. Initial filtration should be conducted not in a short-term, because it can increase the unexpected parameters. This research results in the designation of

two types of Water Treatment Equipment, which are: single tube water filtration system and double tube water filtration.

Keywords: water treatment, clean water

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Air merupakan kebutuhan dasar manusia, terutama sebagai air minum. Tingginya modernisasi menyebabkan menurunnya kualitas air. Pada Pekan Lingkungan Indonesia 2009 di Jakarta Convention Centre, 25 Maret 2009, Menteri Lingkungan Hidup, Rachmat Witoelar mengatakan masyarakat dunia tak hanya terancam kelaparan namun juga kehausan. Kelangkaan air paling parah di kawasan Afrika. Sedangkan untuk Asia Tengah adalah Indonesia, khususnya di Jawa dan sepanjang pantai utara. (Fajar Indonesia, 26 Maret 2009).

Data Dinas Pekerjaan Umum menunjukkan sekitar 70 persen populasi Indonesia mengkonsumsi air yang sudah terkontaminasi zat-zat berbahaya. Hampir 100 juta orang Indonesia punya akses terbatas mendapatkan air bersih. Hanya sekitar 4,5 persen penduduk Pulau Jawa, dimana 65 persen penduduk Indonesia tinggal di pulau tersebut, bisa mengkonsumsi air bersih.

Saat ini, pengelolaan sumber daya air di Indonesia masih berorientasi pada sisi penyediaan. Dirjen Sumber Daya Air Departemen PU Basuki Hadimuljono mengatakan "Degradasi air akibat pertambangan, perambahan hutan, eksploitasi air, pencemaran dan peningkatan sedimentasi air di sungai bisa menyebabkan krisis air. Indonesia diperkirakan mengalami krisis air pada 2025." (Westjavawater, 2005)

Setiap tahun kondisi lingkungan hidup cenderung menurun. Selain krisis air, negeri ini juga menjadi langganan bencana alam. Harian Fajar Indonesia (26 Maret 2009) juga mengutip pernyataan Deputi Komunikasi Lingkungan dan Pemberdayaan Manusia Kementerian Lingkungan Hidup, Hendri Bastaman, "Dari 33 propinsi, sekitar 27 propinsi lumayan parah, diantaranya terkena peristiwa longsor dan banjir. Ini yang harus kita carikan solusinya."

Majewski dan Chan, seperti yang dikutip oleh Ewing (2008), menjelaskan bahwa ketersediaan akan air layak minum secara cepat menjadi sebuah masalah sosial-ekonomi di seluruh dunia, terutama di negara berkembang. Teknologi pemurnian air seringkali rumit dan membutuhkan peralatan yang canggih. Selain itu, pemurnian air juga membutuhkan biaya yang mahal dan perawatan yang mahal pula.

Tujuan

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan sebelumnya, maka penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mempelajari karakteristik air sungai Cikapundung di Kota Bandung dan mengolah air sungai Cikapundung yang tidak layak dikonsumsi menjadi air bersih.

Fokus Penelitian

Penelitian dilakukan di Kota Bandung dengan fokus air sungai Cikapundung. Pemilihan sampel dilakukan dengan cara *convenience sampling* di Sungai Cikapundung.. Mengungkap mutu air sungai Cikapundung yang terdapat di Kota Bandung dan Mempelajari proses pengolahan air yang harus dilakukan untuk mendapatkan air bersih.

Tahapan Penelitian

Tahapan dari penelitian ini adalah:

1. Observasi dan dokumentasi pada objek penelitian
2. Mengumpulkan data mengenai air sungai Cikapundung
3. Menganalisis proses pengolahan air tidak layak konsumsi menjadi air bersih.
4. Penulisan laporan

Rumusan Masalah

Tingginya modernisasi di daerah perkotaan, seperti Kota Bandung mengakibatkan kualitas air terus menurun. Pertumbuhan penduduk juga menyebabkan permintaan yang tinggi terhadap air bersih. Pada daerah bencana banjir atau bencana alam lainnya, masyarakat yang terkena musibah membutuhkan air bersih. Oleh karena itu, diperlukan cara penanggulangan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat akan air bersih dan air minum.

2. STUDI PUSTAKA

Kondisi Air Bersih di Kota Bandung

Kepala Dinas Pertambangan Provinsi Jawa Barat, H. Ismail Hasjim, mengemukakan bahwa kondisi cekungan Bandung sudah sangat kritis, sehingga pengawasan pengambilan air bawah tanah (ABT) di zona ini akan diperketat. Bahkan untuk tiga wilayah, yakni kawasan **Ujungberung**, **Leuwigajah** dan **Dayeuhkolot**, pemerintah tidak akan lagi mengeluarkan izin pengambilan ABT.

Sedangkan untuk sumur yang sudah ada, volumenya diperkecil. (Westjavawater, 2005)

Wakil Gubernur Jabar, Nu'man A. Hakim saat membuka Rapat Koordinasi Bidang Pertambangan se-Jabar mengungkapkan bahwa air bawah tanah khususnya di cekungan Bandung harus dikendalikan. Nu'man menekankan masalah ABT cekungan Bandung benar-benar harus ditangani serius. "Kami sempat dipanggil oleh Komisi VIII DPR RI menanyakan keseriusan penanganan air bawah tanah cekungan Bandung. Apabila kondisi ABT dibiarkan terus kritis, tidak akan lama lagi ABT akan habis dan selanjutnya Bandung akan kekurangan air yang hebat," katanya. (Westjavawater, 2005)

Pentingnya Pengolahan Air Bersih

Organisasi kesehatan dunia, WHO (*The World Health Organization*) menerbitkan panduan kualitas air bersih. Panduan ini memberi dasar untuk membantu negara-negara yang ada menciptakan standar air bersih, peraturan dan norma yang sesuai dengan keadaan negara tersebut dan keadaan di sekitarnya. Pemerintah Republik Indonesia juga telah mengeluarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air.

Mr. Bob MacMullan, sekretaris parlemen untuk bantuan pengembangan internasional AUSAID, menyatakan bahwa sanitasi yang baik dan air layak minum adalah sangat penting untuk meningkatkan kesehatan dan hasil pendidikan bagi masyarakat miskin, terutama wanita, anak-anak, dan orang cacat. Kita harus meningkatkan usaha untuk membantu mengurangi proporsi masyarakat yang tidak memiliki akses pada air layak minum dan sanitasi. Hal ini sesuai dengan tujuan pengembangan millennium PBB yang ingin dicapai pada tahun 2015 (AUSAID, 2009).

IBM (2009) juga mengadakan proyek penelitian untuk mendapatkan air bersih. Bob Allen, manajer proyek pemurnian air IBM, menyatakan bahwa saat ini air bersih menjadi langka dan penyakit yang disebabkan oleh air kotor mempengaruhi hampir seluruh penduduk dunia. Oleh karena itu kita harus berpacu untuk menemukan metode yang efisien untuk memurnikan sumber daya

alam ini. IBM saat ini tengah meneliti proses pengolahan air dengan menggunakan teknologi penyaringan membran.

AUSAID pada *Sanitation and Water Conference* yang diadakan di Melbourne Oktober 2008, melaporkan lebih dari 880 juta penduduk dunia yang tidak memiliki akses pada air bersih. Di daerah perkotaan di Indonesia, air minum yang memiliki kualitas baik hanya 68% (Anwar, 2004). Menurut studi yang dilakukan oleh Dep. Kimpraswil tahun 2003, seperti yang dikutip oleh Anwar (2004), penduduk yang memiliki akses terhadap air ledeng hanya 39% dari total penduduk perkotaan atau sekitar 33 juta jiwa.

Ewing (2008) mengutip laporan UNESCO yang berjudul “*Water for People – Water for Life*”. Dalam laporan tersebut dinyatakan lebih dari 6000 orang meninggal setiap harinya akibat penyakit yang disebabkan oleh air, termasuk diare, infeksi cacing, dan penyakit infeksi lainnya. Polutan organik yang berasal dari limbah industri dari pengolahan kertas dan pulp, pabrik tekstil dan kulit, penempaan baja dan pemurnian petrokimia merupakan penyebab utama. Proses pemurnian air dapat membantu mencegah penyakit dan racun yang mengancam jutaan orang.

Menurunnya kualitas air minum dapat menimbulkan berbagai masalah. Kontaminasi mikroba di dalam air minum dapat menimbulkan berbagai penyakit. Oleh karena itu, pengendalian penyakit yang disebabkan oleh air minum merupakan hal yang penting diperhatikan oleh pengelola air minum (LeChevallier dan Au, 2004).

Sebuah studi yang diterbitkan dalam *International Journal of Cancer* pada bulan April 2006 mengemukakan hubungan yang signifikan antara konsumsi air yang mengandung klorin dengan kanker saluran kencing pada pria. McMahon juga mengutip dari *The National Cancer Institute* yang memperkirakan resiko terkena kanker lebih besar 93% pada orang yang mengkonsumsi air yang mengandung klorin. Oleh karena itu proses pemurnian air sangat penting untuk dilakukan. WHO juga membuktikan pada suatu negara yang penduduknya mengkonsumsi air yang terkontaminasi arsenik dalam jangka waktu lama, satu dari sepuluh orang yang meminum air tersebut meninggal akibat kanker yang

disebabkan oleh senyawa arsenik, termasuk kanker paru-paru, saluran kencing, dan kulit.

Pada Tabel 2.1 dijelaskan kontaminasi air dari gas sampai dengan padatan, dampak yang terjadi serta bagaimana proses pemurnian dapat dilakukan juga secara umum bahan dasar air ditemukan. Proses pengolahan yang terbaik harus dipilih untuk memastikan produksi air bersih yang bermutu tinggi. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam pengolahan air bersih antara lain: kualitas air baku, perkiraan konsentrasi bakteri patogen dalam air, pengujian kesesuaian hasil pengolahan air dengan target yang ingin dicapai, dan pemilihan alat ukur untuk mengendalikan operasi pengolahan air (LeChevallier dan Au, 2004).

Tabel 2.1. Kontaminan dalam Air (Enercon Consultancy Services, 2003).

Pengotor	Dampak	Proses Pemurnian	Keterangan
Gas Terlarut			
Hidrogen Sulfida (H ₂ S)	Bau tak sedap, rasa tidak enak, dan korosif terhadap logam	Aerasi, Filtrasi, Klorinasi	Ditemukan pada air bawah tanah, atau aliran air limbah
Karbon Dioksida (CO ₂)	Korosif, membentuk asam karbonat	Deaerasi, Netralisasi dengan alkali	
Oksigen (O ₂)	Korosi dan pemngan pipa	Deaerasi dan perlakuan kimia menggunakan sodium sulfit atau Hydrazin	
Padatan			
Lumpur	Endapan dan kerak	Klarifikasi dan filtrasi	Batas maksimum 5 ppm untuk pemakaian umum, dan 10 ppm untuk air minum
Zat organik (senyawa diatomik, jamur, bakteri dari kotoran, bakteri besi /mangan)	Busa, endapan, pemampatan pipa dan korosi	Klarifikasi, filtrasi dan perlakuan kimia	Ditemukan pada air permukaan akibat pembusukan tanaman dan limbah pertanian. Senyawa organik terurai menjadi asam dan mengakibatkan pH air menjadi rendah
Padatan koloid terlarut			
Minyak	Busa, endapan	Koagulasi dan filtrasi	
Kesadahan: kalsium (Ca) dan magnesium (Mg)	Kerak, isolator panas	Pelunakan air	Berbentuk senyawa bikarbonat, sulfat, dan nitrat.

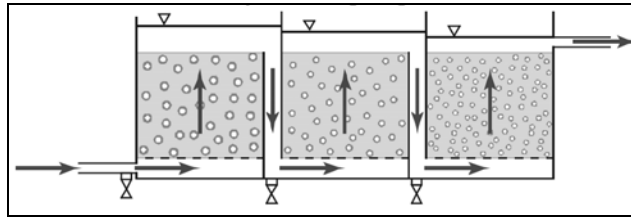
Alkalinitas (NaOH, NaHCO ₃ , Na ₂ CO ₃)	Busa, asam karbonat dapat menyebabkan korosi	Deaerasi, pertukaran ion, deionisasi, dan perlakuan asam	Garam sodium (Na) selalu ditemukan dalam air, sangat mudah larut dan tidak dapat dihilangkan dengan pengendapan kimiawi
Sulfat (SO ₄)	Kerak	Deionisasi	Sodium sulfat banyak ditemukan dalam air, terutama air dimana terjadi pengendapan kalsium dan magnesium dengan soda abu
Klorin (Cl)	Gangguan kesehatan		
Besi (Fe) dan Mangan (Mn)	Endapan pada pipa	Aerasi, filtrasi, pertukaran ion	Bentuk umum: besi bikarbonat
Silika (Si)	Kerak dan endapan pada pipa	Deionisasi, proses soda kapur, proses kapur-zeolit	

Proses Pengolahan Air menjadi Air Siap Minum

Sistem pengolahan air bersih dengan sumber air baku sungai, tanah dan air pegunungan, dengan skala atau standar air minum, memerlukan beberapa proses. Proses yang perlu diterapkan tergantung dari kualitas air baku tersebut. Secara umum proses pengolahan air kotor menjadi air bersih adalah melalui tahapan: penyaringan kasar, deaerasi, pengendapan, pelunakan, dan penyaringan membrane (LeChevallier dan Au, 2004).

Penyaringan Kasar (*Roughing Filter*)

Tahap penyaringan kasar ini bertujuan untuk menghilangkan lumpur, ganggang, turbiditas air, virus dan protozoa. Perlakuan awal dilakukan pada bak penampungan air. Aliran air pada tahap penyaringan kasar dilakukan secara *upflow*, yaitu air dialirkan dari bagian bawah saringan. Aliran *upflow* bertujuan menghindari pemampatan karena lumpur pada saringan dan untuk mempermudah pembuangan endapan. Media penyaring yang digunakan adalah pasir aktif, dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Penyaringan Kasar dengan Aliran *Upflow*

Deaerasi

Gas-gas yang terlarut dalam air dapat dihilangkan dengan proses deaerasi. Proses deaerasi berdasarkan Hukum Henry yang menyatakan bahwa kelarutan gas di dalam larutan akan berkurang seiring dengan berkurangnya tekanan parsial gas di atas permukaan larutan. Kelarutan gas juga dipengaruhi oleh temperatur. Jika temperature meningkat maka kelarutan gas akan berkurang.

Gas oksigen yang terdapat dalam air juga dapat merugikan dalam dunia industry. Gas oksigen terlarut dalam air dapat mengakibatkan korosi pada alat-alat yang digunakan. Proses deoksigenasi dilakukan dengan menambahkan zat sodium sulfite (Na_2SO_3) yang akan menangkap gas O_2 . Selain itu, dapat juga ditambahkan hidrazin hidrat ($\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) yang dapat menangkap oksigen, sekaligus mereduksi zat besi oksida atau tembaga oksida yang merupakan hasil korosi.

Pengendapan

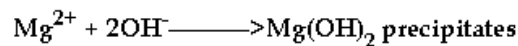
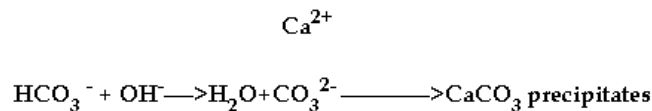
Proses pengendapan atau koagulasi bisa dilakukan dengan menggunakan bahan kimia seperti bahan koagulan (Hipoklorite/PAC). Penambahan oksidator kuat seperti klorin, klorin dioksida atau ozon dapat berfungsi sebagai disinfektan, menonaktifkan sel mikroba karena klorin menyebabkan kerusakan fisik pada membran sel bakteri.

Zat oksidan dapat ditambahkan ke dalam air untuk menghilangkan rasa dan bau, menghilangkan kadar besi dan mangan, dan penghilangan partikel-partikel lain. Hal penting yang harus diperhatikan dalam efisiensi disinfektan adalah konsentrasi, waktu kontak, temperatur, dan pH. Sinar ultraviolet (UV) juga dapat membunuh mikroba melalui reaksi dengan inti sel mikroba dan sangat efektif untuk menghilangkan *Cryptosporidium*. Untuk mengetahui banyaknya bakteri dalam air, digunakan pelat agar TTC. Pelat agar TTC dicelupkan ke dalam

air kemudian diletakkan dalam inkubator dengan suhu 27-30°C selama 24-48 jam. Jumlah bakteri yang tumbuh pada medium dibandingkan dengan gambar standar pertumbuhan bakteri. Hal yang perlu diperhatikan adalah keragaman dalam proses dan pengukuran untuk menentukan efektifitas total untuk pengendalian mikroba. Alat-alat ukur tersebut akan memastikan apakah mutu mikroba dalam air yang telah diolah telah memenuhi standar air minum.

Pelunakan air

Pelunakan air yang mengandung bikarbonat $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ dan $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ dapat dilakukan dengan proses kapur. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Proses ini kemudian dilanjutkan dengan proses zeolit. Zeolit merupakan sodium aluminium silikat hidrat. Air yang mengandung kalsium (Ca) atau magnesium (Mg) jika dilewatkan pada unggun zeolit akan mengalami pertukaran ion. Sodium yang berikatan dengan zeolit akan digantikan oleh kalsium dan magnesium. Zeolit yang sudah jenuh dapat diregenerasi kembali dengan menggunakan garam industri. Pengujian kesadahan air dapat dilakukan dengan cara titrasi menggunakan EDTA (Ethylenediaminetetraacetic Acid), dengan indikator EBT (Eriochrome Black T). Titrasi dilakukan untuk menganalisa banyaknya ion logam di dalam air sampel yang telah diproses. Titik akhir titrasi mudah diamati yaitu perubahan warna dari merah (kompleks logam-EBT) menjadi biru (EBT bebas).

Penyaringan Membran

Proses penghilangan bakteri dari dalam air minum yang terakhir adalah filtrasi (penyaringan). Dalam proses penyaringan, mikroba dihilangkan dengan kombinasi dari perlakuan fisika-hidrodinamika dengan larutan kimia. Penyaringan

pasir lambat dapat mengurangi jumlah mikroba melalui interaksi biologis dan fisika-kimia. Penyaringan membran juga dapat dilakukan untuk menghilangkan mikroba berdasarkan ukurannya. Penyaringan membran sangat efektif untuk menghilangkan mikroba yang lebih besar daripada ukuran pori-pori membran. Seluruh proses pengolahan air ini dapat menghilangkan patogen hingga 4 log atau lebih. Penyaringan membran dilakukan dengan menggunakan metode “*reverse osmosis*” dengan menggunakan media penyaring *cellulose acetate*, poliamida, atau polipropilen.

Pengujian pH

Skala pH menyatakan konsentrasi dari ion hidrogen yang bermuatan positif (H^+) yang dinyatakan dalam bentuk logaritma. pH dinyatakan dalam rentang 0 – 14. Semakin rendah pH menyatakan semakin banyak ion hidrogen (H^+) atau tingkat keasaman yang semakin tinggi. Sebaliknya, semakin tinggi pH maka semakin banyak ion hidroksida (OH^-) atau tingkat alkalinitas semakin tinggi. pH = 7 menyatakan titik tengah atau netral, dimana jumlah ion hydrogen sama dengan ion hidroksida. Pengujian pH dapat dilakukan dengan elektrometrik dan kolorimetrik. Metode elektrometrik dilakukan dengan menggunakan pH meter dengan cara mengalirkan arus listrik. Metode ini memberikan hasil yang lebih akurat. Metode kolorimetrik dilakukan dengan penambahan zat warna, yang warnanya akan berubah sesuai dengan pH-nya. Kemudian warna yang terjadi dibandingkan secara visual dengan standar.

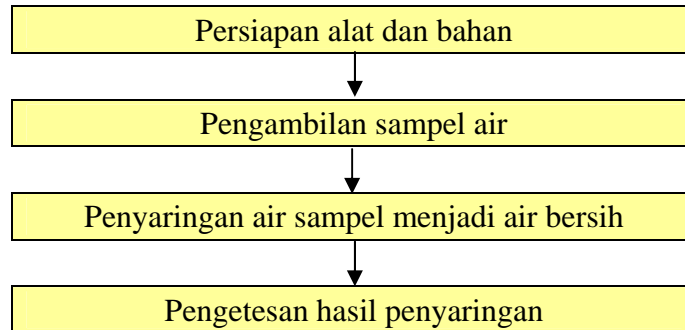
3. METODE PENELITIAN

Tim peneliti menggunakan metode deskriptif kuantitatif dalam mengevaluasi kadar kontaminan dalam air sungai yang tidak layak dikonsumsi. Peneliti melakukan perancangan alat pengolahan air sungai yang tidak layak dikonsumsi dan kotor menjadi air bersih. Peneliti melakukan observasi terhadap kinerja alat pengolahan air yang akan dibuat. Air yang telah diolah kemudian diuji kualitasnya. Gambar 3.1 menjelaskan proses pengolahan air yang dilakukan.



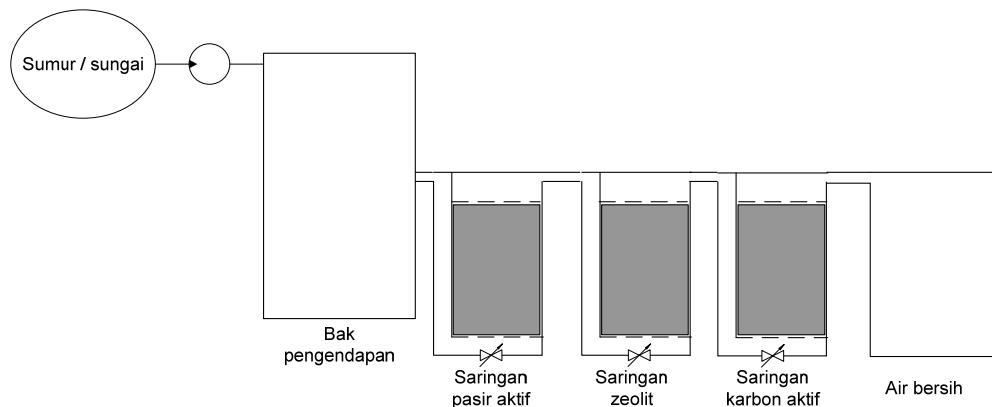
Gambar 3.1. Diagram alir proses pengolahan air

Penelitian Dilakukan Dalam Tiga Tahapan, yaitu Percobaan penyaringan air, Evaluasi hasil percobaan, dan Perancangan alat. Tahap pertama dilakukan mulai tanggal 16 Mei 2010 hingga 21 Juli 2010. Diagram alir percobaan penyaringan air disajikan dalam Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Diagram alir percobaan penyaringan air

Alat penyaringan air disiapkan sesuai dengan skema dalam Gambar 3.3. Air sampel akan ditampung terlebih dahulu di dalam bak pengendapan. Setelah itu air dialirkan melewati media penyaringan pasir aktif, mangan zeolit, dan karbon aktif.



Gambar 3.3. Diagram Alir Proses Penyaringan Air

Alat-alat yang disiapkan meliputi:

1. Bak pengendapan berupa toren berukuran 500 cm³.
2. Tiga buah kolom penyaringan yang terbuat dari kaca berukuran 30cmx30cmx50 cm, dengan tebal kaca 5mm.
3. Media penyaringan, yaitu: Pasir Aktif, Mangan Zeolit/zeolit, Karbon Aktif.
4. Stop kran, pipa, dan selang penghubung antar bak dan media penyaringan.
5. Jerigen penampungan air bersih untuk pengujian Laboratorium.

Air sampel yang digunakan dalam percobaan ini adalah air sungai Cikapundung beserta anak sungainya yang terdapat di kota Bandung. Data air sampel disajikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Data Air Sampel Sungai Cikapundung

Sampel	Lokasi pengambilan air	Tanggal pengambilan sampel	Tanggal percobaan & pengetesan
1	Jalan Siliwangi	16 Mei 2010	20 Mei 2010 22 Mei 2010
1A	Jalan Pasirluyu	27 Mei 2010	27 Mei 2010
1C	Jalan Buah Batu (dekat pintu tol Buah Batu)	7 Juni 2010	29 Juni 2010 1 Juli 2010 21 Juli 2010



Gambar 3.4. Lokasi Pengambilan Sampel 1 (16 Mei 2010)



Gambar 3.5. Lokasi Pengambilan Sampel 2 (28 Mei 2010)



Gambar 3.6. Lokasi Pengambilan Sampel 1C (7 Juni 2010)

Air sampel ditampung ke dalam bak pengendapan dengan ditambahkan kaporit dan tawas. Kaporit yang ditambahkan adalah $\frac{1}{4}$ tablet ke dalam 500 cm³ air. Fungsi kaporit adalah sebagai desinfektan. Tawas yang ditambahkan adalah 50 gram ke dalam 500 cm³ air. Fungsi tawas adalah sebagai koagulan, untuk mengendapkan partikel-partikel pengotor dalam air. Kemudian air sampel

diendapkan selama 1 malam. Air sampel kemudian dialirkan melalui media penyaringan dengan menggunakan gaya gravitasi. Rangkaian media penyaringan air ditunjukkan dalam Gambar 3.7. Urutan media penyaringan air yang digunakan adalah pasir aktif – mangan zeolit – karbon aktif.



Gambar 3.7. Rangkaian Media Penyaringan Air

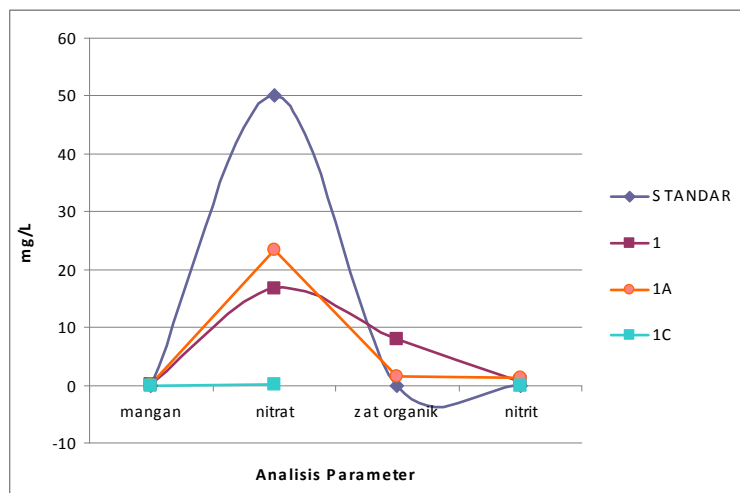
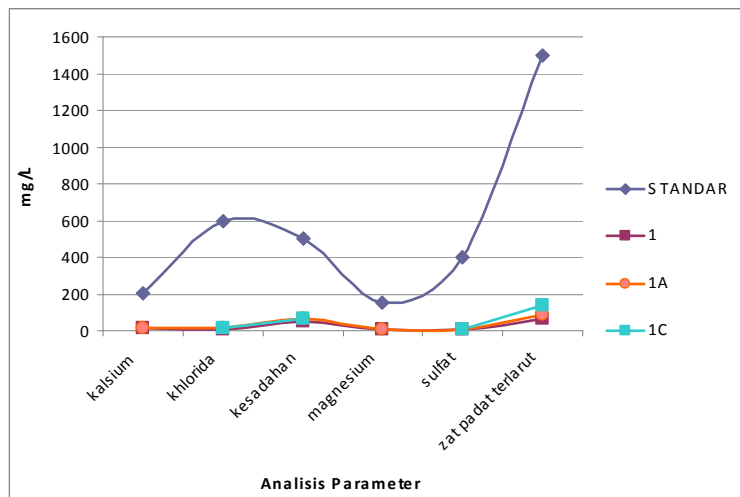
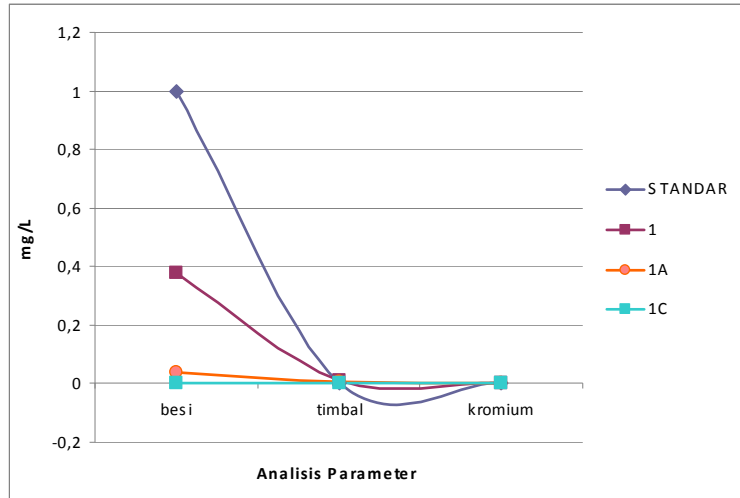
Air bersih yang merupakan keluaran dari rangkaian media saring tersebut kemudian dianalisa kualitasnya di Laboratorium Kesehatan Masyarakat SETIABUDI. Hasil analisa air disajikan pada Tabel 3.2. Baku mutu mengacu pada persyaratan air bersih No. 416/MENKES/PE/IX/90. Dan hasil percobaan dapat dilihat pada Tabel 3.2. Hasil dari analisis kualitas air dapat dilihat pada Tabel 3.3. Jika dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 3.4 - Gambar 3.6.

Tabel 3.2. Keterangan hasil percobaan

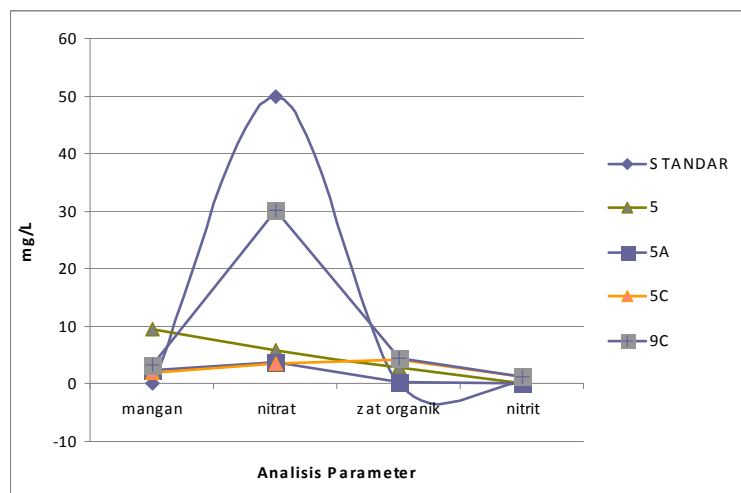
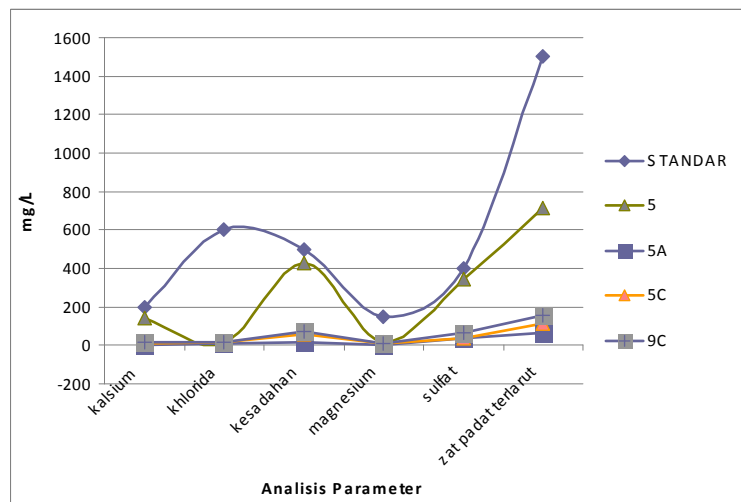
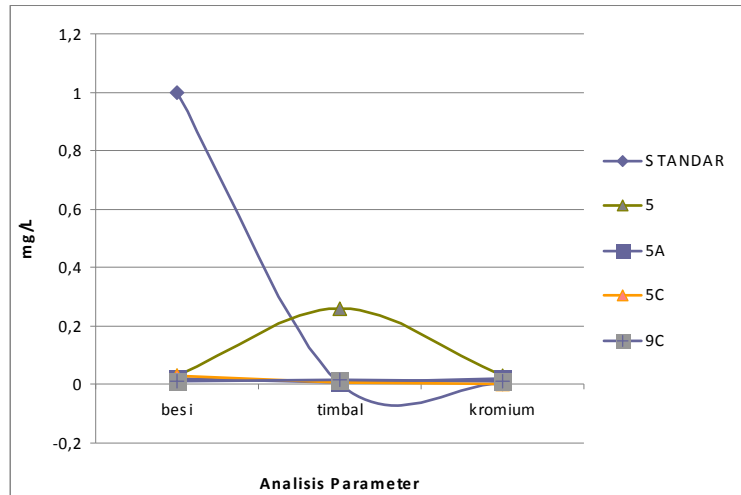
1	: Air baku Sungai Cikapundung di Jalan Siliwangi
5	: Air sampel 1 yang telah melewati 3 kolom penyaringan
6	: Air sampel 1 yang telah melewati saringan tabung I dia 3" t 70 cm
10	: Air sampel 1 yang telah melewati saringan tabung II DIA 4" t 95 cm
1A	: Air baku Sungai Cikapundung di Jalan Pasirluyu
5A	: Air sampel 1A yang telah melewati 3 kolom penyaringan
6A	: Air sampel 1A yang telah melewati saringan tabung II dia 4" t 95 cm
1A	: Air baku Sungai Cikapundung di Jalan Pasirluyu
8B	: Air sampel 1B yang telah melewati 3 kolom penyaringan
9B	: Air sampel 1A yang telah melewati saringan tabung II dia 4" t 95 cm
1C	: Air baku Sungai Cikapundung di Jalan Buah Batu
5C	: Air sampel 1C yang telah melewati 3 kolom penyaringan
6C	: Air sampel 1C yang telah melewati saringan tabung II dia 4" t 95 cm
7C	: Air sampel 1C yang telah melewati saringan tabung II (mangan zeolit) dia 4" t 95 cm
8C	: Air sampel 1C yang telah melewati saringan tabung II (zeolit) dia 4" t 95 cm
9C	: Air sampel 1C yang telah melewati 3 kolom penyaringan, aliran air downflow

Tabel 3.3. Hasil Analisis Kualitas Air Hasil Percobaan

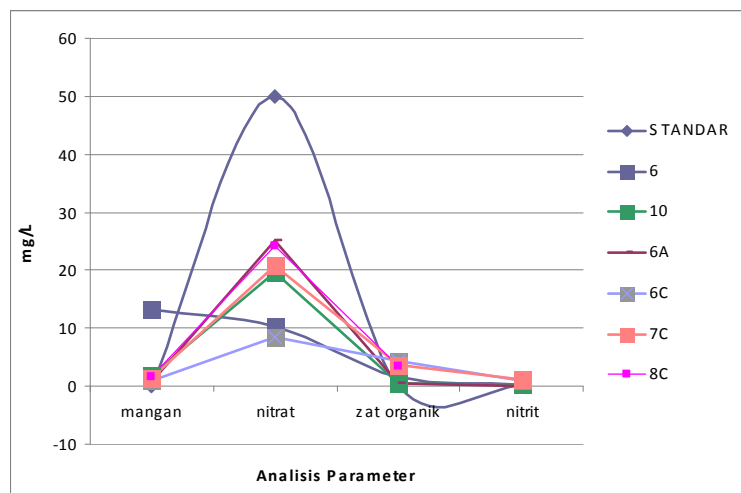
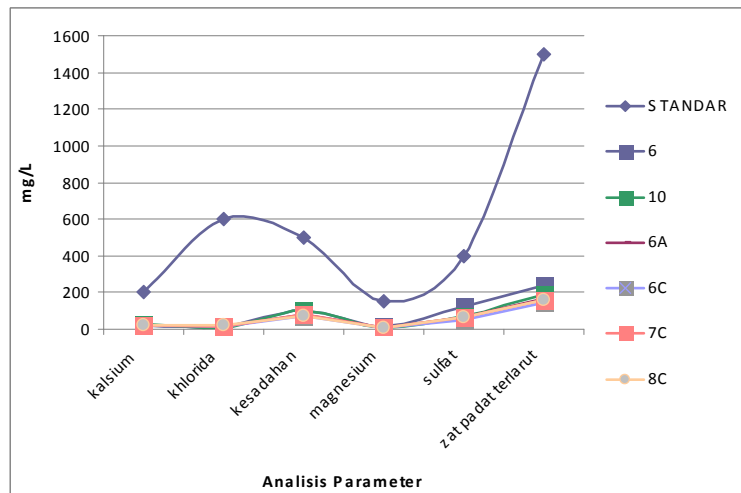
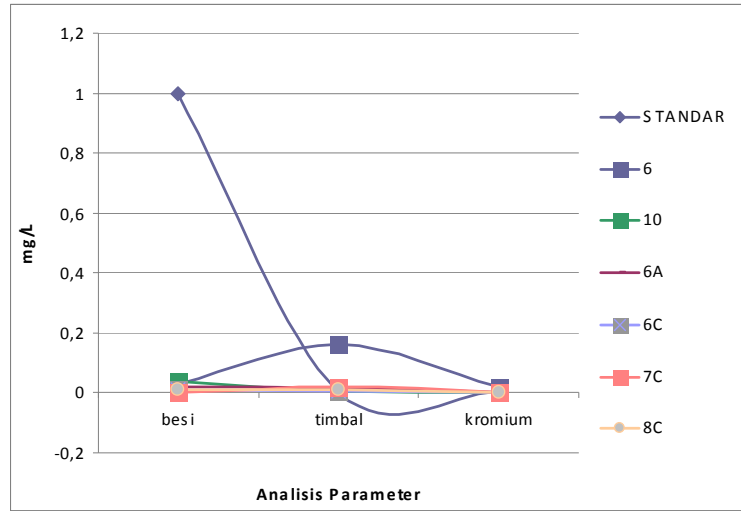
no	parameter	sat	batas air bersih	batas max air minum	Hasil Analisis Sampel														
					1	5	6	10	1A	5A	6A	1C	5C	6C	7C (mz)	8C (z)	9C		
	FIS IKA																		
1	warna	TCU	50	15	18	2	1	3	10	10	0	0	<0,2	3	2	0	0	0	2
2	bau	-	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
3	rasa	-	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
4	kekeruhan	NTU	25	5	2,7	0	0	0,09	0,67	0,67	0	0	3,0	0	0	0	0	0	0
5	konduktiviti	ms	0	0	88,6	893	303	236	123,7	123,7	96,1	206		161,6	185	201	199	192	192
	KIMIA																		
6	pH		6,5 - 9,0	6,5 - 8,5	7,27	5,18	4,76	6,62	6,99	6,99	5,37	6,3	6,4	7,04	6,56	6,53	6,63	6,77	6,77
7	besi	mg/L	1,0	0,3	0,38	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,02	0,02	<0,008	0,03	0,01	0	0,01	0,01	0,01
8	kalsium	mg/L	200	200	12,66	141,84	23,08	29,49	16,58	16,58	4,51	21,24		12,39	19,31	21,24	19,15	14,64	14,64
9	klorida	mg/L	600	250	5,3	7,7	17,2	10,1	11,9	11,9	10,5	16,6	11,1	13,5	16,9	17,8	18,3	16,3	16,3
10	kesadahan	mg/L	500	500	49,68	431,13	103,38	103,78	63,57	63,57	19,31	77,65	65,3	58,34	72,02	77,65	73,22	70,81	70,81
11	magnesium	mg/L	150	150	4,38	18,6	11,1	7,3	5,38	5,38	1,96	5,96		6,65	5,77	5,96	6,16	8,31	8,31
12	mangan	mg/L	0,50	0,1	0,18	9,44	13,29	1,81	0,08	0,08	2,37	0,81	<0,007	1,99	0,97	1,44	1,61	3,23	3,23
13	nitrat	mg/L	50	50	16,8	5,9	10,2	19,6	23,5	23,5	3,7	25,1	0,23	3,44	8,38	20,8	24,1	30,2	30,2
14	nitrit	mg/L	3,0	3	0,578	0,041	0,237	0,316	1,25	1,25	0,02	0,003	<0,003	1,36	0,87	1,07	1	1,18	1,18
15	sulfat	mg/L	400	250	7,5	346,9	121,4	75,2	7,6	7,6	37,8	64,5	7,8	40	48,4	65,62	66,54	66,13	66,13
16	zat padat terlarut	mg/L	1500	1000	62	714	242	189	87	87	67	165	138	113	148	161	159	153	153
17	zat organik	mg/L	-	10	8,06	2,9	1,61	0,58	1,42	1,42	0,39	0,45		4,16	4,35	3,64	3,46	4,56	4,56
18	timbal	mg/L	0,05	0,01	0,0118	0,261	0,163	0,0081	0,0065	0,0065	0,0059	0,0176	<0,005	0,0083	0,0061	0,022	0,0097	0,0135	0,0135
19	kromium	mg/L	0,05	0,05	0	0,03	0,02	0	0	0	0,02	0	<0,002	0	0	0	0	0,01	0,01
	BILOGI																		
20	bakteri coliform		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+



Gambar 3.8. Hasil pengujian kualitas air baku Sungai Cikapundung.



Gambar 3.9. Hasil pengujian air yang telah melewati tiga kolom penyaringan.



Gambar 3.10. Hasil pengujian air yang melewati media penyaringan tabung

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pemeriksaan air di-Laboratorium Kesehatan Masyarakat “SETIA BUDI “, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Air baku dari sungai Cikapundung masih belum terlalu terkontaminasi, dan dengan pengolahan air yang sederhana dengan campuran Pasir Aktif : Karbon Aktif : Mangan Zeolit / zeolit dengan perbandingan 6 : 2,5 : 1,5 dapat dihasilkan air bersih yang layak digunakan.
2. Hasil percobaan menunjukkan peningkatan beberapa parameter dari air baku, karena penyaringannya kurang lama dikarenakan terbatasnya penyediaan air baku dalam proses penyaringan.
3. Hasil penyaringan air melalui kolam penyaringan maupun tabung menghasilkan air yang jernih dan tidak berbau.
4. Jika mau digunakan sebagai air minum sebaiknya dilakukan proses pendidihan terlebih dahulu.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai oleh Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional dalam Hibah Penelitian Dosen Tahun 2010, dengan judul “Perancangan Alat Pengolahan Air Yang Ramah Lingkungan, Sederhana, Murah Dan Mudah Dioperasikan”.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anwar, Alizar (2004). “Pelayanan Air Minum Wilayah Perkotaan di Indonesia”. *Journalist Workshop on Water Issues*.
2. Bob Ewing (2008). “*Nanotechnology Used to Clean Water*”. http://www.digitaljournal.com/article/250604/Nanotechnology_Used_to_Clean_Water
3. Enercon Consultancy Services (2003). *Boiler feed-Water Treatment*.
4. Fajar Indonesia (26 Maret 2009). “Indonesia Diambang Krisis Air Bersih”. <http://www.fajar.co.id/index.php?act=news&id=58718>
5. LeChevallier, Mark W. dan Au, Kwok-Keung (2004). *Process Efficiency in Achieving Safe Drinking Water*. World Health Organization (WHO).
6. IBM (2009) “*IBM Makes Water Clean With Smarter, More Energy-Efficient Purification; New Desalination Membrane Developed in Collaboration with Central Glass, KACST Could Help Remedy World's Growing Water Shortage*”. M2 Communications Ltd <http://proquest.umi.com/pqdweb?did=1661519111&sid=2&Fmt=3&clientId=67249&RQT=309&VName=PQD>
7. McMahon, James P. “*Are you worried about What’s in Your Water? You Should Be.*”. <http://www.cleanairpurewater.com/>

8. McMullan, Bob (2009). “*AusAID: Water Report Highlights Need For Improved Sanitation and Water*”. M2 Communications Ltd. <http://proquest.umi.com/pqdweb?did=1665500131&sid=1&Fmt=3&clientId=67249&RQT=309&VName=PQD>
9. Westjavawater (2005). “Cekungan Bandung Kritis (*Bandung Basin Critical*)”. http://westjavawater.blogspot.com/2005_03_01_archive.html
10. Westjavawater (2005). “168 Juta Penduduk belum Dapat Akses Air Bersih, Indonesia akan Krisis Air pada 2025 (*No Clean Water Access, Water Crisis by 2025*)”. http://westjavawater.blogspot.com/2005_03_01_archive.html
11. <http://zeofilt.wordpress.com/2008/01/31/sistem-pengolahan-air-bersih/>

PENGGUNAAN TEORI PENGEMBANGAN RONGGA DALAM UJI MENARD *PRESSUREMETER*

Ibrahim Surya

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha
E-mail: surya.ibrahim@gmail.com

ABSTRAK

Uji *pressuremeter* telah lama dikenal mempunyai kondisi batas yang telah terdefiniskan dengan baik, karenanya analisa teoritis yang lebih akurat seperti analisa yang berdasarkan pengembangan rongga berbentuk silinder sangat cocok dipergunakan bila dibandingkan dengan percobaan *insitu* lainnya. Di dalam tulisan ini diberikan beberapa solusi analitis yang dikembangkan berdasarkan model konstitutif dengan berbagai tingkat kesulitan yang bertujuan memberikan pengertian dasar tentang kerangka matematis dari teori pengembangan rongga, yang dicapai dengan jalan menjelaskan solusi dari pengembangan rongga berbentuk silinder dengan anggapan perubahan bentuk yang terjadi adalah kecil (*small strains*).

Kata kunci: *Pressuremeter*, *small strains*, rongga.

1. Pendahuluan

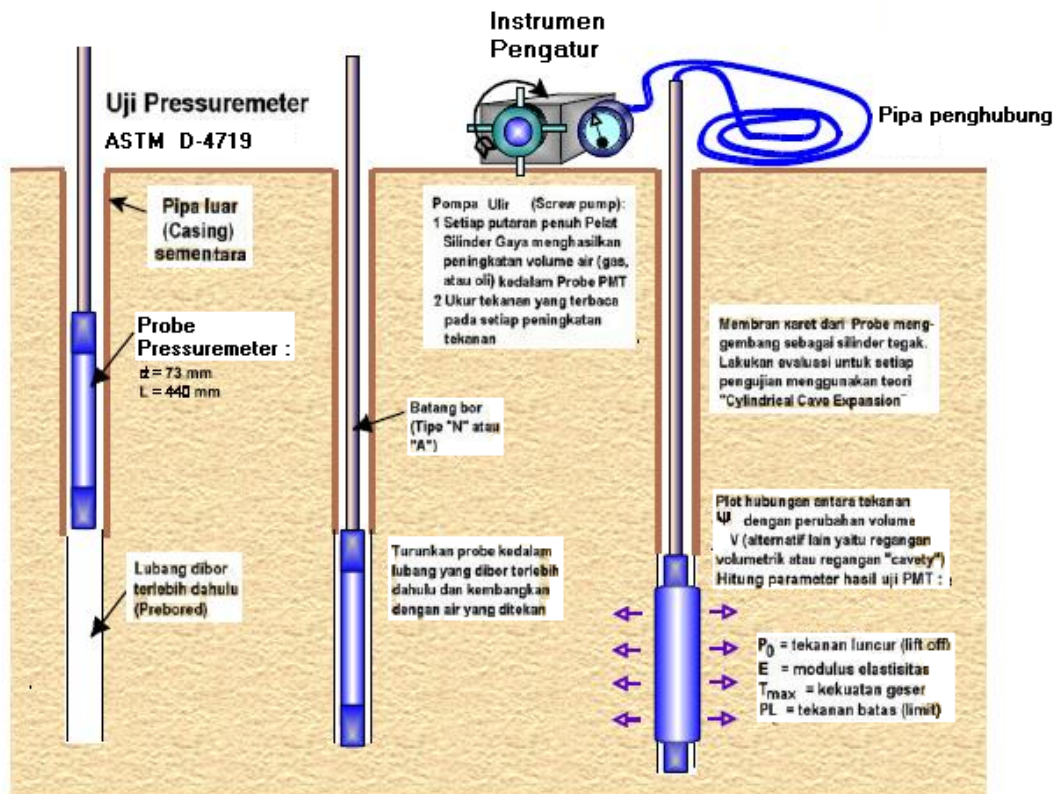
Uji *pressuremeter* terdiri atas *probe* silinder panjang yang dikembangkan secara radial di dalam tanah sekelilingnya, dengan menggunakan sejumlah cairan bertekanan pada waktu pemompaan *probe*. Data dapat diinterpretasi sebagai kurva hubungan tegangan-regangan kekuatan secara lengkap. Di dalam tanah media cairan biasanya air (atau gas), sedangkan dalam batuan lapuk dan retak digunakan minyak hidrolik.

Alat *pressuremeter* asli diperkenalkan oleh seorang ahli Perancis *Louis Menard* pada tahun 1955. Prototip ini mempunyai pengaturan yang kompleks dari tabung air dan udara, serta pemasangan alat ukur tekanan dan katup-katup pengujian. Pada saat ini, desain sel tunggal menggambarkan penggunaan sederhana air bertekanan dengan pompa ulir. Ringkasan prosedur dan kalibrasi diuraikan dalam *ASTM D 4719* dan Gambar 1. *Probe* standar mempunyai diameter berkisar antara 35 -73 mm dengan rasio panjang dan diameter L/d bervariasi sekitar 4 - 6 yang bergantung pada pabrik pembuat.

2. Teori pengembangan rongga (*cavity expansion theory*)

Teori pengembangan rongga adalah teori tentang tegangan dan peralihan yang disebabkan oleh pengembangan dan penyusutan rongga berbentuk silinder atau bola yang tertanam dalam media yang linier atau nonlinier. Prosedur yang digunakan dalam teori pengembangan rongga untuk memecahkan permasalahan material disebut metode pengembangan rongga. Dalam beberapa puluh tahun belakangan ini, teori pengembangan

rongga banyak dipergunakan dalam analisa dan desain didalam berbagai permasalahan dalam bidang geoteknik, karena memberikan pendekatan geomekanik yang akurat dalam studi mengenai persoalan-persoalan dalam bidang geoteknik. Diantaranya adalah kapasitas pondasi dalam dalam arah vertikal maupun lateral, interpretasi uji pressuremeter dan uji penetrasi konus dalam penentuan keadaan tanah dan parameter kuat geser tanah di lapangan dan analisa kestabilan dan peralihan yang berkaitan dengan penggalian tanah dan pembuatan terowongan.



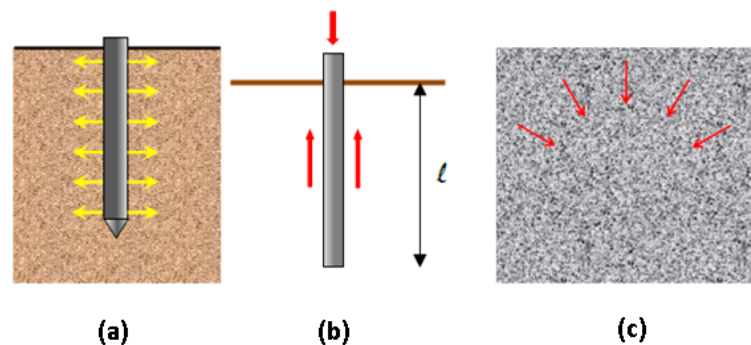
Gambar 1. Skema prosedur uji pressuremeter tipe prapengeboran (FHWA NHI-01-031).

Sampai sekarang berbagai solusi analitis telah dikembangkan untuk pengembangan rongga di dalam tanah dan batuan berdasarkan model konstitutif dengan berbagai kompleksitas.

Untuk pemecahannya digunakan prinsip mekanika kontinum, sebuah model konstitutif matematis diperlukan untuk menjelaskan perilaku tegangan-regangan dari tanah dan batuan. Teori yang banyak digunakan dalam pengembangan model tanah dan batuan adalah anggapan elastisitas dan plastisitas. Kebanyakan model tanah dan batuan dapat dibagi tiga kelompok :

1. Model elastis (linier atau non linier)
2. Viscoelastis atau model viscoelastis-plastis
3. Model elastis-plastis (perfectly plastic atau strain hardening/softening)

Di dalam Gambar 2 di bawah ini diperlihatkan secara skematis ilustrasi penggunaan teori pengembangan rongga dalam bidang geoteknik, gambar 2 (a) mengilustrasikan uji penetrasi konus, gambar 2 (b) mengilustrasikan pondasi tiang dan gambar 2 (c) mengilustrasikan tegangan yang bekerja pada sebuah terowongan.



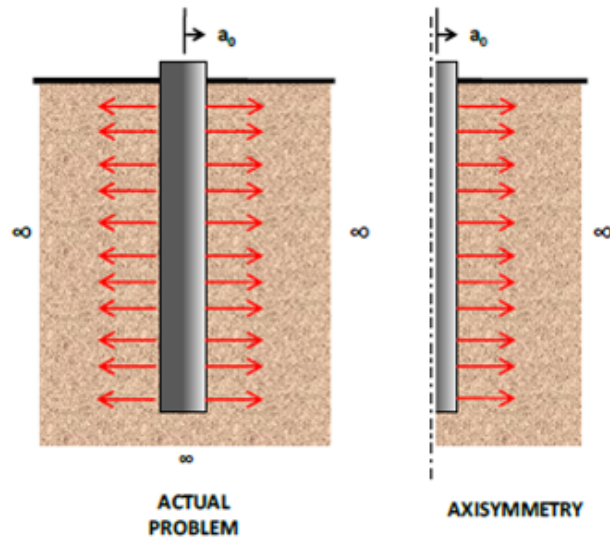
Gambar 2. Ilustrasi skematis beberapa penggunaan teori pengembangan rongga [Jeremic, 2008].

Solusi dari persoalan pengembangan rongga berbentuk silinder berdasarkan anggapan bahwa masa tanah adalah homogen, isotropis dan merupakan medium yang menerus. Karena pressuremeter secara ideal berbentuk silinder dengan panjang tak berhingga, prinsip aksial simetri (*axisymmetry*) dapat diterapkan dan semua pergerakannya adalah dalam arah radial. Untuk jelasnya dapat dilihat persoalan sebenarnya dan dengan prinsip *axisymmetry* pada Gambar 3 di bawah ini. Dalam analisa, tegangan kompresi (tekan) dan perubahan bentuknya (strain) dianggap positif sebagaimana biasanya dalam mekanika tanah.

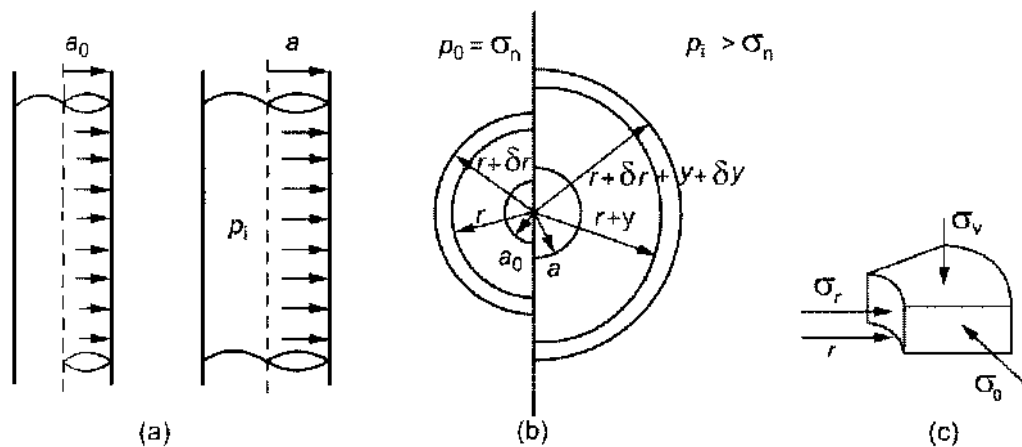
Pendekatan dalam penyelesaian menggunakan koordinat silinder sehingga tegangan dalam keadaan keseimbangan dalam material isotropis adalah $\sigma_r = \sigma_\theta = \sigma_z$, dimana σ_r & σ_θ adalah tegangan normal yang bekerja dalam arah radial dan tangensial dan σ_z adalah tegangan vertikal.

Dalam medium elastis, penyelesaian persoalan rongga berbentuk silinder telah banyak dibahas misalnya dalam (Timoshenko & Goodier, 1951) dengan persamaan :

$$\frac{d\sigma_r}{dr} = -\frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} \quad (1)$$



Gambar 3 . Model pressuremeter dalam keadaan aktual dan anggapan aksial simetri [Jeremic, 2008].



- (a) pengembangan rongga silinder.
- (b) pengembangan suatu elemen pada radius r .
- (c) tegangan yang bekerja pada suatu elemen.

Gambar 4. Definisi yang dipergunakan dalam analisa pengembangan rongga [Clarke, 1995]

Pada awalnya, radius rongga adalah a_0 untuk volume rongga V_0 dan tegangan didalam rongga p_0 yang sama dengan tegangan horizontal total dilapangan σ_{ho} , sebagaimana digambarkan dalam gambar 4 diatas. D isemua tempat dalam material yang

mengelilingi komponen tegangan radial dan tegangan keliling adalah *tekan* dan besarnya $= p_0$. Tegangan didalam rongga kemudian ditambahkan sampai sebesar p_1 dan radius rongga mencapai a_1 . Suatu titik tipikal dalam material kontinum sekarang mempunyai koordinat radial r , bergerak keposisi ini ini dari posisi asalnya r_0 . Dengan menggunakan sistem koordinat silinder, perubahan bentuk dalam arah aksial, radial dan keliling diberikan notasi ϵ_z, ϵ_r dan ϵ_θ . Tinjau sebuah elemen yang mengembang $r + y$ dan tebalnya bertambah sebesar $\delta r + \delta y$ sementara tekanannya bertambah dari p_0 ke p_1 . Dalam bagian awal dari pembebanan dianggap tanah berperilaku elastis dan mengikuti hukum Hooke sampai awal leleh. Dengan menggunakan teori strain kecil untuk awal fase pembebanan elastis, definisi perubahan bentuk adalah :

$$\epsilon_r = \frac{\delta y}{\delta r} \quad (2)$$

dan

$$\epsilon_\theta = - \frac{y}{r} \quad (3)$$

r adalah koordinat radial dan y perpindahan kearah radial (dianggap kecil bila dibandingkan dengan r) dari titik material dalam massa tanah.

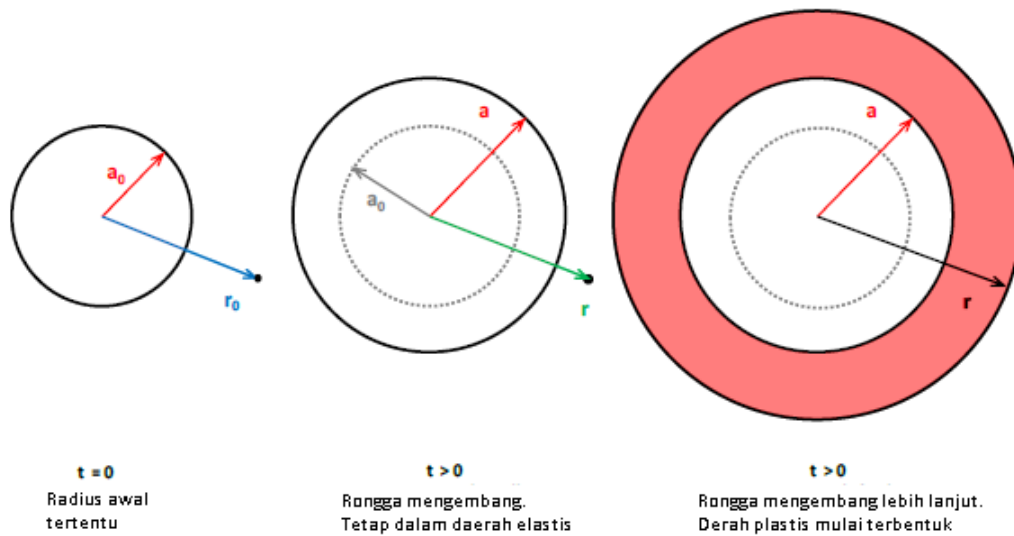
Variabel yang diukur dalam percobaan hanya tekanan rongga (*cavity pressure*) p dan radius rongga a . Perubahan bentuk yang terjadi dalam arah keliling pada dinding rongga disebut sebagai cavity strain (perubahan bentuk rongga) dan didefinisikan sebagai:

$$\epsilon_c = \frac{a - a_0}{a_0} \quad (4)$$

Persamaan ini adalah untuk perubahan bentuk yang kecil, untuk perubahan bentuk yang besar digunakan persamaan keseimbangan yang dinyatakan dalam tegangan total radial dan tangensial sebagai berikut :

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = 0 \quad (5)$$

Didalam gambar 5 diperlihatkan rongga dalam keadaan yang belum mengembang, kemudian mengembang tetapi masih dalam daerah elastis dan rongga yang mengembang dan sudah masuk dalam daerah plastis.



Gambar 5. Ilustrasi secara skematis dari rongga yang mengembang pada waktu yang berbeda-beda untuk kasus material elastis-plastis [Jeremic, 2008].

Tanah elastis

Untuk sebuah rongga silinder yang mengembang dalam material yang elastis isotropis akan memenuhi Hukum Hooke, tegangan dan perubahan bentuk yang utamanya dinyatakan dalam hubungan sebagai berikut :

$$E \begin{bmatrix} \Delta \varepsilon_r \\ \Delta \varepsilon_\theta \\ \Delta \varepsilon_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dots 1 \dots & -\nu \dots & -\nu \\ -\nu \dots & \dots 1 \dots & -\nu \\ -\nu \dots & -\nu \dots & \dots 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \sigma_r \\ \Delta \sigma_\theta \\ \Delta \sigma_z \end{bmatrix} \quad (6)$$

Dimana E adalah modulus elastisitas dan ν adalah rasio Poisson. Karena bidangnya simetri, perubahan bentuk vertikal $\delta \varepsilon_z = 0$, sehingga

$$E \begin{bmatrix} \Delta \varepsilon_r \\ \Delta \varepsilon_\theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dots (1-\nu^2) \dots & \dots (-\nu-\nu^2) \\ (-\nu-\nu^2) \dots & \dots (1-\nu^2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \sigma_r \\ \Delta \sigma_\theta \end{bmatrix} \quad (7)$$

Dengan menggabungkan persamaan (1) – (4) dan (6) diperoleh persamaan diferensial :

$$r^2 \frac{d^2 y}{dr^2} + r \frac{dy}{dr} - y = 0 \quad (8)$$

Kondisi batasnya adalah

$$y = 0 \quad \text{untuk } r = \infty$$

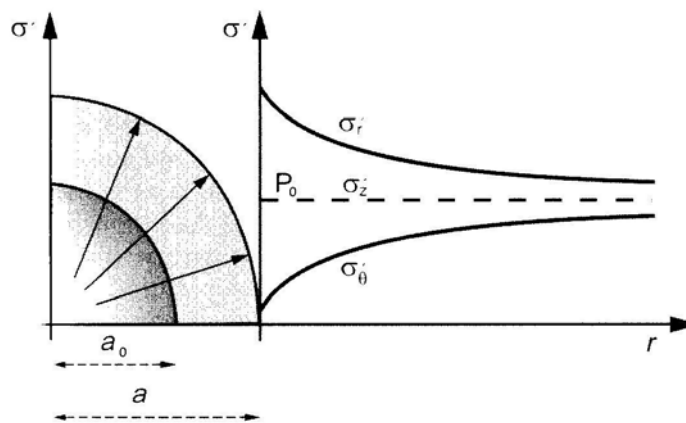
$$y = (a - a_0) \quad \text{untuk } r = a$$

Perubahan bentuk dan tegangan dalam tanah adalah

$$y = \varepsilon_c \frac{a_0 \cdot a}{r} \quad (9)$$

$$\Delta\sigma_r = \sigma_r - \sigma_{ho} = 2G\varepsilon_c \frac{a_0 a}{r^2} \quad (10)$$

$$\Delta\sigma_\theta = \sigma_\theta - \sigma_{ho} = 2G\varepsilon_c \frac{a_0 a}{r^2} \quad (11)$$



Gambar 6. Tegangan sekeliling rongga silinder yang mengembang dalam tanah elastis [Schnaid, 2009].

dimana G adalah modulus geser dari material yang elastis dan σ_{ho} adalah tegangan horizontal dilapangan, tegangan rata-rata tetap konstan dalam daerah elastis dan diharapkan tidak ada tegangan pori berlebih yang terjadi selama pengembangan (lihat gambar 6). Pada dinding rongga, $r = a$, dan $\sigma_r = p$. Karena (a_0/a) adalah bilangan yang kecil, seringkali diabaikan sehingga persamaan (10) menjadi

$$p - \sigma_h = 2G\varepsilon_c \quad (12)$$

Jadi, modulus geser tanah dilapangan dapat ditentukan dengan sederhana dengan mengukur pergerakan dinding rongga sedangkan tekanan rongga bertambah menjadi diatas σ_{ho} :

$$G = \frac{1}{2} \frac{dp}{d\varepsilon_c} \quad (13)$$

Modulus tanah dapat dinyatakan juga dalam perubahan volume (*volumetric strain*) :

$$G = V_o \frac{dp}{dV} \quad (14)$$

Sebagaimana dinyatakan oleh Mair & Wood (1987), pengembangan rongga kelihatannya sebagai proses penekanan, berubah secara keseluruhan menjadi proses geser.

Analisa tak terdrainasi dalam material elastis-plastis

Analisa tak terdrainasi menganggap tidak terjadi perubahan volume dalam tanah dan kecepatan pembebanan tidak mempengaruhi respon dari tanah. Semua elemen disekeliling rongga, pada setiap radius mengalami deformasi yang sama dalam polanya tetapi berbeda dalam besarnya. Alur tegangan dari elemen tanah disekeliling rongga yang mengembang secara skematis dapat dilihat pada gambar 7 dibawah ini darimana solusi pengembangan rongga dapat dianggap berdasarkan perilaku tegangan regangan dan kekuatan dari lempung (misalkan Gibson & Anderson, 1961; Palmer, 1972).

Titik A, awalnya ada digaris pusat dari pressuremeter sebelum instalasi, dibebani secara elastis dan kemudian plastis selama pengembangan. Elemen antara A dan C telah berubah bentuk secara plastis, titik E terletak pada batas elastis-plastis pada tahap ini, sedangkan material diluar E masih tetap elastis.

Solusi yang pasti untuk tegangan geser τ pada regangan rongga adalah (Baguelin et al., 1972; Ladanyi, 1972; Palmer, 1972) :

$$\tau = \frac{1}{2} \varepsilon_c (1 + \varepsilon_c) (2 + \varepsilon_c) \frac{dp}{d\varepsilon_c} \quad (15)$$

dengan memasukkan regangan geser dalam dinding rongga kurang lebih $2\varepsilon_c$.

Untuk nilai regangan yang kecil :

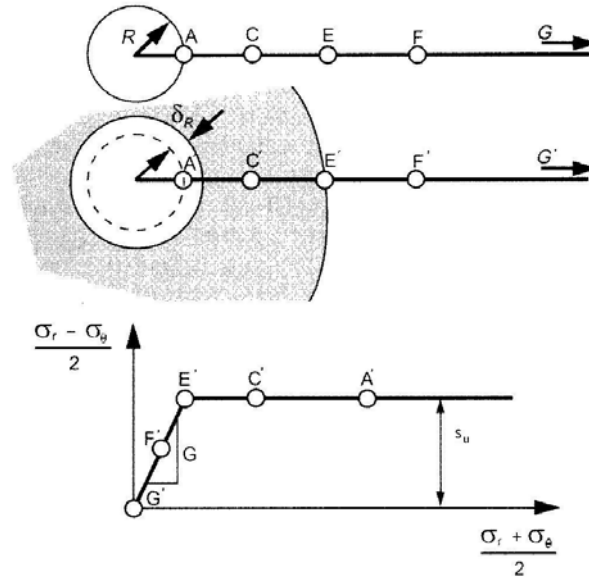
$$\tau \approx \varepsilon_c \frac{dp}{d\varepsilon_c} \quad (16)$$

Persamaan (16) dapat ditulis dalam regangan volume sebagai :

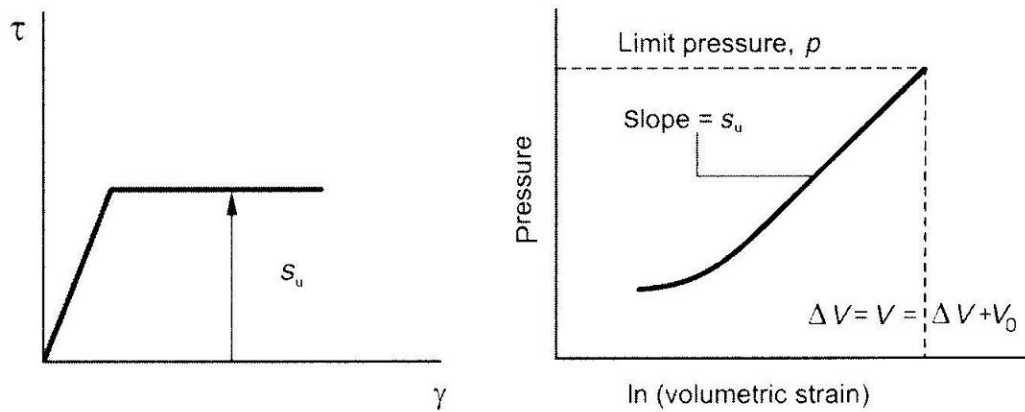
$$\tau = \frac{dp}{d \left[\ln \left(\frac{\Delta V}{V} \right) \right]} \quad (17)$$

Biasanya dengan mengacu kepada solusi dari Palmer, pernyataan ini memungkinkan untuk membuat kurva pressuremeter sub-tangent, yang menyatakan tegangan geser sama dengan kemiringan kurva tekanan dan regangan volume. Untuk tanah yang elastis dan

plastis sempurna, harga τ adalah tetap dan sama dengan kuat geser tak terdrainasi s_u , lihat gambar 8.



Gambar 7. Alur tegangan tak terdrainasi disekeliling probe pressuremeter yang mengembang [Schnaid, 2009].



Gambar 8. Kuat geser tak terdrainasi dari uji pressuremeter dalm lempung [Schnaid, 2009].

Solusi untuk kondisi ini pertama kali dipresentasikan oleh Gibson & Anderson (1961). Selama pengembangan, tanah memberikan respon sebagai material yang elastis sampai awal pemuluran (yielding) pada dinding rongga yang terjadi bila :

$$p = \sigma_{ho} + s_u \quad (18)$$

Pada tahap ini, regangan elastis kecil adalah :

$$\frac{\Delta V}{V} \approx \frac{\Delta V}{V_0} = \frac{s_u}{G} \quad (19)$$

Selagi tekanan rongga bertambah melebihi tegangan pemuluran (*yield stress*) didefinisikan sebagai persamaan (18), daerah plastis terbentuk disekitar rongga yang mengembang. Dalam daerah ini perubahan tekanan dapat diperoleh dengan mengintegrasikan persamaan (17) terhadap $\ln(\Delta V / V)$ yang menghasilkan :

$$p = \sigma_{ho} + s_u \left[1 + \ln\left(\frac{G}{s_u}\right) + \ln\left(\frac{\Delta V}{V}\right) \right] \quad (20)$$

Ada suatu kondisi batas untuk persamaan (20) yaitu nilai maksimum $\Delta V / V$ adalah 1; yaitu bila perubahan volume sama dengan volume sekarang seperti diperlihatkan pada gambar 8.

Tekanan pada titik tadi dikenal sebagai *limit pressure* (*tekanan batas*), p_L :

$$p_L = \sigma_{ho} + s_u \left[1 + \ln\left(\frac{G}{s_u}\right) \right] \quad (21)$$

Persamaan ini , telah disampaikan oleh Menard (1957), yang memperlihatkan bahwa batas tekanan rongga sangat tergantung pada kuat geser tak terdrainasi, juga pada kekakuan geser dari tanah.

Persamaan (20) digunakan bila $s_u + \sigma_{ho} < p < p_L$, daerah dimana ada respon plastis pada uji pressuremeter. Persamaan (19) dapat ditulis juga dalam bentuk :

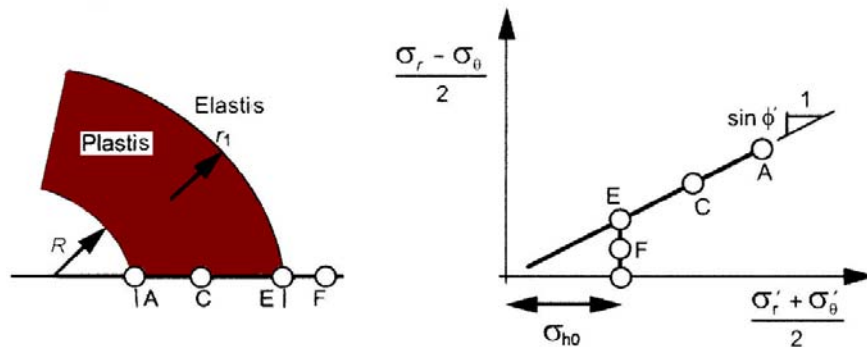
$$p = p_L + s_u \ln\left(\frac{\Delta V}{V}\right) \quad (22)$$

Analisa terdrainasi dalam material elastis-plastis

Dalam analisa terdrainasi, tanah dianggap sebagai material isotropis elastis-plastis sempurna dan berperilaku elastis dan mengikuti Hukum Hooke sampai awal titik pemuluran (*yielding point*) yang ditentukan oleh kriteria Mohr-Coulomb. Berhubung geser terjadi di bawah kondisi drainasi tanpa ada tekanan pori berlebih disekeliling rongga yang sedang mengembang, perubahan volume akan terjadi. Analisa hasil percobaan yang gagal dalam memperhitungkan perubahan volume dianggap salah dan tidak dapat dipergunakan dalam interpretasi.

Dengan merujuk pada gambar 9, selagi tekanan didalam rongga meningkat, tanah disekelilingnya akhirnya mengalami pemuluran dan daerah plastis terbentuk disekeliling

rongga. Ukuran daerah plastis antara titik A dan E dapat ditentukan, dengan titik E terletak pada batas elasti-plastis.



Gambar 9. Alur tegangan terdrainasi sekeliling probe pressuremeter yang mengembang [Schnaid, 2009].

Hughes et al. (1977) menganggap bahwa kecepatan perubahan volume tetap selama pengembangan rongga dan menghasilkan sudut geser tanah dan dilatansi dari hasil uji pembebanan pressuremeter. Dengan menganggap kelongsoran dipengaruhi kriteria Mohr – Coulomb :

$$\frac{\sigma_r'}{\sigma_{\theta}'} = \frac{1 - \sin\phi'}{1 + \sin\phi'} \quad (23)$$

Setelah anggapan kriteria kelongsoran dibuat, perlu didefinisikan bentuk dari daerah plastis yang potensial, yang dinyatakan dalam bentuk “aturan aliran” (flow rule) menghubungkan arah dari pertambahan regangan plastis dengan keadaan tegangan yang sekarang. Penggunaan hukum tegangan dilatansi Rowe menghasilkan persamaan berikut :

$$\frac{1 + \sin\psi'}{1 - \sin\psi'} = \left(\frac{1 + \sin\psi'}{1 - \sin\psi'} \right) \left(\frac{1 + \sin\phi_{cv}'}{1 - \sin\phi_{cv}'} \right) \quad (24)$$

dimana ψ' adalah sudut dilasi tanah dan ϕ_{cv}' adalah sudut geser keadaan kritis (critical state). Ini mengikuti konsep, bila pasir dengan kepadatan medium dan pasir padat bila diberi beban geser akan terjadi dilasi, memberikan kepada tanah suatu tahanan geser yang dihasilkan ϕ_{cv}' Yang timbul dan sudut dilasi yang timbul ψ' :

$$\sin\psi' = - \frac{d\varepsilon_v}{d\gamma} \quad (25)$$

dimana $d\varepsilon_v$ adalah perubahan dalam regangan volume. Tegangan utama, regangan volume dan regangan geser dapat digabung menjadi :

$$\frac{\sigma'_r}{\sigma'_\theta} = \left(\frac{1 + \sin\phi'_{cv}}{1 - \sin\phi'_{cv}} \right) \left(\frac{1 - d\varepsilon_v / d\gamma}{1 + dv / d\gamma} \right) \quad (26)$$

Awal pemuluran pada dinding rongga dalam pengembangan terdrainasi :

$$p - u_0 = \sigma'_{ho} (1 + \sin\phi') \quad (27)$$

dimana u_0 adalah tegangan pori dilapangan dan σ'_{ho} adalah tegangan horizontal efektif dilapangan (in situ). Solusi analitis dari kurva pengembangan rongga dalam daerah plastis dapat didekati dengan rumus dari Hughes et al, 1977 :

$$A \text{ EMBED Equation.DSMT4} \quad (28)$$

dimana A adalah konstanta. Persamaan (28) menyatakan hasil pressuremeter digambarkan sebagai tekanan rongga efektif terhadap regangan volume dalam skala logaritmis yang menghasilkan sebuah garis lurus dengan kemiringan S yang dinyatakan oleh persamaan :

$$S = \frac{(1 + \sin\psi) \sin\phi'}{1 + \sin\phi'} \quad (29)$$

Nilai ϕ' & ψ dari hasil pengukuran kemiringan pressuremeter S dan sudut geser keadaan kritis (*critical state*) diberikan oleh hukum tegangan dilatansi Rowe persamaan (24)

$$\sin\phi' = \frac{S}{1 + (S - 1) \sin\phi'_{cv}} \quad (30)$$

$$\sin\psi = S + (S - 1) \sin\phi'_{cv} \quad (31)$$

3. Uji pressuremeter dalam lempung

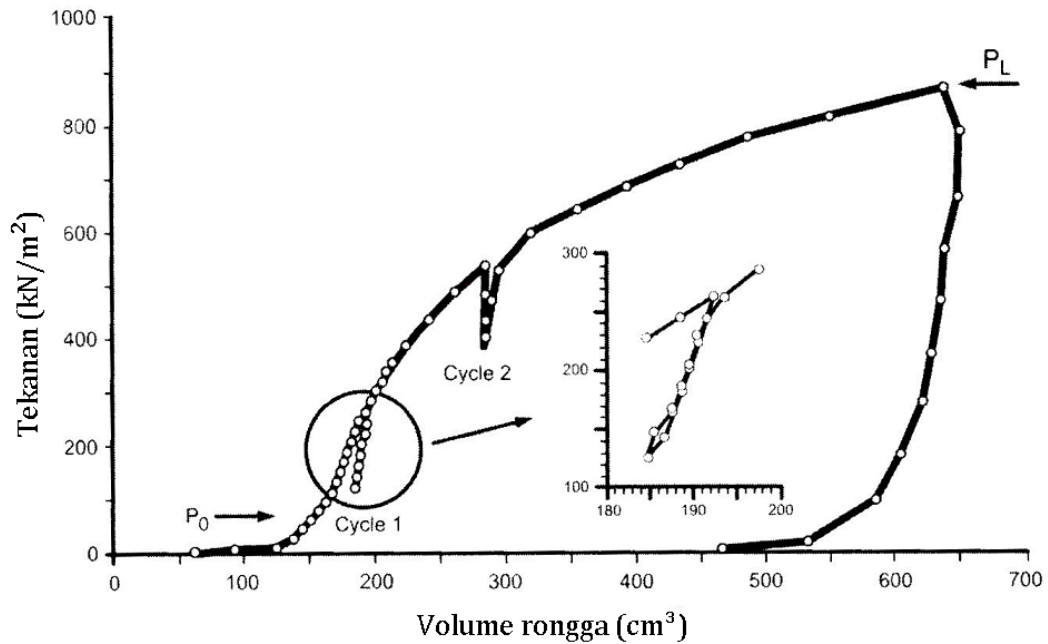
Dibawah ini akan diberikan penggunaan utama dari teori pengembangan rongga dalam interpretasi uji pressuremeter dalam lempung. Uji pressuremeter terutama digunakan untuk memperkirakan modulus geser, modulus tangen Menard, tegangan horizontal *insitu*, kuat geser tak terdrainasi dan koefisien konsolidasi horizontal.

Modulus tangen Menard dan modulus geser

Yang biasa dilakukan dalam uji pressuremeter adalah evaluasi modulus tanah (Wroth, 1982). Seperti diketahui, interpretasi modulus tanah dari uji pressuremeter dan penggunaan modulus ini dalam perancangan pondasi adalah proses yang kompleks, karena modulus bervariasi dengan tingkat tegangan dan regangan amplitudo (Wroth et al, 1979; Jamiolkowski et al, 1985; Belotti et al, 1986; Tatsuoka et al, 1997).

Dalam metode Menard kekakuan dari tanah diperoleh dari segmen elastis yang pertama dari kurva tekanan-volume rongga. Daerah elastis didefinisikan dalam batas-

batas yang ditentukan oleh titik P_0 pada gambar 10 dimana membran telah menyentuh dinding lubang bor dan titik yang ditandai pada awal perilaku plastis dari tanah yang paling dekat dengan pressuremeter. Meskipun titik-titik ini sulit untuk ditentukan, modulus tangen dari Menard, E_m diambil dari kemiringan didaerah plastis dengan menggunakan solusi dari Lamé :



Gambar 10. Kurva hasil uji pressuremeter Menard [Schnaid, 2009].

$$E_m = 2(1 + \nu) \left[V_o + \frac{V_B - V_A}{2} \right] \frac{dp}{dV} \quad (32)$$

dimana V_o adalah volume awal dari probe. Dalam lempung, deformasi plastis dimulai dari tahap awal percobaan dan karenanya E_m memberikan harga perkiraan yang rendah pada modulus insitu. Dalam analisa uji pressuremeter, dianggap alat pressuremeter sebagai suatu rongga silinder yang panjang dan mengembang secara radial dan kondisi regangan membidang (plane strain). Karenanya kalau probe mengembang dalam material yang linier elastis isotropis, modulus geser G sama dengan separuh dari kemiringan kurva tekanan-volume :

$$G = \frac{1}{2} \frac{dp}{d\varepsilon_c} \quad (33)$$

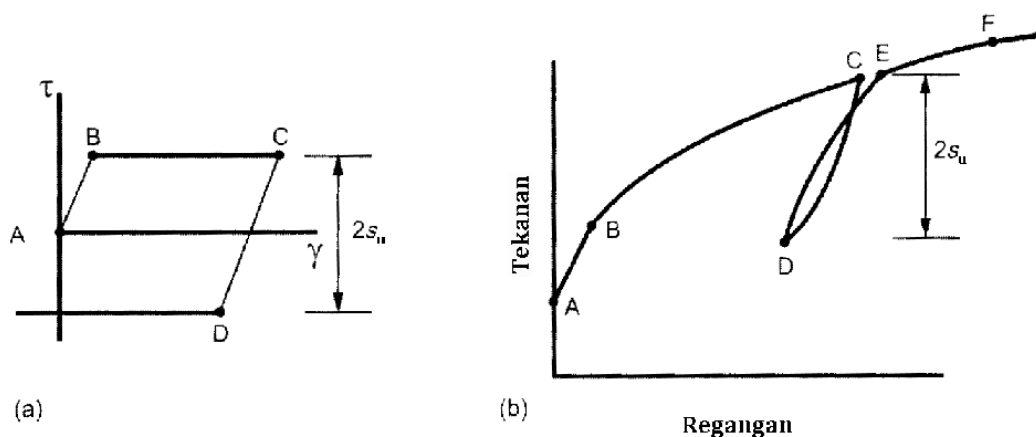
Pendekatan ini berarti setiap pelepasan beban dari suatu rongga yang mengembang membawa tanah disekeliling dibawah permukaan pemuluran yang baru mengembang

kedalam zona dimana regangannya kecil sebagaimana diperlihatkan oleh alur pembebanan CDE dalam gambar 11 (b).

Dalam melaksanakan proses unload –reload , perlu diperhatikan bahwa proses ini tetap dalam daerah yang elastis. Untuk tanah elastis –plastis sempurna Tresca, teori pengembangan rongga dapat dipergunakan untuk menunjukkan bahwa besarnya perubahan dalam tekanan rongga tidak melebihi (Wroth, 1982) :

$$\Delta p_{maks} = 2s_u \quad (34)$$

dimana s_u adalah kuat geser tak terdrainasi dari tanah



Gambar 11. Rentang respon elastis dalam lempung elastis-plastis sempurna: (a) alur tegangan Geser dan (b) kurva uji pressuremeter [Wroth, 1982].

Regangan yang terjadi pada elemen tanah pada jarak yang berbeda dari pressuremeter berbanding terbalik dengan jari-jari kuadrat dalam uji tak terdrainasi dan karenanya suatu patokan regangan geser perlu ditentukan yang mewakili modulus geser unload-reload, G_{ur} . Nilai patokan ini seringkali diambil sebagai regangan yang bekerja pada permukaan pressuremeter.

Muir Wood (1990) menyelidiki variasi G_{ur} dengan amplitudo regangan geser dalam tanah lempung. Dalam pressuremeter dimungkinkan untuk mendefinisikan modulus sekan $G_s^p = (\psi - \sigma_{h0}) / 2\varepsilon$ dan modulus tangen $G_t^p = \frac{1}{2} d\psi / d\varepsilon$. Ini sama dengan uji dilaboratorium yang memungkinkan untuk mendefinisikan modulus sekan $G_s = \tau / \gamma$ dan modulus tangen $G_t = d\tau / d\gamma$, dimana τ adalah tegangan geser. Dengan definisi-definisi diatas dapat dilihat bahwa :

$$G_t = G_s + \gamma \frac{dG_s}{d\gamma} \quad (35)$$

$$G_t^p = G_s^p + 2\varepsilon \frac{dG_s^p}{2d\varepsilon} \quad (36)$$

$$G_s = G_t^p = G_s^p + 2\varepsilon \frac{dG_s^p}{2d\varepsilon} \quad (37)$$

Jadi, menurut Muir Wood (1990), modulus tangen yang diukur dari kurva pressuremeter adalah sama dengan modulus sekan yang ditentukan dari uji laboratorium konvensional. Ini memungkinkan hasil uji pressuremeter dihubungkan dengan hasil uji yang lain dengan menggunakan model degradasi yang dirancang untuk menerangkan hubungan antara G dan g (Schnaid, 2009).

Tegangan total horizontal di lapangan

Dalam pressuremeter Menard, pengukuran yang berkenaan dengan dimulainya segmen linier yang elastis sebagai indikasi patokan dari tekanan rongga, hal ini tidak mempunyai dasar yang kuat sebagaimana disampaikan oleh Mair & Wood (1987), karena proses pembuatan lubang bor membiarkan tanah tanpa ada yang menahannya. Suatu pengukuran tekanan awal dalam tanah yang dalam keadaan unloading sebelum dilakukan uji pressuremeter Menard tidak dapat dikatakan dalam keadaan tidak terganggu. Untuk menanggulangi hal ini Marsland & Randolph (1977) mengusulkan suatu teknik untuk memperkirakan nilai tekanan awal sebagai patokan, yang secara bersamaan berdasarkan kuat geser dan tegangan pemuluran dari lempung. Selama pengembangan tegangan pemuluran pada dinding rongga sama dengan penjumlahan σ_{h0} dan s_u dan diidentifikasi sebagai perubahan kemiringan dari kurva uji :

$$p = \sigma_{h0} + s_u \quad (18)$$

Suatu pendekatan iteratif dibutuhkan untuk memaksa terjadinya konsistensi antara tegangan pemuluran yang diukur dalam kurva p vs ε_c dan jumlah perkiraan tegangan horizontal awal dan kuat geser tanah tak terdrainasi.

Kuat geser tak terdrainasi

Ada beberapa cara berbeda untuk memperkirakan kuat geser dari uji pressuremeter dalam lempung dalam tegangan total seperti dari Gibson & Anderson (1961); Palmer (1972); Houlsby & Withers (1988); Jefferies (1988); dan untuk analisa

dalam tegangan efektif dari Yu & Collins (1998) baik untuk segmen pembebanan dan pelepasan beban dari kurva uji pressuremeter.

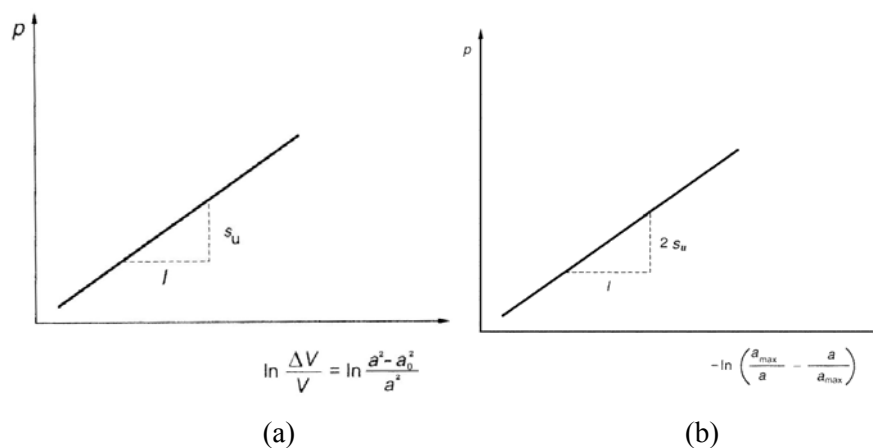
Untuk analisa pembebanan (loading), metode Gibson dan Anderson (1961) menganggap tanah berperilaku sebagai material Tresca yang elastis plastis sempurna. Solusi analitis untuk pengembangan rongga dalam tahap plastis dari suatu rongga silinder yang panjang diturunkan dari rumus :

$$p = \sigma_{h0} + s_u \left[1 + \ln \left(\frac{G}{s_u} \right) + \ln \left(\frac{\Delta V}{V} \right) \right] \quad (20)$$

dimana p adalah tekanan total pressuremeter, σ_{h0} tegangan horizontal dilapangan, s_u kuat geser tak terdrainasi G modulus geser. Regangan volume adalah :

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{a^2 - a_0^2}{a^2} \quad (21)$$

Nilai a dan a_0 adalah radius yang sekarang dan radius awal. Analisa dengan memakai persamaan (20) menyatakan secara tidak langsung bahwa uji selfboring pressuremeter yang dilaksanakan dalam tanah yang plastis sempurna akan menghasilkan sebuah garis lurus dalam kurva hubungan antara tekanan dalam rongga terhadap logaritma regangan volume, lihat gambar 12(a).



Gambar 12. (a) Analisa pembebanan secara grafis uji pressuremeter dalam lempung [Gibson dan Anderson, 1961].

(b) Analisa unloading secara grafis uji pressuremeter dalam lempung [Jefferies, 1988].

Untuk analisa unloading Jefferies (1988) menyatakan pengembangan pressuremeter sebagai tekanan rongga total, p_{max} diikuti dengan kontraksi yang kecil.

Awalnya kurva unloading pressuremeter adalah linier elastis dan dapat diterangkan dengan rumus ini :

$$p - p_{\max} = 2G \left(\frac{a - a_{\max}}{a_{\max}} \right) \quad (22)$$

dimana a_{\max} adalah perpindahan maksimum yang mendekati akhir pembebanan. Kurva unloading plastis dijelaskan dalam rumus :

$$p - p_{\max} = -2s_u \left[1 + \ln \left(\frac{G}{2s_u} \right) \right] - 2s_u \left(\frac{a_{\max}}{a} - \frac{a}{a_{\max}} \right) \quad (23)$$

dengan menganggap bahwa kuat geser tak terdrainasi pada unloading sama dengan pada loading. Menurut metode analisa pembebanan Gibson & Anderson, penyelesaian teoritis didefinisikan oleh persamaan (40) yang menyarankan hasil uji pressuremeter unloading harus digambarkan dalam hubungan antara tekanan rongga p vs $-\ln(a_{\max}/a - a/a_{\max})$ sebagaimana digambarkan dalam gambar 12 (b). Di dalam gambar tadi, kemiringan dari bagian yang plastis dari unloading berupa garis lurus yang sama dengan 2 kali kuat geser tak terdrainasi dari tanah, $2s_u$.

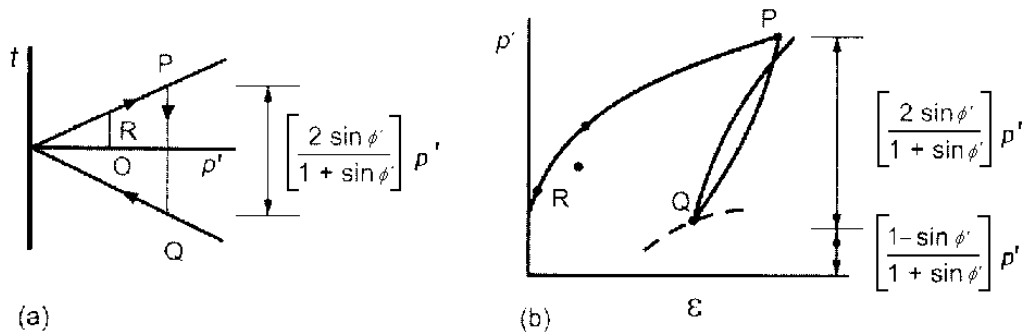
4. Uji pressuremeter dalam tanah pasir

Hasil uji pressuremeter dalam tanah pasir dapat digunakan untuk memperkirakan nilai modulus geser, tekanan horizontal dilapangan dan kuat geser tanah (sudut geser dan dilasi). Penyelesaian analitis berdasarkan pada analisa regangan kecil, yang memenuhi interpretasi dari uji selfboring pressuremeter dan menganggap pengembangan berlangsung secara perlahan dibawah kondisi drainasi penuh.

Modulus geser

Hasil uji pressuremeter dapat digunakan untuk menentukan modulus awal dalam uji Menard pressuremeter – lihat persamaan 23 dan modulus geser untuk unload – reload dalam uji selfboring pressuremeter- lihat persamaan 24. Bila pressuremeter dalam material yang isotropis linier, hubungan antara perubahan tekanan efektif rongga dan perubahan regangan rongga telah sangat dikenal; karenanya modulus geser G dapat ditentukan dari kemiringan kurva tekanan vs pengembangan seperti dilihat dari persamaan berikut :

$$G = \frac{1}{2} \frac{dp}{d\varepsilon_c} \quad (24)$$



Gambar 13. Rentang respon elastis dalam pasir elastis-plastis sempurna :

(a) alur tegangan geser dan (b) kurva uji pressuremeter [Wroth, 1982].

Dalam uji pressuremeter ditanah pasir, tegangan efektif rata-rata berubah sebagai fungsi dari tekanan rongga yang digunakan dan jarak dari dinding rongga. Karena kekakuan pada pasir tergantung dari tingkat tegangan dimana pengukuran dilakukan, modulus yang ditentukan dari lekukan unload-reload berturut-turut pada tahap pembebanan yang berbeda dari suatu pengujian diharapkan akan terlihat suatu peningkatan dalam kekakuan (untuk amplitudo geser yang sama) selama pengujian berlangsung.

Di dalam kasus tanah lempung, sangatlah penting untuk meyakinkan pada suatu pengurangan beban pada rongga yang mengembang tetap dalam daerah yang elastis, dimana regangan kecil. Wroth (1982) menyarankan besarnya perubahan dalam tegangan efektif rongga selama pengurangan beban elastis tidak melebihi :

$$\Delta p_{\max} = \frac{2 \sin \phi'}{1 + \sin \phi'} (p - u_0)_{\max} \quad (25)$$

$(p - u_0)_{\max}$ adalah tekanan efektif rongga dimana pengurangan beban (*unloading*) terjadi dan ϕ' sudut geser terdrainasi (dalam regangan membidang). Keadaan batas ini, dinyatakan dengan alur tegangan PQ dalam Gambar 13, dan tergantung dari tekanan rongga efektif dimana pengurangan beban (*unloading*) dimulai.

Tegangan total horizontal dilapangan

Walaupun bermacam metode dikembangkan untuk memperkirakan keadaan tegangan dilapangan, tetapi belum memungkinkan untuk menentukan secara akurat tegangan horizontal dalam kebanyakan endapan pasir alami. Sampai saat ini tegangan horizontal dilapangan dalam tanah pasir belum dapat ditentukan secara akurat sekalipun dengan menggunakan uji selfboring pressuremeter (lihat Windle (1976); Fahey (1980); Fahey & Randolph (1984)).

Parameter kuat geser terdrainasi

Di muka telah dibahas penyelesaian analitis untuk regangan kecil pada pengembangan rongga dalam material Mohr-Coulomb yang elastis-plastis sempurna yang memungkinkan sudut tahanan geser dan dilasi dapat ditentukan.

Hughes et al (1977) mengembangkan sebuah metode dimana kurva pengembangan rongga dalam tahap plastis dapat diterangkan dengan persamaan :

$$\ln(p - u_0) = S \ln \varepsilon_c + A \quad (26)$$

dimana A adalah konstanta dan S adalah kemiringan dari grafik yang menggambarkan tekanan efektif rongga vs ln regangan volumetric, yang dinyatakan dalam persamaan :

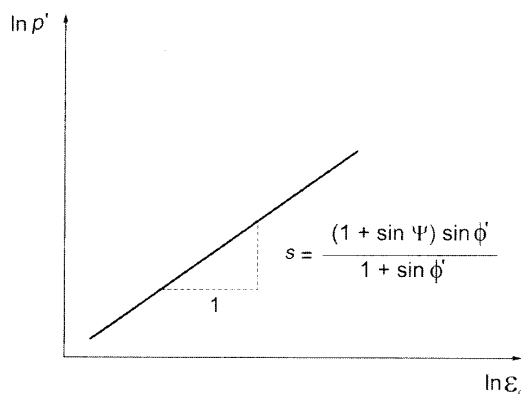
$$S = \frac{(1 + \sin \psi) \sin \phi'}{1 + \sin \phi'} \quad (27)$$

dimana ϕ' adalah sudut geser dan $\sin \psi = S + (S - 1) \sin \phi'_{cv}$, ψ adalah sudut dilasi.

Hubungan yang diperlukan untuk mendapatkan nilai ϕ' dan ψ dari pengukuran kemiringan kurva pressuremeter S dan sudut geser kritis dari tanah diberikan oleh hukum tegangan dilatansi Rowe dalam persamaan :

$$\sin \phi' = \frac{S}{1 + (S - 1) \sin \phi'_{cv}} \quad (28)$$

$$\sin \psi = S + (S - 1) \sin \phi'_{cv} \quad (29)$$



Gambar 14. Grafik pembebanan analisa uji pressuremeter dalam pasir [Hughes et al, 1977].

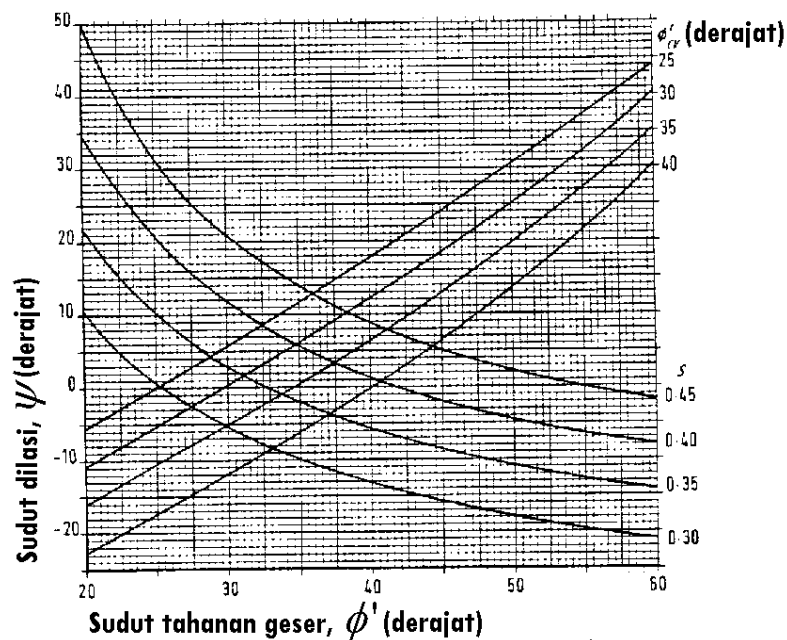
Metode ini banyak digunakan dalam pasir dan membutuhkan data pressuremeter digambarkan dalam hubungan antara $\ln p$ vs $\ln \varepsilon_c$, sebagaimana digambarkan dalam Gambar 14. Dalam gambar tadi, kemiringan dari bagian yang plastis akan menghasilkan

sebuah garis lurus sebesar S , yang akan digunakan untuk menentukan sudut geser dan dilasi dari persamaan (30) dan (31), dengan mengukur atau memperkirakan sudut geser kritisnya. Nilai standar dari ϕ'_{cv} dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Nilai standar ϕ'_{cv} [Schnaid, 2009].

Material	Bolton (1979)	Robertson & Hughes (1986)
	ϕ'_{cv}	ϕ'_{cv}
Pasir padat, gradasi baik atau kerikil	35°	40°
Pasir uniform, kepadatan sedang/pasir kasar	32°	34 – 37°
Lanau pasir dengan lempung, padat	32°	
Pasir halus dan lempung pasir, lempung lanauan	30°	30 – 34°
Lempung - shale	25°	
Lempung (London)	15°	

Sebagai alternatif yang lain dapat digunakan grafik dari (Mair & Wood, 1987) lihat gambar 15 untuk menentukan sudut tahanan geser ϕ' dan ψ dengan nilai ϕ'_{cv}



Gambar 15. Grafik untuk uji pres-suremeter dalam tanah pasir dan hubungan dengan parameter lainnya [Mair & Wood, 1987].

5. Uji pressuremeter dalam tanah kohesif dan butiran

Uji penetrasi, seperti SPT dan CPT banyak digunakan dalam interpretasi material tanah tersemenan, berhubung kesulitan dalam menyatakan perilakunya dengan menggunakan model sederhana dengan beberapa parameter konstitutif, korelasi empirik

untuk menentukan sifat-sifat tanah seringkali digunakan sebagai opsi yang disukai karena dapat disesuaikan menurut kondisi lokasi yang spesifik untuk memenuhi standar yang mencerminkan praktek rekayasa regional. Akan tetapi, metoda empiris atau semi empiris tidak dapat memenuhi hasil yang memuaskan dalam material tanah yang berkohesi dan mempunyai sudut geser dalam (c' dan ϕ'), sehingga tidak dapat ditentukan dari pengujian tunggal seperti dari q_c atau N_{60} saja.

Uji pressuremeter muncul sebagai pilihan yang terbaik untuk memeriksa ketepatan dari suatu hasil parameter untuk perancangan dalam tanah yang mempunyai kohesi dan sudut geser. Semua teori untuk interpretasi uji pressuremeter untuk tanah tersebut diatas menggunakan tegangan horizontal di lapangan, kekakuan tanah dan parameter kekuatan tanah: sudut geser dalam, sudut dilasi, dan kohesi yang berkurang dengan perubahan struktur tanah pada regangan geser yang tinggi. Kurva tekanan ekspansi karenanya menggambarkan gabungan dari semua parameter-parameter ini yang tidak dapat diperkirakan secara sendiri-sendiri.

Beberapa metode telah dikembangkan untuk interpretasi uji pressuremeter dalam material berkohesi dan butiran, dengan mempertimbangkan sudut geser dalam maupun kohesi yang tereduksi (Carter et al, 1986; Yu & Houlsby, 1991; Haberfield, 1997; Mantaras & Schnaid, 2002; Schnaid & Mantaras, 2003). Berhubung para peneliti terdahulu belum memperhitungkan dampak ikatan antar partikel pada nilai dilasi, solusi dari Mantaras & Schnaid (2002) dan Schnaid & Mantaras (2003) telah mempertimbangkan dengan lebih akurat penjelasan mengenai proses pengembangan rongga dalam material berkohesi dan butiran.

Konsep yang diperkenalkan oleh Rowe (1963), bahwa dilatasi plastis terkekang oleh adanya ikatan dalam tanah, telah diselidiki oleh Mantaras & Schnaid (2002) dan digunakan untuk menjelaskan komponen pertambahan tangensial dan radial plastis. Model tanah dan definisi tegangan & regangan yang digunakan sama seperti yang digunakan oleh Yu & Houlsby (1991).

Untuk material tanpa kohesi, persamaan yang diberikan telah disederhanakan seperti yang dipergunakan untuk material butiran dan mengusulkan penyelesaian pendekatan pada Yu dan Houlsby hubungan tekanan-ekspansi.

Dalam analisa elastis-plastis dalam material dalam material berkohesi dan butiran, tegangan geser dinyatakan oleh 2 parameter – sudut geser dalam dari material ϕ' dan kohesi tereduksi c' , sebagaimana diinterpretasikan dari selubung Mohr-Coulomb.

Kalau tegangan yang dipergunakan bertambah, pemuluran awal akan dimulai pada dinding rongga bila tegangan geser mencapai selubung longsor:

$$\sigma_r = \frac{2c' \cos \phi'}{1 - \sin \phi'} + \sigma_\theta \frac{1 + \sin \phi'}{1 - \sin \phi'} \quad (30)$$

Aturan aliran yang tidak terhubung dapat dinyatakan sebagai $\dot{\varepsilon}_\theta^p / \dot{\varepsilon}_r^p = -\beta$, dimana $\dot{\varepsilon}_\theta^p$ dan $\dot{\varepsilon}_r^p$ adalah komponen plastis dari pertambahan regangan tangensial dan radial. Pertambahan regangan plastis dihitung dengan mengurangi komponen elastis dari regangan total, yang membentuk persamaan :

$$\beta \dot{\varepsilon}_r + \dot{\varepsilon}_\theta = \beta \dot{\varepsilon}_r^e + \dot{\varepsilon}_\theta^e \quad (31)$$

Substitusikan nilai komponen regangan elastis yang didefinisikan oleh Hukum Hooke sehingga persamaan menjadi :

$$\beta \dot{\varepsilon}_r + \dot{\varepsilon}_\theta = \beta \frac{1-\nu^2}{E} \left[\Delta\sigma_r - \frac{\nu}{1-\nu} \Delta\sigma_\theta \right] + \frac{1-\nu^2}{E} \left[\Delta\sigma_\theta - \frac{\nu}{1-\nu} \Delta\sigma_r \right] \quad (32)$$

dimana ν adalah rasio Poisson. Definisi umum yang diusulkan oleh hukum Rowe, berdasarkan hipotesa pertambahan energi absolut minimum selama geser, dapat diadaptasi tidak hanya mempertimbangkan baik komponen kohesi dan gesekan saja, tetapi juga memperkenankan adanya degradasi dari kohesi selama geser:

$$\beta = \frac{\sigma_r'}{\left[\tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi_{cv}'}{2}\right) \right]^2 \sigma_\theta + \frac{2c_0'}{[1 + \varepsilon_r - \varepsilon_\theta - \gamma_p]^n} \tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi_{cv}'}{2}\right)} \quad (33)$$

dimana ε_r adalah regangan radial, ε_θ regangan keliling, γ_p regangan geser berkenaan dengan awal pelumeran dan c_0' kohesi puncak triaksial Mohr-Coulomb. Perlu diperhatikan bahwa reduksi dalam kohesi antar partikel dinyatakan secara sederhana sebagai sebuah parabola, dinyatakan sebagai sebuah fungsi regangan geser dan asimtotis mendekati nol pada regangan yang besar, sehingga:

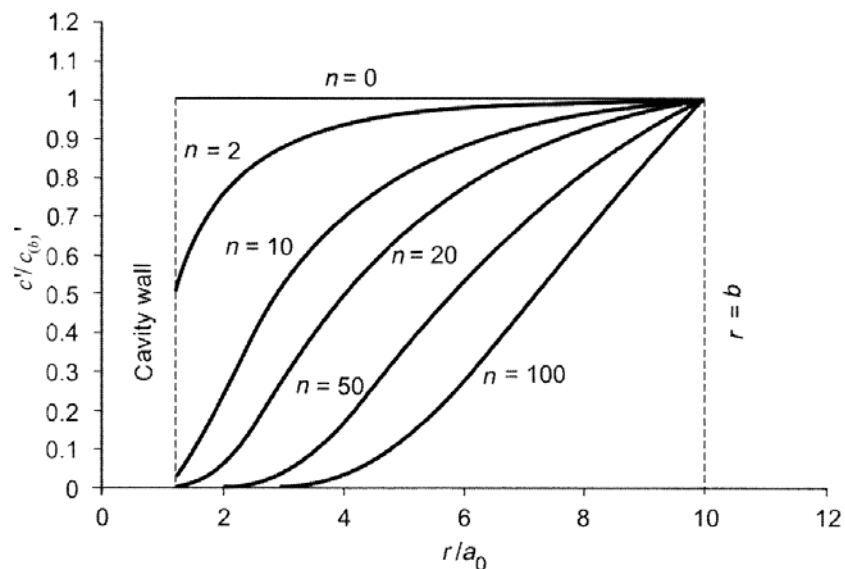
$$c' = \frac{c_0'}{(1 + \gamma - \gamma_p)^n} \quad (34)$$

n adalah indeks degradasi, dikalibrasikan menggunakan hasil uji laboratorium konvensional dan γ_p regangan geser puncak dihitung menggunakan hukum Hooke. Dengan menggunakan persamaan (34) untuk menjelaskan aturan aliran dapat mengurangi satu dari batasan yang utama pada formulasi pengembangan rongga klasik. Sebuah harga

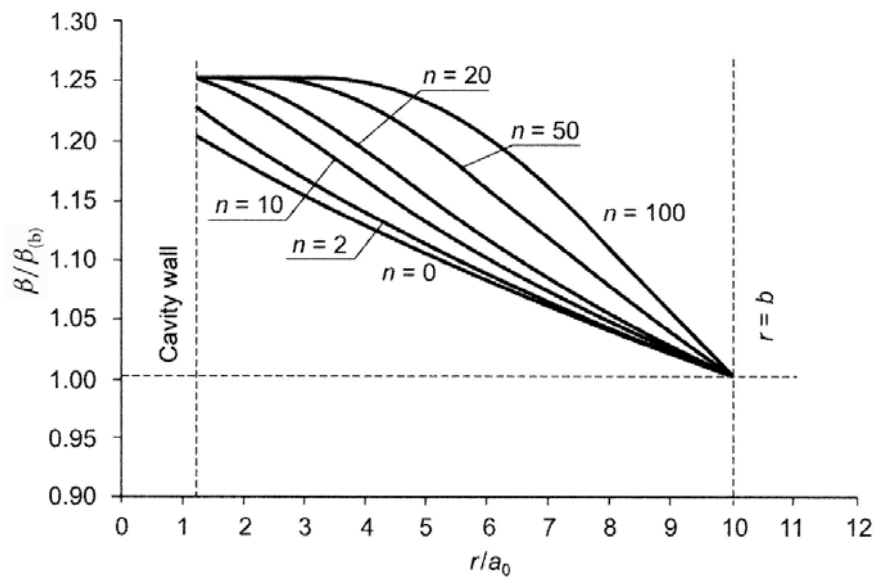
c_0' puncak dipilih untuk bagian yang elastis dan didalam bagian yang plastis analisa dapat tetap melacak jalannya pengurangan dalam kuat geser yang dihasilkan oleh amplitudo regangan geser desekeliling rongga.

Penyelesaian untuk persamaan-persamaan ini diformulasikan dalam suatu kerangka kerja yang tidak berkaitan dengan plastisitas yang menggunakan metoda Euler untuk memecahkan dua persamaan diferensial secara bersamaan, yang membawa kepada variasi berkelanjutan dari regangan, tegangan, perubahan volume yang dihasilkan oleh pengembangan rongga.

Pada pihak yang lain, pada antar muka elastis-plastis, semua variabel telah didefinisikan secara semestinya, yang memungkinkan tegangan radial dan keliling dan regangan dapat dihitung. Dengan menganggap posisi sebarang dari antar muka elastis-plastis b , daerah plastis dapat dibagi secara bertingkat (Dr). Dimulai dari $r = b$ dimungkinkan untuk menghitung β , kemudian daerah deformasi sekeliling daerah plastis dan akhirnya distribusi tegangan dalam daerah plastis. Hambatannya adalah bahwa analisa agak rumit dalam segi matematisnya, prosedur iterasi numerik yang konvergen diperlukan untuk menentukan kurva tekanan-ekspansi yang lengkap.



Gambar 16. Variasi dalam kohesi yang dinormalisasikan dalam daerah plastis [Schnaid & Mantaras, 2003].



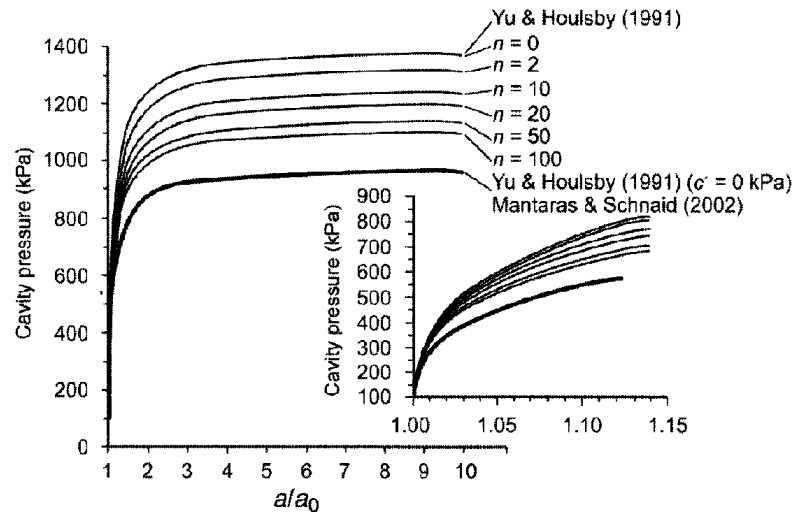
Gambar 17. Dilatasi yang dinormalisasikan dalam daerah plastis sekeliling rongga yang mengembang [Schnaid & Mantaras, 2003].

Gambar 16 dan 17 menggambarkan fitur dari perilaku yang dinyatakan oleh rasio $c'/c_{(b)}$ dan digambarkan terhadap radius rongga, dengan $c_{(b)}$ dan $\beta_{(b)}$ menjadi kohesi intercept dan dilasi pada antar muka elastis-plastis. Variasi dalam rasio kohesi $c'/c_{(b)}$ diperlihatkan dalam Gambar 16, dimana dimungkinkan untuk mengobservasi distribusi keseluruhan dari kohesi di sekeliling rongga dengan nilai indeks degradasi yang berbeda-beda untuk suatu material yang dilatan yang mengembang sampai satu setengah kali diameter aslinya.

Titik-titik material yang terletak pada batas elastis-plastis tidak memperlihatkan degradasi struktur dan karenanya nilai kohesi yang berkenaan dengan nilai puncak maksimum, sehingga rasio $c'/c_{(b)}$ menjadi sama dengan satu. Sesudah pengembangan material antara dinding rongga dan batas elastis-plastis telah berubah bentuk secara plastis, dengan amplitudo regangan geser berkurang dengan bertambahnya jarak dari dinding rongga. Rasio $c'/c_{(b)}$ karenanya akan berkurang dengan bertambahnya nilai g dan n , pengurangan ini menjadi sensitif untuk indeks degradasi tertentu. Gambar 17 memperlihatkan perubahan dengan radius untuk material yang sama dan kondisi batas yang diperlihatkan sebelumnya dalam Gambar 16. Suatu material yang utuh diperlihatkan pada $r = b$, yang berkenaan dengan

$\beta/\beta_{(b)} = 1$. Rasio $\beta/\beta_{(b)}$ bertambah secara bertahap dengan berkurangnya nilai r , kecepatan peningkatannya menjadi fungsi dari indeks degradasi n .

Schnaid dan Mantaras (2003) mempertunjukkan hasil dari analisa numerik untuk menggambarkan pengaruh degradasi struktur pada suatu material yang berada pada keadaan kritis (critical state; $\phi' = \phi'_{cv}$). Kohesi intercept pada awalnya diambil = 50 kPa, yang mewakili tanah yang dibentuk. Hubungan tekanan pengembangan digambarkan dalam Gambar 18 untuk suatu rentang indeks n yang berbeda-beda.



Gambar 18. Kurva hasil tekanan pengembangan dengan nilai n yang berbeda dengan $\phi' = \phi'_{cv}$ [Schnaid & Mantaras, 2003].

Hasil dari Yu & Houlsby (1991) dan Mantaras & Schnaid (2002) digambarkan juga dalam Gambar 18 untuk menjadi patokan untuk kasus dimana parameter kekuatan dipertimbangkan sebagai suatu konstanta. Perbesaran telah dibuatkan untuk awal pengembangan untuk memperlihatkan pola deformasi untuk regangan yang kecil. Dari hasil pengamatan, jelas terlihat bahwa tekanan batas (limit pressure) sangat kuat dipengaruhi oleh degradasi dari kohesi.

6. Uji pressuremeter dalam kondisi tanah *unsaturated*

Dalam interpretasi uji dilapangan, diperlukan untuk mengenal berbagai jenis material tanah, seperti tanah keras dan batuan lunak, yang mungkin tidak jenuh. Dalam kasus ini, fungsi matrix suction dan dampaknya pada permeabilitas tanah harus diketahui dan diperhitungkan sebab akan membedakan perilaku tanahnya.

Suatu sumbangan kepada analisa tanah tak jenuh adalah perluasan konsep critical state elastis-plastis oleh Alonso et al (1990). Dalam metode ini, kerangka acuan dinyatakan oleh 4 variabel : tegangan rata-rata netto ($p - u_a$), selisih tegangan (deviator

stress) q , suction $s(u_a - u_w)$ dan volume spesifik v , dimana u_a adalah tekanan udara dan u_w tekanan air pori. Beberapa model konstitutif akhirnya diusulkan mengikuti konsep yang sama (misalnya Josa et al, 1992; Wheeler & Sivakumar, 1995). Model konstitutif ini memungkinkan penurunan dari tempat kedudukan pelumeran dalam kordinat ruang (p,q,s) , suatu analisa yang membutuhkan 9 parameter tanah. Model parameter diperkirakan dari uji laboratorium suction-controlled seperti uji tekan isotropis dan uji kuat geser terdrainasi.

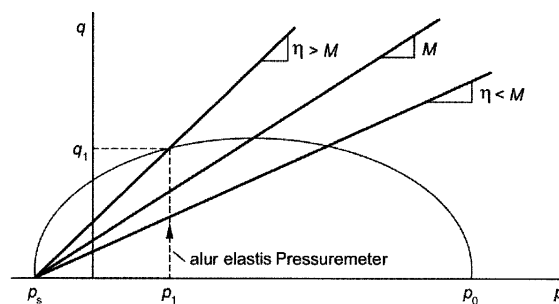
Kondisi isotropis dalam tanah tak jenuh dicirikan oleh pembebanan runtuh (loading collapse, LC) kurva pelumeran yang hukum pengerasannya (hardening law) diatur oleh deformasi volumetrik plastis total. Kurva pelumeran (yield curve) dinyatakan sebagai fungsi eksponensial negatif sebagaimana diusulkan oleh Balmaceda (1991):

$$p_0 = (p_0^* - p_c) + p_c [(1 - m)e^{-\alpha s} + m] \quad (35)$$

dimana p_0 adalah tegangan prakonsolidasi pada suatu tegangan suction, p_0^* adalah tegangan prakonsolidasi dibawah kondisi terendam, p_c tegangan acuan (lebih kecil dari p_0^* , tetapi mendekati harga itu), α faktor bentuk tak berdimensi dan m parameter tak berdimensi, lebih besar dari 1, yang mengontrol evolusi keruntuhan bila p_0 bertambah.

Parameter keadaan yang harus dimasukkan dan diperhitungkan adalah pengaruh dari tegangan geser q . Kurva pelumeran untuk suatu contoh pada suction yang tetap s dinatakan sebagai ellips, dimana tegangan prekonsolidasi isotropis didefinisikan sebagai p_0 terletak pada kurva pelumeran pembebanan runtuh Gambar 19. Garis keadaan kritis (critical state line, CSL) untuk suction yang tidak nol dianggap sebagai hasil penambahan kohesi, menjaga kemiringan M dari CSL untuk kondisi jenuh. Bila pertambahan pada kohesi mengikuti hubungan yang linier dengan suction, ellips akan berpotongan dengan sumbu p pada sebuah titik dimana $p = -p_s = -k$, dimana k adalah konstan. Lalu ellips dapat dinyatakan dengan persamaan dari Alonso et al, 1990):

$$q^2 = M^2 (p + p_s)(p_0 - p) = 0 \quad (36)$$



Gambar 19. Keadaan tegangan dalam ruang $p - q$ untuk alur tegangan pengembangan silinder [Schnaid, 2009].

Yang merupakan fungsi lumer dalam suatu model critical state modified Cam clay (Muir Wood, 1990). Dengan mengkombinasikan prinsip critical state dengan teori pengembangan rongga, Schnaid et al (2004) mengembangkan metode interpretasi yang pertama untuk menurunkan sifat uji penetrasi pressuremeter dalam tanah tak jenuh. Tegangan lumer arah radial p menyatakan awal lumernya dinding rongga dalam bentuk :

$$p = \sigma_{h0}(1 + \sin \phi') + c \cos \phi' \quad (37)$$

dimana σ_{h0} adalah tegangan horizontal dilapangan, ϕ' sudut geser efektif dari tanah dan c adalah kohesi total. Kondisi tanah tak jenuh membutuhkan suatu persamaan yang menghubungkan suction dengan kohesi :

$$c = c' + \frac{u_a - u_w}{a + b(u_a - u_w)} \quad (38)$$

dimana c' adalah kohesi efektif dan a & b adalah koefisien yang best fit.

Tegangan rata-rata dinyatakan dalam tegangan oktahedral, yang dalam koordinat silinder didefinisikan oleh dua tegangan yang invarian, dinyatakan dalam koefisien tekanan tanah dalam keadaan netral,

$$K_0 = (\sigma_{h0} - u_{a0}) \sigma_v : \quad p = \frac{\sigma_{h0}}{3} \left(2 + \frac{1}{K_0} \right) - u_a \quad (39.a)$$

$$q = \sigma_{h0} \left[\frac{(4K_0^2 - 2K_0 + 1)}{K_0^2} \right] - 3 \cos \phi'_p \left(\frac{P_0^2 \cos \phi'_p - c^2 \cos \phi'_p}{P_0^2} \right)^{1/2} \quad (39.b)$$

dimana ϕ'_{ps} adalah sudut geser puncak dari tanah. Sehingga memungkinkan untuk menghitung tekanan lumer pada keadaan tegangan isotropis pada setiap tingkat suction yang diberikan:

$$p_0 = \frac{q^2}{M^2 (p + p_s)} + p \quad (40)$$

dimana p_s dan M didefinisikan sebagai :

$$-p_s = -c \cos \phi'_{cs} \quad (41)$$

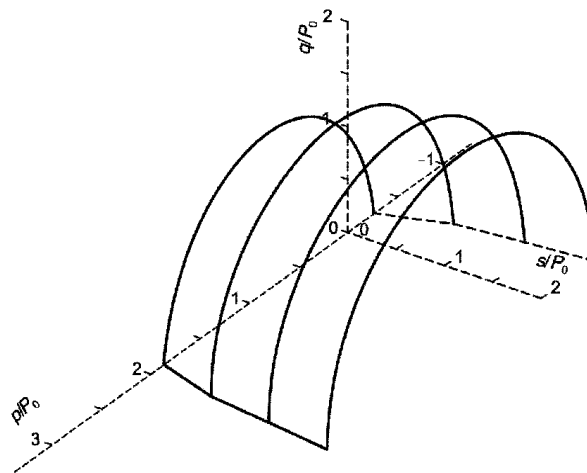
$$M = \frac{q}{p} = \left[\frac{(4K_0^2 - 2K_0 + 1)}{K_0^2} - 3 \cos^2 \phi'_{cs} \right]^{1/2} \frac{3K_0}{2K_0 + 1} \quad (42)$$

ϕ'_{cs} adalah sudut geser critical state dari tanah. Perhatikan bila $K_0 = 1$, persamaan (42)

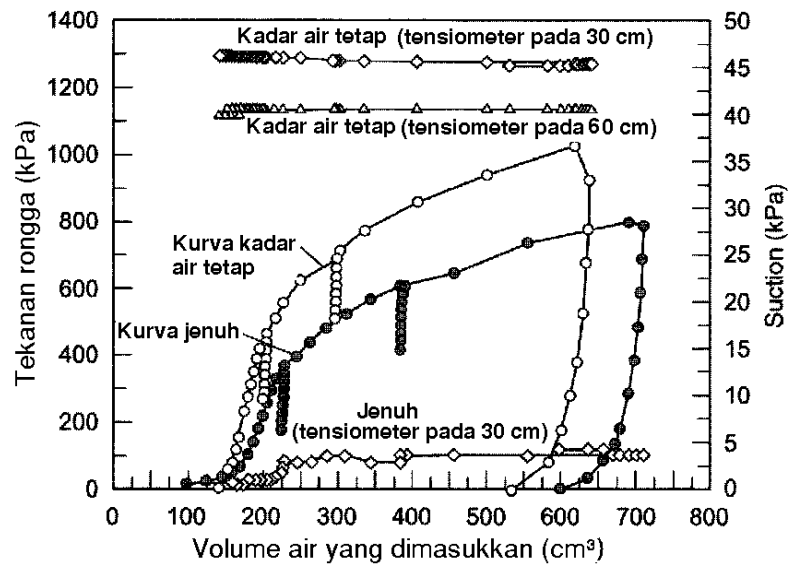
menjadi : $M = \sqrt{3} \sin \phi'_{cs}$.

Dibuat anggapan bahwa suction dilapangan tetap konstan selama fase pengembangan dalam uji pressuremeter, karena besaran regangan geser hanya signifikan pada jarak radial yang sangat kecil dari dinding rongga pressuremeter (Houlsby, 1998) dan tidak ada perubahan yang penting dalam derajat kejenuhan dalam daerah yang dipengaruhi oleh pengembangan rongga. Anggapan ini membolehkan hubungan tegangan-reganganyang samadapat dipergunakan untuk analisa terdrainasi dalam tanah jenuh sebagaimana dalam tanah tak jenuh, dengan menganggap bahwa tanah tak jenuh pada suction yang tetap berperilaku secara kualitatif sebagaimana tanah dalam keadaan jenuh. Berdasarkan kerangka kerja ini, interpretasi uji pressuremeter dapat digunakan untuk menilai parameter konstitutif yang perlu untuk menjelaskan permukaan lumer tiga dimensi dalam (p, q, s) ruang dalam tanah tak jenuh sebagaimana diperlihatkan dalam Gambar 20.

Pengenalan bahwa matric suction menghasilkan suatu komponen tegangan efektif tambahan menyarankan adanya kebutuhan untuk menghubungkan besarnya insitu suction dengan respon pengamatan uji dilapangan. Hal ini menyebabkan pengembangan suction monitored pressuremeter tests (SMPM), yang dapat memonitor insitu suction selama pengujian berlangsung dengan tensiometer diposisikan dekat dengan probe pressuremeter.



Gambar 20. Tampak tiga dimensi dari bidang pelumeran dalam ruang $(p/P_0, q/P_0, s/P_0)$ [Schnaid, 2009].



Gambar 21. Hasil uji Self Monitored Pressuremeter tests (SMPM).

7. Kesimpulan

1. Analisa untuk persoalan yang melibatkan pembebanan aksial simetri (axially symmetric loading) pertama kali diperkenalkan oleh Timoshenko dan Goodier (1951).
2. Pemecahan persoalan dengan menggunakan teori pengembangan rongga berbentuk silinder dengan anggapan masa tanah adalah homogen, isotropis dan medium yang menerus (continuous medium) dan regangan yang terjadi adalah kecil (small strain).
3. Dengan teori ini dimungkinkan untuk simulasi pengembangan suatu rongga silinder yang panjang (panjang jauh lebih besar dari radius) ,baik untuk tanah lempung maupun untuk tanah butiran.
4. Material disekeliling rongga mengalami deformasi regangan membidang (plane strain), tanpa ada deformasi dalam arah sejajar dengan sumbu rongga.
5. Tegangan yang bekerja sesuai dengan definisi adalah tegangan radial, tegangan keliling dan tegangan aksial, semua tegangan adalah tegangan utama.
6. Tegangan aksial dianggap merupakan tegangan antara dan kondisi regangan membidang (plane strain) dianggap bekerja dalam arah aksial.

Daftar Pustaka

1. Alonso, E.E., Gens, A. and Josa, A. 1990. A constitutive model for partially saturated soils. *Geotechnique*, 40(3):405-430

2. ASTM D-4719 Standard test method for prebored pressuremeter testing in soils, Volume 04.08. American Society for Testing & Materials Standard, 2000
3. Carter, J.P., Booker, J.P. and Yeung, S.K. 1986. Cavity expansion in cohesive frictional soils. *Geotechnique*, 36:349-358
4. Haberfield, C.M. 1997. Pressuremeter testing in weak rock and cemented sand. *Proceedings Institution of Civil Engineers, Geotechnical Engineering*, 125:168-178
5. Jeremic, B. Cavity Expansion Theory, Lecture notes Advanced Soil Mechanics, UC Davis, Fall 2008
6. Mantaras, F.M. & Schnaid, F. 2002. Cavity expansion in dilatant cohesive-frictional soils. *Geotechnique*, 52(5):337-348
7. Schnaid F. & Mantaras F.M. 2003. Cavity expansion in cemented materials: structure degradation effects. *Geotechnique*, 53(9):797-807
8. Schnaid F. 2005. Geocharacterization and properties of natural soils by in-situ tests. State of the art report. Proc. 16th International Conference on Soil Mechanics & Geotechnical Engineering (ICSMGE), Osaka, 1:3-46
9. Schnaid, F. 2009. *In situ Testing in Geomechanics*. Taylor & Francis, London & New York
10. Timoshenko S.P. & Goodier J.N. 1951. *Theory of Elasticity*. McGraw-Hill Book Co., New York, NY
11. Wheeler, S.J. & Sivakumar, V. 1995. An elasto-plastic critical state framework for unsaturated soil. *Geotechnique*, 45(1): 35-53
12. Yu, H.S. & Houlsby G. 1991, Finite cavity expansion in dilatant soils : loading analysis. *Geotechnique*, 41(2):173-183

EVALUASI KARAKTERISTIK AGREGAT UNTUK DIPERGUNAKAN SEBAGAI LAPIS PONDASI BERBUTIR

Yully Yanette¹, Tan Lie Ing¹, Samun Haris²

^{1,2}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha,
Jalan Prof. drg. Suria Sumantri, MPH., No.65, Bandung

²Bina Marga Bandung

e-mail: yuzee_girl@yahoo.com

ABSTRAK

Agregat didefinisikan sebagai formasi kulit bumi yang keras dan padat juga merupakan material yang digunakan sebagai bahan campuran. Sifat agregat merupakan salah satu faktor penentu dalam merencanakan suatu lapis pondasi. Terdapat dua kelas yang berbeda dari lapis pondasi agregat berdasarkan klasifikasi umum yang ditetapkan oleh Departemen Pekerjaan Umum, yaitu lapis pondasi Kelas A dan lapis pondasi Kelas B. Lapis pondasi agregat Kelas A adalah mutu lapis pondasi untuk suatu lapisan di bawah lapisan beraspal, dan lapis pondasi agregat Kelas B adalah untuk lapis pondasi bawah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi karakteristik agregat terhadap sifat-sifat lapis pondasi agregat yang sesuai dengan Spesifikasi Umum. Material yang digunakan adalah agregat yang berasal dari mesin pemecah batu dengan ukuran batuan 2/3, batuan 1/1 dan abu batu yang diambil dari salah satu wilayah di kota Bandung. Pengujian persyaratan yang harus dipenuhi oleh bahan agregat adalah untuk lapis pondasi agregat Kelas A dan pengujian dilakukan di Laboratorium Material Perkerasan Jalan, Dinas Bina Marga Provinsi Jawa Barat. Hasil dari penelitian ini didapat bahwa untuk fraksi batuan 2/3 berat jenis sebesar 2,68, penyerapan air sebesar 2,54%, dan untuk fraksi batuan 1/1 berat jenis sebesar 2,42, dan penyerapan air sebesar 2,84%. Pengujian abrasi didapatkan sebesar 19,6%, batas cair sebesar 20,55%, indeks plastisitas sebesar 3,65, dan berdasarkan klasifikasi umum memenuhi persyaratan sehingga bisa dilakukan rancangan campuran gradasi dengan proporsi campuran untuk fraksi batuan 2/3 sebesar 47%, fraksi batuan 1/1 sebesar 24%, dan fraksi abu batu sebesar 29%.

Kata kunci: Agregat, Lapis pondasi, Spesifikasi umum.

1. PENDAHULUAN

Agregat merupakan material yang digunakan sebagai bahan campuran, yang berupa berbagai jenis butiran atau pecahan yang termasuk didalamnya seperti: pasir, kerikil, agregat pecah, abu atau debu batu. Untuk memilih suatu jenis agregat sebagai bahan lapis pondasi tergantung pada tersedianya bahan setempat dan mutu bahan, tetapi dapat atau tidaknya suatu agregat digunakan sebagai material lapis pondasi ditentukan dari hasil uji laboratorium.

Sifat agregat merupakan salah satu faktor penentu dalam merencanakan suatu lapis pondasi jalan. Oleh karena itu perlu dilakukan pemeriksaan yang teliti terhadap sifat-sifat agregat sebelum diputuskan suatu agregat dapat dipergunakan sebagai material lapis pondasi.

Tujuan penelitian adalah untuk mengevaluasi karakteristik agregat terhadap sifat-sifat lapis pondasi agregat dan untuk mendapatkan gradasi campuran agar dapat dipergunakan sebagai pencampur material lapis pondasi agregat Kelas A yaitu mutu lapis pondasi untuk suatu lapisan di bawah lapisan beraspal, sesuai dengan syarat-syarat yang terdapat dalam Spesifikasi Umum yang ditetapkan oleh Departemen Pekerjaan Umum.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Agregat

Agregat memiliki sifat keras dan padat. Sifat dan kualitas agregat merupakan salah satu faktor penentu dalam merencanakan suatu lapis pondasi. Oleh karena itu perlu pemeriksaan yang teliti sebelum diputuskan suatu agregat dapat dipergunakan sebagai material lapis pondasi. Sifat-sifat agregat yang menentukan kualitasnya adalah:

- a. Gradasi Agregat
- b. Daya Tahan Agregat
- c. Bentuk dan Tekstur Agregat
- d. Berat Jenis

Di lapangan agregat lebih sering dikenal dengan sebutan batu pecah. Batu pecah terbagi menjadi 2, yaitu pecah tangan dan pecah mesin. Dalam pengujian ini digunakan batu pecah mesin dengan ukuran batuan $2/3$ yaitu batu yang rata-rata memiliki ukuran diameter 2-3cm, batuan $1/1$ yaitu batu yang rata-rata memiliki ukuran diameter kurang lebih 1cm, dan abu batu yaitu abu atau debu dari batu pecah dan dominan lolos saringan No. 200.



Gambar 1. Batuan 2/3.



Gambar 2. Batuan 1/1.



Gambar 3. Abu batu.

Struktur Perkerasan

Lapisan Permukaan

Lapisan permukaan (*Surface Course*) merupakan lapisan paling atas dari struktur perkerasan jalan. Pada umumnya lapisan permukaan menggunakan bahan pengikat aspal, sehingga menghasilkan lapisan yang kedap air, berstabilitas tinggi, dan memiliki daya tahan selama masa pelayanan.

Lapisan Pondasi

Lapisan pondasi (*Base Course*) adalah lapisan perkerasan yang terletak diantara lapis pondasi bawah dan lapis permukaan. Material yang digunakan untuk lapis pondasi adalah material yang cukup kuat dan awet sesuai syarat teknik dalam spesifikasi pekerjaan. Lapisan pondasi dapat dipilih lapis berbutir tanpa pengikat atau lapis dengan aspal sebagai pengikat. Oleh karena itu berdasarkan jenis bahan, pondasi dapat dibagi menjadi 2 jenis, yaitu pondasi berbutir dengan atau campuran dan pondasi tidak berbutir (tanah) dengan campuran.

Jenis lapis pondasi yang umumnya dipergunakan di Indonesia antara lain:

1. Agregat bergradasi baik dapat dibagi atas:
 - a. Agregat kelas A.
 - b. Agregat kelas B.

Pada umumnya lapis pondasi agregat kelas A adalah mutu lapis pondasi atas untuk suatu lapisan di bawah lapisan beraspal, dan lapis pondasi agregat kelas B adalah untuk lapis pondasi bawah. Agregat untuk lapis pondasi harus memenuhi sifat-sifat yang diberikan pada Tabel 1. Dan dalam menentukan campuran gradasi untuk lapis pondasi agregat harus memenuhi persyaratan gradasi seperti pada Tabel 2.

Tabel 1. Sifat-sifat Lapis Pondasi Agregat

Sifat-sifat	Kelas A	Kelas B
Abrasi (SNI 03-2417-1990)	0 – 40%	0 – 40%
Indek Plastisitas (SNI 03-1966-1990)	0 – 6	0 – 10
Hasil kali Indek Plastisitas dgn % Lolos saringan No.200	Maks. 25	-
Batas Cair (SNI 03-1967-1990)	0 – 25	0 – 35
Bagian yang Lunak (SNI M-01-1994-03)	0 – 5%	0 – 5%
CBR (SNI 03-1744-1989)	Min. 90%	Min. 60%

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, Spesifikasi Umum, 2006

Tabel 2. Gradasi Lapis Pondasi Agregat

Ukuran saringan	Bukaan saringan (mm)	Persen berat yang lolos	
		Kelas A	Kelas B
2"	50	-	100
1 ½"	37,5	100	88 – 95
1"	25,0	79 – 85	70 – 85
¾"	19,0	44 – 58	30 – 65
No. 4	4,75	29 – 44	25 – 55
No. 10	2,0	17 – 30	15 – 40
No. 40	0,425	7 – 17	8 – 20
No. 200	0,075	2 – 8	2 – 8

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, Spesifikasi Umum, 2006

1. Pondasi macadam.
2. Pondasi telford.
3. Penetrasi macadam (Lapen).
4. Laston sebagai lapis pondasi, dikenal dengan nama AC-Base (*Asphalt Concrete-Base*).
5. Lataston sebagai lapis pondasi, dikenal dengan nama HRS-Base (*Hot Rolled Sheet-Base*).
6. Stabilisasi yang terdiri dari:
 - a. Stabilisasi agregat dengan semen (*Cement Treated Base*).
 - b. Stabilisasi agregat dengan kapur (*Lime Treated Base*).

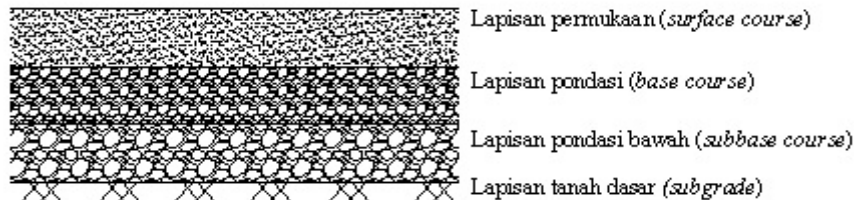
- c. Stabilisasi agregat dengan aspal (*Asphalt Treated Base*).

Lapisan Pondasi Bawah

Lapisan pondasi bawah (*Subbase Course*) adalah lapisan yang terletak diantara lapis pondasi dan tanah dasar.

Lapisan Tanah Dasar

Lapisan tanah setebal 50-100 cm di atas mana diletakkan lapisan pondasi bawah dan atau lapisan pondasi dinamakan lapisan tanah dasar (*Subgrade*), yang dikenal sebagai lapisan subgrade. Mutu persiapan lapisan tanah dasar sebagai perletakkan struktur perkerasan jalan, sangat menentukan ketahanan struktur dalam menerima beban lalu lintas selama masa pelayanan.



Gambar 4. Penampang Struktur Perkerasan

Pengujian Agregat

Pengujian Berat Jenis (SNI 03-1970-1990)

Pengujian berat jenis dilakukan untuk memperoleh berat jenis bulk, berat jenis kering permukaan dan berat jenis semu serta besarnya penyerapan air.

1. Fraksi Batuan 2/3
 - a. Berat jenis bulk (*bulk specific gravity*)

$$G_{sb} = \frac{B_k}{B_j - B_a} \quad (1)$$

- b. Berat jenis kering permukaan (*saturated surface dry*)

$$G_{ssd} = \frac{B_j}{B_j - B_a} \quad (2)$$

- c. Berat jenis semu (*specific gravity*)

$$G_{st} = \frac{B_k}{B_k - B_a} \quad (3)$$

d. Penyerapan

$$\text{Penyerapan} = \frac{B_i - B_k}{B_k} \times 100\% \quad (4)$$

2. Fraksi Batuan 1/1

a. Berat jenis bulk

$$G_{sb} = \frac{D_k}{(B + 500 - B_t)} \quad (5)$$

b. Berat jenis kering permukaan

$$G_{srd} = \frac{500}{(B + 500 - B_t)} \quad (6)$$

c. Berat jenis semu

$$G_{sa} = \frac{B_k}{(B + B_k - B_t)} \quad (7)$$

d. Penyerapan

$$\text{Penyerapan} = \frac{(500 - B_k)}{B_k} \times 100\% \quad (8)$$

Pengujian Abrasi (SNI 03-2417-1991)

Ketahanan terhadap abrasi sering dipakai sebagai indeks secara umum untuk kualitas agregat karena kekuatan agregat merupakan sifat yang tidak bisa dirubah. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengujian untuk mendapatkan angka keausan dari agregat dengan menggunakan mesin Abrasi Los Angeles.

$$\text{Keausan} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \quad (9)$$

Pengujian Indeks Plastisitas (SNI 03-1966-1990)

Pengujian indek plastisitas ini menggunakan abu batu yang lolos saringan No. 40. Untuk mendapatkan angka indek plastisitas, dilakukan pengujian terhadap batas plastis dan batas cair yang dilakukan sekaligus.

$$IP = LL - PL \quad (10)$$

Tes Gradasi

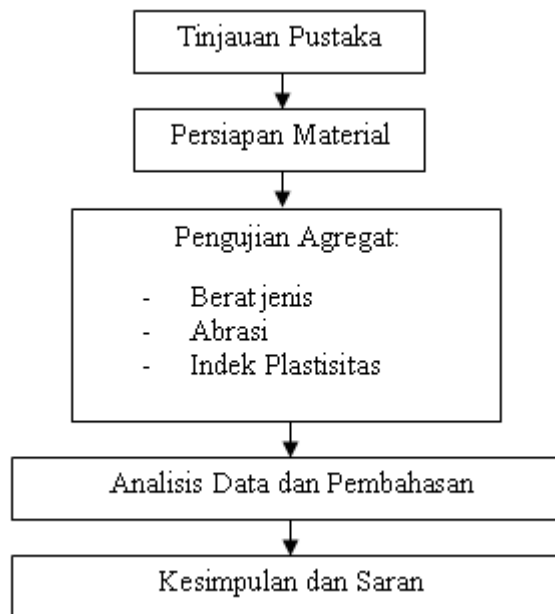
Gradasi diperoleh dari pengujian analisis saringan yang bertujuan untuk penentuan persentase butiran yang lolos dari satu set saringan, kemudian angka-angka persentase digambarkan pada grafik pembagian butir.

Desain Rancangan Proporsi Agregat

Agregat campuran adalah agregat yang diperoleh dari mencampur secara proposional fraksi batuan 2/3, fraksi batuan 1/1, dan fraksi abu batu. Proporsi dari masing-masing fraksi batuan dirancang secara proposional sehingga diperoleh gradasi agregat yang diinginkan.

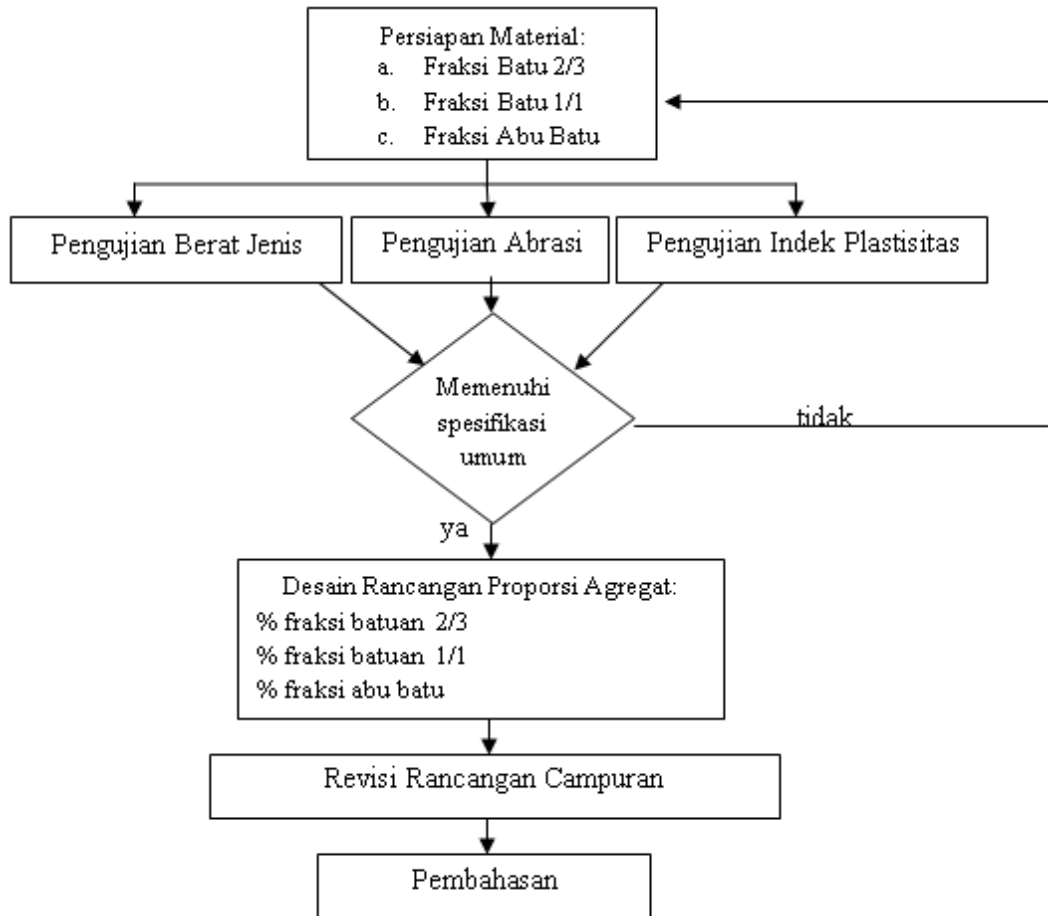
3. METODOLOGI PENELITIAN

Diagram Alir Penelitian



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

Bagan Alir Pengujian



Gambar 6. Bagan Alir Pengujian

Lokasi Pengambilan Agregat

Dalam penelitian tugas akhir ini digunakan bahan material yang berasal dari pabrik pemecah batu yang berada di salah satu wilayah Bandung. Alasan memilih agregat dari daerah ini karena secara umum area ini dipandang sebagai area yang memiliki deposit cukup besar untuk penambangan batu sebagai salah satu bahan untuk lapis pondasi. Batu yang diambil dari lapangan adalah batuan 2/3, batuan 1/1, dan abu batu. Untuk mendapatkan karakteristik agregat yang dapat dipergunakan sebagai bahan pencampur lapis pondasi dan merancang campuran gradasi dari fraksi-fraksi batuan yang ada dilapangan, maka agregat tersebut harus diuji terlebih dahulu terhadap sifat-sifat lapis pondasi yang sesuai dengan spesifikasi umum.

4. ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Tabel 3. Perbandingan Hasil Pengujian Dengan Batas Spesifikasi Umum

No.	Pengujian	Fraksi Batuan 2/3	Fraksi Batuan 1/1	Batas Spesifikasi
1	Berat Jenis (SNI 03-1970-1990)			
	- Berat jenis (Bulk)	2,68	2,42	
	-Berat jenis kering permukaan jenuh (Saturated surface dry)	2,75	2,49	
	-Berat jenis semu (Apparent)	2,87	2,6	
	-Penyerapan air (Absorption)	2,54%	2,84%	< 3%
2	Abrasi (SNI 03-2417-1991)	19,6%		0 – 40%
3	Batas Cair (SNI 03-1967-1990)	20,55		0 – 25
4	Indek Plastisitas (SNI 03-1966-1990)	3,65		0 – 6

Analisis Hasil Tes Gradasi

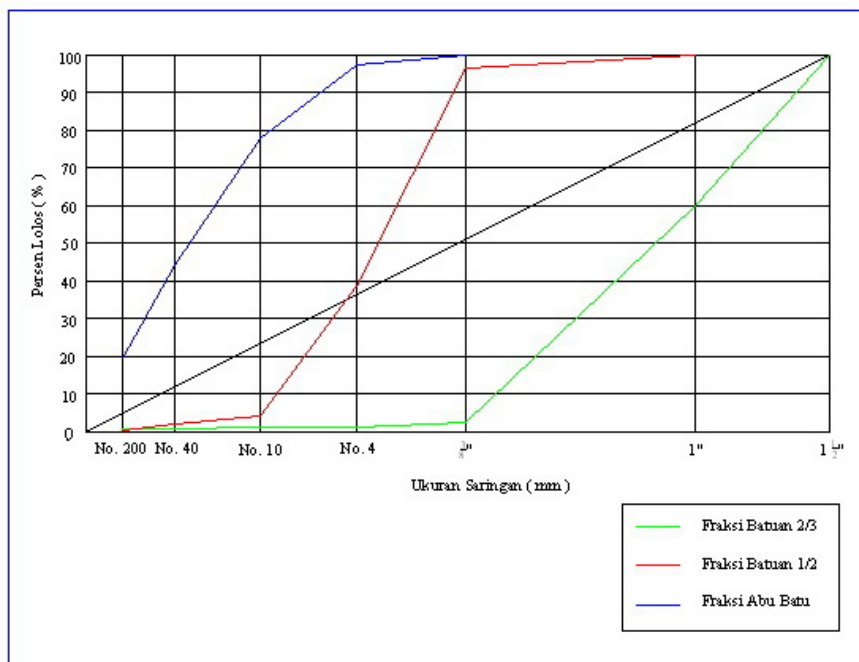
Tabel 4. merupakan gradasi dari tiga fraksi yaitu fraksi batuan 2/3, fraksi batuan 1/1, dan fraksi abu batu yang akan dicampur untuk mendapatkan agregat campuran dengan gradasi sesuai spesifikasi umum.

Tabel 4. Pencampuran dari 3 fraksi

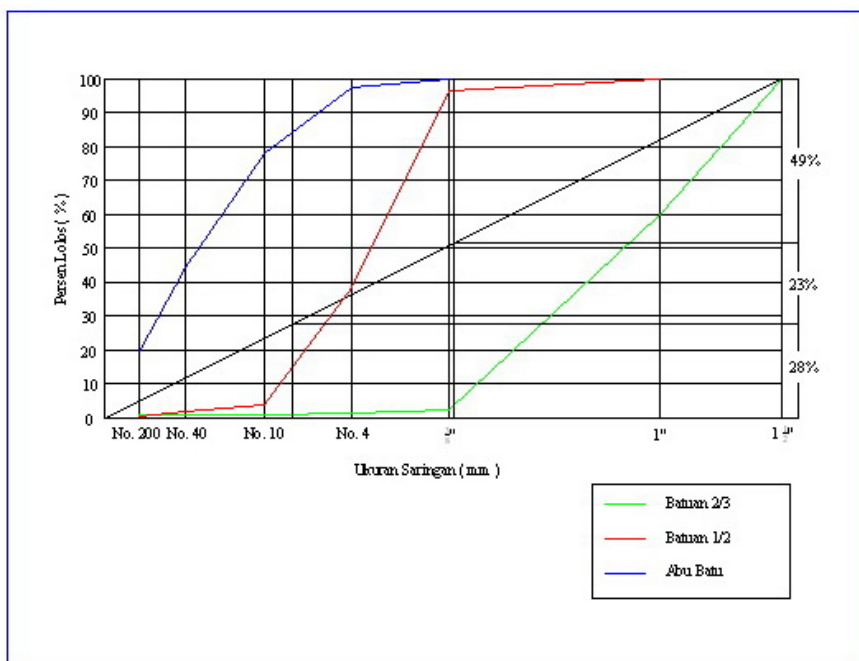
Ukuran saringan	Bukaan saringan (mm)	Spesifikasi agregat campuran	Gradasi tengah spesifikasi	% Lolos Fraksi Batuan 2/3	% Lolos Fraksi Batuan 1/1	% Lolos Fraksi Abu batu
1 ½"	37,5	100	100	100	100	100
1"	25,0	79 – 85	82	59,7	100	100
3/8"	9,50	44 – 58	51	2,5	96,5	100
No. 4	4,75	29 – 44	36,5	1,3	38,6	97,3
No. 10	2,0	17 – 30	23,5	1	4,1	77,7
No. 40	0,425	7 – 17	12	0,7	2,1	44,1

No. 200	0,075	2 – 8	5	0,5	0,4	19,5
---------	-------	-------	---	-----	-----	------

Hasil dari 3 fraksi yang terdapat pada Tabel 4. kemudian diplot kedalam grafik hubungan antara persen lolos (%) dengan ukuran saringan (mm) seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Lengkung Gradasi.



Gambar 8. Pencampuran dari Fraksi Batuan 2/3, Batuan 1/1, dan Abu Batu.

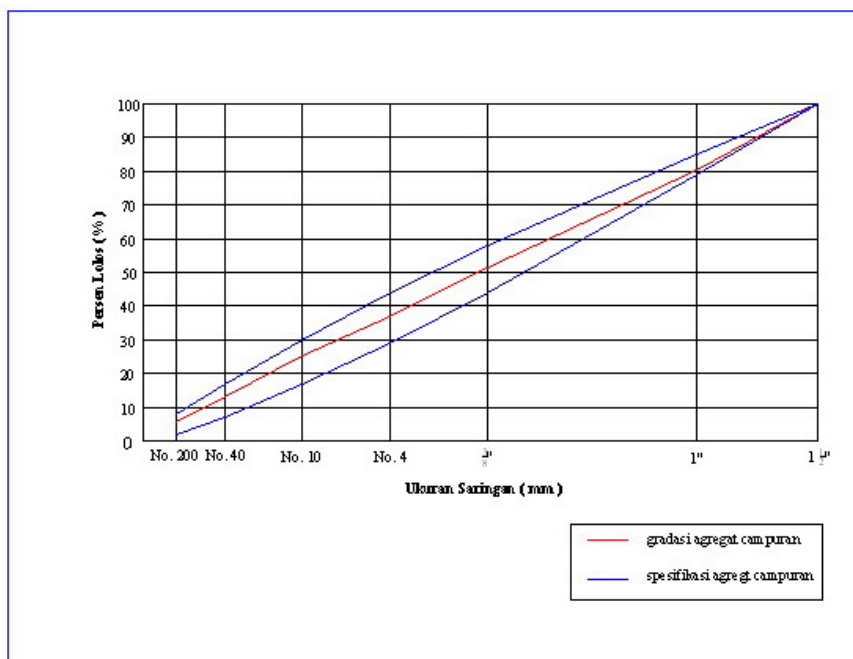
Analisis Hasil Desain Rancangan Proporsi Agregat

Dari Gambar 8. diperoleh campuran 49% proporsi fraksi batuan 2/3 ditambah 23% proporsi fraksi batuan 1/1, dan 28% proporsi fraksi abu batu untuk mendapatkan agregat campuran dengan gradasi sesuai spesifikasi umum. Hasil agregat campuran ini kemudian dicek kembali dengan menggunakan Tabel 5.

Tabel 5. Gradasi agregat campuran

Ukuran saringan	Bukaan saringan (mm)	49% fraksi batuan 2/3	23% fraksi batuan 1/1	28% fraksi abu batu	Gradasi agregat campuran	Gradasi tengah spesifikasi	Spesifikasi agregat campuran
1 1/2"	37,5	49	23	28	100	100	100
1"	25,0	29,3	23	28	80,3	82	79 – 85
3/8"	9,50	1,2	22,2	28	51,4	51	44 – 58
No. 4	4,75	0,6	8,9	27,2	36,7	36,5	29 – 44
No. 10	2,0	0,49	0,9	21,8	23,19	23,5	17 – 30
No. 40	0,425	0,3	0,5	12,3	13,1	12	7 – 17
No. 200	0,075	0,2	0,1	5,5	5,8	5	2 – 8

Dari Tabel 5. terlihat bahwa hasil rancangan memenuhi spesifikasi agregat campuran seperti yang terlihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Lengkung Gradasi Hasil Pencampuran Agregat

PEMBAHASAN

Dari Tabel 3. didapat bahwa sifat-sifat agregat yang diuji memenuhi semua persyaratan terhadap sifat-sifat lapis pondasi sehingga agregat tersebut dapat digunakan sebagai material lapis pondasi.

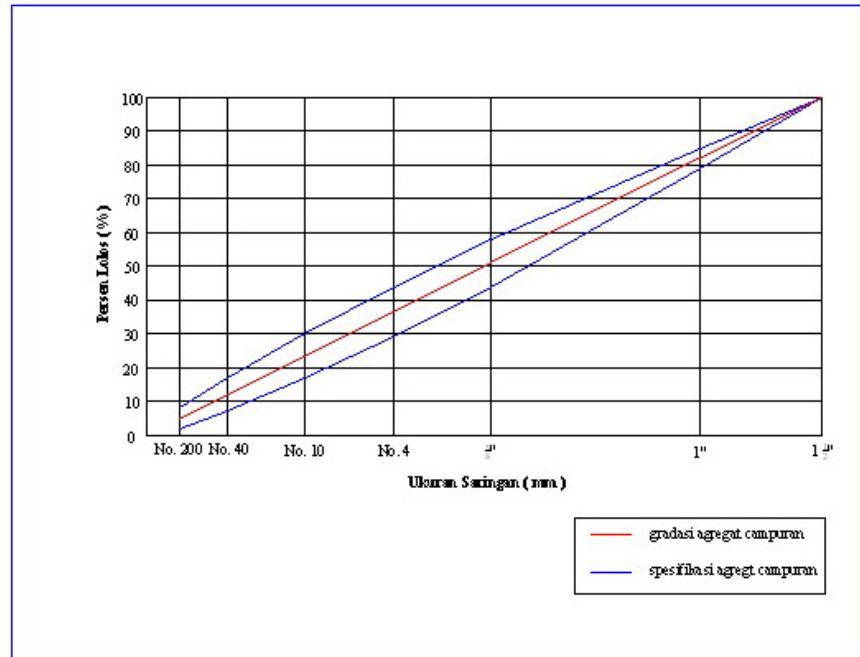
Dari hasil rancangan pencampuran agregat, didapat proporsi campuran 49% fraksi batuan 2/3, 23% fraksi batuan 1/1, dan 28% fraksi abu batu yang memenuhi spesifikasi umum untuk gradasi lapis pondasi tetapi hasil rancangan masih perlu penyesuaian karena persen lolos ukuran saringan 1” mendekati batas bawah spesifikasi agregat campuran. Hal ini menunjukkan bahwa sebaiknya fraksi batuan 2/3 perlu dikurangi. Untuk itu dicoba memperkecil proporsi batuan 2/3, yaitu dengan mengubah proporsi campuran menjadi 47% fraksi batuan 2/3, 24% fraksi batuan 1/1, dan 29% fraksi abu batu, sehingga didapat hasil penyesuaian proporsi masing-masing fraksi seperti yang terlihat pada Tabel 6.

Dari Tabel 6. dapat dilihat bahwa rancangan campuran lebih baik dari hasil yang ditunjukkan pada Tabel 5. Agregat campuran yang dihasilkan tidak lagi terletak sangat dekat dengan batas bawah spesifikasi campuran seperti yang terlihat pada Gambar 10.

Kelas B tidak bisa dilakukan tes gradasi karena pada persyaratan yang sesuai dengan spesifikasi umum yang ditetapkan oleh Departemen Pekerjaan Umum terdapat perbedaan batasan persentase yang tidak dapat dipenuhi oleh Kelas B, yaitu pada ukuran saringan 1 1/2”. Dimana pada ukuran saringan tersebut, pada Kelas A harus lolos 100% sedangkan pada Kelas B harus lolos 88 % - 95 % atau dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 6. Hasil Penyesuaian Proporsi Campuran

Ukuran saringan	Bukaan saringan (mm)	47% fraksi batuan 2/3	24% fraksi batuan 1/1	29% fraksi abu batu	Gradasi agregat campuran	Gradasi tengah spesifikasi	Spesifikasi agregat campuran
1 1/2”	37,5	47	24	29	100	100	100
1”	25,0	28,06	24	29	81,06	82	79 – 85
3/8”	9,50	1,18	23,16	29	53,34	51	44 – 58
No. 4	4,75	0,61	9,26	28,22	38,09	36,5	29 – 44
No. 10	2,0	0,47	0,98	22,53	23,98	23,5	17 – 30
No. 40	0,425	0,33	0,50	12,79	13,62	12	7 – 17
No. 200	0,075	0,24	0,10	5,66	6	5	2 – 8



Gambar 10. Lengkung Gradasi Penyesuaian Pencampuran Agregat

5. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian agregat di laboratorium dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Untuk tingkat keausan dari pengujian didapat sebesar 19,6% dan tidak melebihi dari 40%, berarti agregat yang diuji memiliki kekuatan dan kekerasan yang baik dalam menahan keausan dan agregat ini dapat digunakan sebagai lapis pondasi permukaan dan lapis pondasi atas.
2. Untuk angka penyerapan air didapat sebesar 2,54% dan tidak melebihi batas maksimal 3% yang berarti bahwa agregat yang diuji memiliki tingkat penyerapan yang lebih kecil sehingga mengakibatkan terjadinya ikatan yang baik antara agregat dengan lapisan yang ada di atasnya dalam perencanaan pencampuran lapis pondasi.
3. Bahwa dalam proses rancangan campuran dibutuhkan *trial and error* dan pertimbangan perencana untuk dapat menghasilkan campuran yang sesuai spesifikasi dan tersedianya material di lokasi.
4. Agregat dapat dipergunakan untuk lapis pondasi Kelas A.

DAFTAR PUSTAKA

1. Departemen Pekerjaan Umum, (2006), *Second Nine Provinces Road, Rehabilitation Project, Buku 3, "Spesifikasi Umum"*, Direktorat Jenderal Bina Marga, Jakarta.
2. Djanasudirdja, Suroso, (1984), *Pengantar Mekanika Batuan*, Bandung.
3. Standar Nasional Indonesia, (1990), *Metode Pengujian Batas Plastis Tanah, SNI-03-1967-1990*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
4. Standar Nasional Indonesia, (1990), *Metode Pengujian Batas Cair Dengan Alat Casagrande, SNI-03-1967-1990*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
5. Standar Nasional Indonesia, (1990), *Metode Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar, SNI-03-1969-1990*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
6. Standar Nasional Indonesia, (1991), *Metode Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles, SNI-03-2417-1991*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
7. Sukirman, S., (1999), *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Edisi Kelima, Penerbit Nova, Bandung.
8. Sukirman, S., (2003), *Beton Aspal Campuran Panas*, Edisi Pertama, Granit, Jakarta.

PENGEMBANGAN MODEL SIMULASI INTEGRASI BIAYA DAN JADWAL PROYEK KONSTRUKSI DI BAWAH KETIDAKPASTIAN

Deni Setiawan , Ronald Simatupang

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha
Jalan Prof. drg. Suria Sumantri, MPH., No. 65, Bandung, 40164

ABSTRACT

Construction project has level of higher level risk and uncertainty compared to with manufacture industry. The perpetrators project of construction must be able to assess all changes in weather, material, politics, performance of labour and others as factors considered as risk and uncertainty in decision making. Quantification and minimalizeds risk which caused by postponement in construction industry is a challenge to be developed. Impact losing of float activity non stall is one of postponement which difficult to be assessed either at duration project and also expense of project. This is fact where approach in deterministic, cannot calculate postponement impact of activity non stall. According To CPM, delays activity non stall during doesn't go beyond its(the float total hence doesn't have an effect on to duration of project total. While Ahuja et al (1994) exemplifies interesting that delay of activity non-kritis also results contractor to experience financial loss. As a whole, identifies time in accurate figure and prospective in construction industry difficult to be done, even calculates level of risk at level of activity also difficult to be done. This thesis discuss modelling of integration of risk expense and schedule project of construction in simulatif, postponement impact or consumption float activity non-kritis to expense and duration of project total, although the postponement didn't exceed threshold time owned and delay risk of project of construction if(when exalation risk expense of limited and conversely, risk increase of expense of project of construction if(when delay risk of project of limited. Multiple Simulation Analysis Technique (MSAT) (Isidore and Back 2002) applied at this thesis for men-generate expense of project which realible and duration at different value from value losing of float (time floated) at activity with Monte Carlo technique Simulation (MCS) implementation at @ Risk applied for men-generate duration and cost. Result of modelling of implication that delaying activity non stall influential to duration of total project of as well as will result the increasing of total cost overall of project.

Keyword: MSAT,delay, Simulation Monte Carlo

ABSTRAK

Proyek konstruksi memiliki tingkat risiko dan ketidakpastian yang lebih tinggi dibanding dengan industri manufaktur. Para pelaku proyek konstruksi harus mampu menilai setiap perubahan cuaca, material, politik, kemampuan tenaga kerja dan lain sebagainya sebagai faktor-faktor yang diperhitungkan sebagai risiko dan ketidakpastian dalam pengambilan keputusan. Mengkuantifikasi dan meminimalisasi risiko yang disebabkan oleh penundaan dalam industri konstruksi adalah sebuah tantangan untuk dikembangkan. Dampak kehilangan float aktivitas non kritis adalah salah satu penundaan yang sulit untuk dinilai baik pada durasi proyek maupun biaya proyek. Ini adalah fakta di mana pendekatan secara deterministik tidak dapat menghitung dampak penundaan aktivitas non kritis. Menurut CPM, menunda aktivitas non kritis selama tidak melampaui total float-nya maka tidak berpengaruh terhadap durasi total proyek. Sedangkan Ahuja et al (1994) memberikan contoh yang menarik bahwa keterlambatan aktivitas non-kritis pun mengakibatkan kontraktor mengalami kerugian finansial. Secara keseluruhan, mengidentifikasi waktu secara akurat dan prospektif dalam industri konstruksi sulit dilakukan, bahkan menghitung besarnya risiko pada tingkat aktivitas pun sulit dilakukan. Tesis ini mendiskusikan pemodelan integrasi

risiko biaya dan skedul proyek konstruksi secara simulatif, dampak penundaan atau konsumsi float aktivitas non-kritis terhadap biaya dan durasi total proyek, walaupun penundaan tersebut tidak melebihi waktu ambang yang dimiliki serta risiko keterlambatan proyek konstruksi bila risiko eskalasi biaya dibatasi dan sebaliknya, risiko kenaikan biaya proyek konstruksi bila risiko keterlambatan proyek dibatasi. Multiple Simulation Analysis Technique (MSAT) (Isidore dan Back 2002) digunakan pada tesis ini untuk men-generate biaya proyek yang realible dan durasi pada nilai yang berbeda dari nilai kehilangan float (waktu ambang) pada aktivitas dengan teknik Monte Carlo Simulation (MCS) yang diimplementasikan pada @Risk digunakan untuk men-generate durasi dan biaya. Hasil pemodelan mengimplikasikan bahwa menunda aktivitas non kritis berpengaruh terhadap durasi total proyek dan juga akan mengakibatkan meningkatnya biaya total keseluruhan proyek.

Kata Kunci: MSAT, Penundaan, Simulasi Monte Carlo

1. PENDAHULUAN

Dalam industri konstruksi, manajemen proyek bertujuan untuk menyelesaikan proyek sesuai dengan waktu, biaya serta mutu yang diharapkan. Banyak literatur dan pengalaman empiris menunjukkan bahwa proyek konstruksi senantiasa dihadapkan pada risiko dan ketidakpastian baik internal maupun eksternal, seperti perubahan sistem politik, cuaca, kemampuan dari tenaga kerja, material, peralatan dan pengelolaan. Faktor-faktor tersebut memiliki pengaruh dengan derajat yang beragam terhadap aktivitas konstruksi dan durasi proyek.

Para manajer proyek konstruksi harus bersikap lebih berhati-hati terhadap tingginya biaya dan dampak dari risiko keterlambatan tersebut. Secara keseluruhan, mengidentifikasi waktu secara akurat dan prospektif dalam industri konstruksi sulit dilakukan, bahkan menghitung besarnya risiko pada tingkat aktivitas pun sulit dilakukan. Kekurangan piranti (*tools*) yang dapat menilai dampak dari keterlambatan dalam proyek konstruksi dapat menambah perselisihan antara *owner* dan kontraktor.

The critical path method (CPM) atau metoda jalur kritis adalah metoda yang secara luas dan umum digunakan untuk merencanakan dan mengontrol jadwal proyek konstruksi. CPM didasarkan pada asumsi bahwa durasi dan biaya dari setiap aktivitas pada jaringan kerja adalah deterministik. Dengan menggunakan metoda ini sejumlah aktivitas yang berpengaruh pada durasi total proyek secara keseluruhan dapat diketahui dan diidentifikasi sebagai aktivitas kritis. Namun, Ahuja et al (1994) memberikan contoh yang menarik bahwa keterlambatan aktivitas non-kritis pun mengakibatkan kontraktor mengalami kerugian finansial. Pengaruh keterlambatan atau penundaan suatu aktivitas nonkritis terhadap durasi dan biaya proyek sulit diidentifikasi melalui pendekatan deterministik yang ada.

Sementara itu, *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) menggunakan pendekatan yang berbeda yaitu stokastik atau probabilistik. PERT menyederhanakan

permasalahan dengan hanya memperhitungkan jalur kritis hasil perhitungan CPM dalam menentukan risiko keterlambatan proyek. Simplikasi ini menimbulkan problem “*merge-event bias*” yang berkonsekuensi risiko keterlambatan proyek menjadi *underestimated*. (Ahuja et al., 1994, Ang dan Tang, 1982, Ioannou dan Martinez, 1998).

Metoda yang selanjutnya dikemukakan oleh Ang dan Tang adalah Metoda PNET (*Probabilistic Network Evaluation Technique*). Dalam memperhitungkan risiko durasi proyek PNET hanya mempertimbangkan jalur-jalur yang “representatif”. Jalur yang representatif adalah jalur paling dominan yang diseleksi dari satu set jalur yang memiliki satu atau lebih aktivitas sebagai anggota bersama. Sebuah jalur dapat diwakili bila jalur tersebut berkorelasi tinggi dengan jalur yang mewakilinya. Dominasi suatu jalur ditentukan berdasarkan kriteria yang diambil. Ang dan Tang mengambil purata durasi jalur sebagai kriteria, semakin besar semakin tinggi dominasi dan peringkatnya. Jalur yang memiliki purata tertinggi tidak dijamin menjadi jalur yang paling kritis. Sebuah jalur dapat mewakili jalur lainnya bila korelasi antara dua jalur lebih tinggi dari *demarcating correlation* ρ_0 , bila tidak, kedua jalur dianggap saling bebas/independen. Perhitungan PNET dilakukan secara manual, maka akan menjadi kompleks jika terdapat jalur aktivitas yang banyak.

Tulisan ini mempresentasikan piranti lunak berbasis *Visual Basic Application* pada *Microsoft Excel* yang dapat digunakan untuk menghitung dampak dari tundaan aktivitas non kritis melalui pendekatan simulasi. Piranti lunak yang dikembangkan pada Tulisan ini dimaksudkan agar proses pengintegrasian biaya dan jadwal dapat dilakukan secara otomatis. Melalui piranti lunak ini, diharapkan dapat membantu menghitung penjadualan proyek konstruksi secara otomatis. Untuk proses perhitungan penjadualan, metoda yang digunakan sama seperti pada CPM yaitu perhitungan maju dan mundur serta menghitung durasi *Total Float*. Proses pengintegrasian biaya dan jadwal dilakukan berdasarkan teori MSAT, serta melalui piranti lunak ini dapat menjawab dampak penundaan aktivitas non-kritis terhadap biaya dan jadwal proyek secara simulasi.

Multiple Simulation Analysis Technique (MSAT) (Isidore dan Back 2002) digunakan pada Tulisan ini untuk men-*generate* biaya proyek yang *realible* dan durasi pada nilai yang berbeda dari nilai kehilangan *float* (waktu ambang) pada aktivitas dengan teknik *Monte Carlo Simulation* (MCS) yang diimplementasikan pada *@Risk* digunakan untuk men-*generate* durasi dan biaya.

2. KAJIAN LITERATUR

Studi Terdahulu tentang Float Aktivitas Nonkritis

Menurut sejarah, *Critical Path Method* (CPM) secara luas sudah digunakan untuk perencanaan dan pengendalian pada proyek konstruksi. CPM mengasumsikan bahwa durasi dan biaya dari aktivitas dalam jaringan kerja proyek adalah deterministik. Hal ini berbeda dalam sesungguhnya yang terjadi di dalam pelaksanaan proyek konstruksi. Kenyataannya, setiap aktivitas dalam proyek konstruksi berada pada kondisi ketidakpastian yang meliputi ketergantungan terhadap tenaga kerja, material, peralatan, cuaca dan manajemen. *Total Float* (TF) adalah salah satu yang dihasilkan dalam perhitungan CPM. Menurut CPM menunda aktivitas non-kritis tanpa melampaui *Total Float* tidak mempengaruhi durasi dan biaya total dari proyek tersebut. Dilihat karakteristik dari proyek konstruksi yang beresiko dan berada pada banyak kondisi ketidakpastian maka pendekatan deterministik CPM tidak dapat memperhitungkan risiko dan ketidakpastian.

Program Evaluation and Review Technique (PERT) yang dikembangkan oleh *Du Pont* mengasumsikan secara deterministik. Perhitungan PERT hanya menggunakan rata-rata sepanjang jalur kritis. Varians hanya digunakan setelah jalur dihitung untuk menentukan tingkat ketidakpastian yang diasosiasikan dengan rata-rata dari kejadian yang ditentukan. Hasil ini secara keseluruhan dapat dikatakan sebagai "merge event bias" yang membawa kepada perkiraan optimistik dari nilai rata-rata waktu proyek dibandingkan pada rata-rata waktu sesungguhnya.

Diaz dan Hadipriono (1991) menganalisa latar belakang secara teoritis dengan membandingkan PERT, PNET (*Probabilistic Network Evaluation Technique*), NRB (*Narrow Reliability Bounds*) dan MCS (*Monte Carlo Simulation*).

Mengaplikasikan prosedur *back forward uncertainty estimation* (BFUE), Gong dan Rowings (1995) memperkenalkan konsep penggunaan *float* yang aman (*safe float use*) untuk dua aktivitas yang bergabung (*merging activities*). Menurut Gong dan Rowings, jumlah *float* yang aman adalah jumlah *float* yang tidak mengakibatkan perubahan berarti pada ekspektasi durasi total proyek.

Zhong dan Zhang (2003) mengembangkan metoda menghitung *float* jalur (*path float*) nonkritis dan merumuskan definisi *float* jalur yang aman (*safe path float*). Berbeda dengan Gong dan Rowings yang mendasarkan perhitungan pada ekspektasi durasi proyek, Zhong dan Zhang lebih menitikberatkan perhitungan dengan tingkat persentil durasi proyek dengan konsep bahwa jalur kritis yang ada tetap dipertahankan.

Secara umum kesimpulan yang diperoleh dari *Gong dan Rowings* dan *Zhong dan Zhang* adalah adanya suatu rentang penundaan yang “aman” untuk aktivitas nonkritik yang tidak berpengaruh secara substansial terhadap durasi proyek. Bila rentang yang aman ini dilanggar atau konsumsi *float* melebihi batas aman, maka durasi total proyek secara keseluruhan akan terganggu.

Sakka dan El-Sayegh (2007) merumuskan hubungan antara konsumsi *float* aktivitas nonkritik dan biaya serta durasi total proyek. Dalam studi tersebut mereka menggunakan pendekatan simulasi dengan bantuan piranti lunak *@Risk (Palisade Corporation 2001)*.

Definisi dari Integrasi *Cost* dan *Schedule*

Frase "Pengintegrasian *Cost-Schedule*" mengacu pada *preestablished planning structure*, digunakan untuk menyediakan informasi yang diperlukan untuk proyek spesifik dalam rangka pengembangan pengendalian estimasi biaya dan jadwal secara probabilitas. Pengendalian estimasi biaya dan jadwal, memberikan *baseline* pencapaian *performance* aktual dari sebuah proyek, dan akan diukur selama tahap pelaksanaan proyek. Sistem terintegrasi ini juga akan memberikan pertimbangan bagi pelaku industri konstruksi serta dapat menyediakan informasi yang diperlukan pada proses perencanaan, sehingga dapat memperkecil tingkat risiko pada proyek konstruksi.

Multiple Simulation Analysis Technique (MSAT)

MSAT (Isidore dan Back, 2002) adalah metoda baru yang dibuat untuk menghubungkan perkiraan biaya proyek (*project cost estimate*) dengan data jadwal dari rentang estimasi secara simultan dan probabilitas jadwal untuk sebuah proyek. Secara spesifik cara ini dikembangkan untuk mengalokasikan permasalahan keterkaitan antara probabilistik estimasi biaya dengan jadwal proyek pada nilai persentil tinggi yang dipilih untuk kedua *tools* yang terkait satu dengan yang lainnya.

Teknik ini mengkombinasikan *discrete event simulation regression*, dan analisis numerik untuk mengembangkan model yang menjelaskan hubungan keterkaitan antara estimasi biaya stokastik dengan data jadwal. Ketika rentang estimasi dan probabilistik penjadwalan secara independen diaplikasikan pada proyek konstruksi, maka cara ini memberikan lebih banyak lagi rincian dan terintegrasi untuk perencanaan proyek daripada kemungkinan di masa lalu.

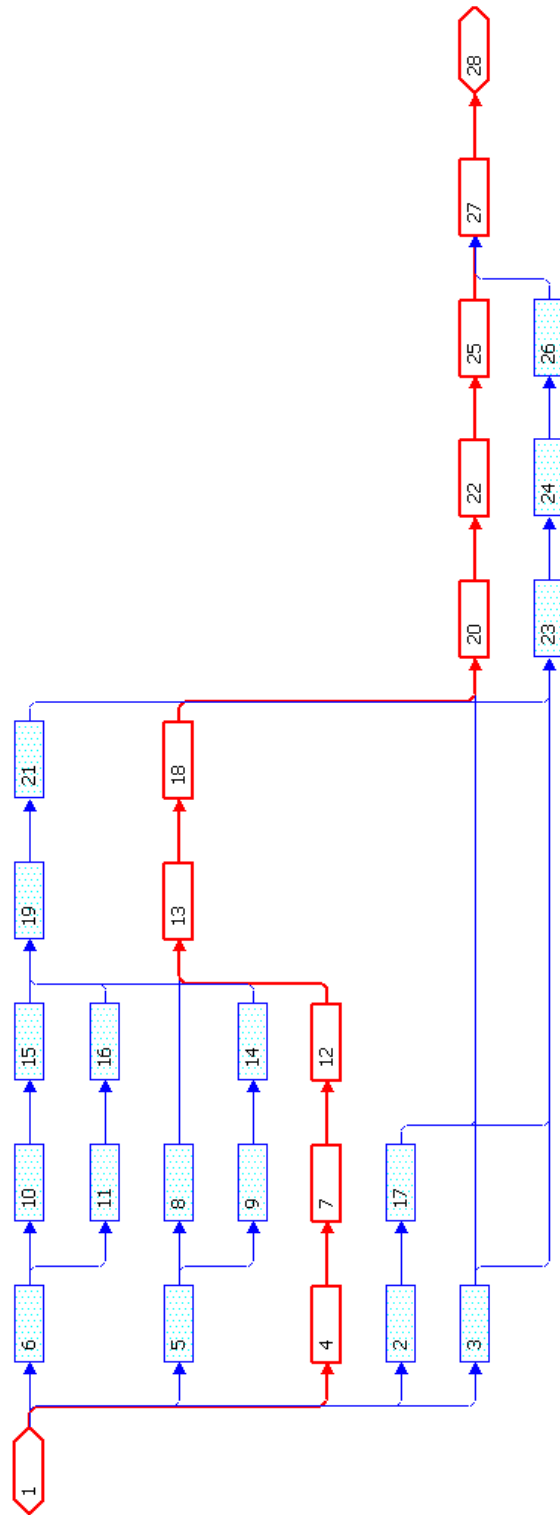
Tahap pertama pada prosedur ini adalah menentukan tingkat persentil yang tetap baik untuk estimasi biaya maupun juga untuk jadwal proyek. Penetapan jadwal proyek maupun estimasi biaya pada predeterminan persentil memberikan analisis untuk proses secara sistematis. Pada kasus biasanya diambil tingkat persentil ke 95%.

Langkah yang berikutnya pensimulasian proyek dan pengurutan data yang hasilnya berdasar pada nilai jadwal proyek. Nilai persentil ke 95% ditempatkan dan direkam beserta biaya yang sesuai dengan taksiran. Data itu kemudian digunakan untuk menentukan peringkat persentil dari nilai perkiraan biaya, juga direkam. Proyek tersebut disimulasikan kembali 20 kali menggunakan iterasi 500 per simulasi, dan untuk masing-masing simulasi, nilai jadwal proyek pada persentil ke 95, nilai estimasi biayanya yang sesuai, dan peringkat persentil dari nilai perkiraan biaya direkam. Saat data ini direkam, perkiraan biaya rata-rata dan simpangan baku-nya kemudian digunakan untuk menentukan peringkat persentil yang bersyarat dari nilai-nilai estimasi.

3. PEMODELAN DAN ANALISIS INTEGRASI BIAYA DAN JADWAL

Studi Kasus

Proyek konstruksi yang dijadikan sebagai studi kasus untuk penelitian Tesis ini adalah proyek pembangunan jalan bebas hambatan (*highway*). Proyek ini dibangun sepanjang 11.600 ft, diambil dan diadaptasi dari (Brand et al 1964). Tabel 3.1 memperlihatkan nama dari masing-masing aktivitas dengan durasi dan biaya dengan pendekatan tiga nilai mengikuti distribusi *beta PERT* yaitu *optimistic*, *most likely* dan *pessimistic*. Untuk nilai korelasi antar durasi diberi nilai 0 sampai dengan 1, sedangkan untuk durasi dengan biaya diberi nilai korelasi 0 sampai dengan -1. Biaya *indirect cost* ditetapkan 500 per hari. Pada Gambar 3.1 memperlihatkan gambar jaringan kerja untuk proyek konstruksi *highway*.



Gambar 3.1 Jaringan kerja.

Tabel 3.1 Data Masukan (Input Data)

ID	Description	Activity Duration			Tz	Activity Cost (Rp)			Predecessors	
		Optimistic	Most Likely	Pessimistic		Optimistic	Most Likely	Pessimistic		Cz
1	Start	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00		
2	Setup batch plant	0.5	2	3.5	2.00	1,500.000	2,000.000	2,100.000	1,933.333	1
3	Order & deliver paving mesh	2	5	8	5.00	5,000.000	5,500.000	6,750.000	5,625.000	1
4	Deliver rebar for double barrel culvert	2.5	5.5	11.5	6.00	7,000.000	8,000.000	9,000.000	8,000.000	1
5	Move in equipment	1.5	3	4.5	3.00	4,500.000	5,000.000	5,800.000	5,050.000	1
6	Deliver rebar for small box culvert	1	4	2.5	7.00	6,000.000	7,000.000	8,500.000	7,083.333	1
7	Build double barrel culvert	4	10	16	10.00	5,000.000	6,000.000	6,700.000	5,950.000	4
8	Clear & grub from Sta. 42 to Sta.	1	2.5	7	3.00	7,000.000	7,700.000	8,350.000	7,691.667	5
9	Clear & grub from Sta. 100 to Sta. 158	2.5	7	11.5	7.00	7,000.000	7,700.000	8,350.000	7,691.667	5
10	Build box culvert at Sta. 127	1	4	13	5.00	4,500.000	5,000.000	6,000.000	5,083.333	6
11	Build box culvert at Sta. 138	0.5	2	9.5	3.00	4,500.000	5,000.000	6,000.000	5,083.333	6
12	Cure double barrel culvert	3	9	15	9.00	2,000.000	2,500.000	2,670.000	2,445.000	7
13	Move dirt between Sta. 42 & Sta. 100	2.5	4	11.5	5.00	4,000.000	4,400.000	4,800.000	4,400.000	8,12
14	Start moving dirt between Sta. 100 & Sta. 158	1.5	3	4.5	3.00	4,000.000	4,400.000	4,800.000	4,400.000	9
15	Cure box culvert at Sta. 127	1.5	6	28.5	9.00	3,000.000	3,500.000	4,100.000	3,516.667	10
16	Cure box culvert at Sta. 138	2	5	14	6.00	3,000.000	3,500.000	4,100.000	3,516.667	11
17	Order & stockpile paving material	0.5	2	3.5	2.00	5,000.000	5,500.000	5,900.000	5,483.333	2
18	Place subbase from Sta. 42 to Sta. 100	3.6	6.1	14	7.00	6,000.000	6,600.000	6,900.000	6,550.000	13
19	Finish moving dirt between Sta. 100 & Sta. 158	1	4	13	5.00	6,500.000	6,600.000	7,000.000	6,650.000	14,15,16
20	Pave from Sta. 42 to Sta. 100	4	10	16	10.00	10,000.000	11,000.000	13,000.000	11,166.667	3,17,18
21	Place subbase from Sta. 100 to Sta. 158	2	4.53	21.87	7.00	5,000.000	5,500.000	6,000.000	5,500.000	19
22	Cure pavement from Sta. 42 to Sta. 100	2.5	5.5	11.5	6.00	5,000.000	5,500.000	6,000.000	5,500.000	20

Tabel 3.1 Data Masukan (*Input Data*) (Lanjutan)

ID	Description	Activity Duration				Tz	Activity Cost (Rp)				Predecessors
		Optimistic	Most Likely	Pessimistic	Tz		Optimistic	Most Likely	Pessimistic	Cz	
23	Pave from Sta. 100 to Sta. 158	3	6.75	30	10.00	5,000,000	5,500,000	6,000,000	5,500,000	3,17,21	
24	Cure pavement from Sta. 100 to Sta. 158	2.5	5.5	11.5	6.00	7,000,000	8,000,000	9,500,000	8,083,333	23	
25	Place shoulders from Sta. 42 to Sta. 100	1	2.5	7	3.00	6,000,000	7,000,000	8,000,000	7,000,000	22	
26	Place shoulders from Sta. 100 to Sta. 158	1	2.5	7	3.00	6,000,000	7,000,000	8,000,000	7,000,000	24	
27	Place guardrail & landscape	2.5	4	11.5	5.00	7,000,000	7,500,000	8,150,000	7,525,000	25,26	
28	Finish	0	0	0	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	27	

Perhitungan CPM

Menurut perhitungan CPM (*Critical Path Method*), (dapat dilihat pada Tabel 3.2) tanpa adanya penundaan (*delay*), maka diperoleh jalur kritis pada aktivitas no: 1-4-7-12-13-20-22-25-27 dan 28 dengan waktu penyelesaian proyek selama 61 hari dan *total cost* untuk proyek ini sebesar 183,928.330.

Tabel 3.2 Total Float untuk Seluruh Aktivitas Menurut CPM

ID	Description	Total Float (days)
1	<i>Start</i>	0
2	<i>Setup batch plant</i>	33
3	<i>Order & deliver paving mesh</i>	32
4	<i>Deliver rebar for double barrel culvert</i>	0
5	<i>Move in equipment</i>	12
6	<i>Deliver rebar for small box culvert</i>	4
7	<i>Build double barrel culvert</i>	0
8	<i>Clear & grub from Sta. 42 to Sta.</i>	19
9	<i>Clear & grub from Sta. 100 to Sta. 158</i>	12
10	<i>Build box culvert at Sta. 127</i>	4
11	<i>Build box culvert at Sta. 138</i>	9
12	<i>Cure double barrel culvert</i>	0
13	<i>Move dirt between Sta. 42 & Sta. 100</i>	0
14	<i>Start moving dirt between Sta. 100 & Sta. 158</i>	12
15	<i>Cure box culvert at Sta. 127</i>	4
16	<i>Cure box culvert at Sta. 138</i>	9
17	<i>Order & stockpile paving material</i>	33
18	<i>Place subbase from Sta. 42 to Sta. 100</i>	0
19	<i>Finish moving dirt between Sta. 100 & Sta. 158</i>	4
20	<i>Pave from Sta. 42 to Sta. 100</i>	0
21	<i>Place subbase from Sta. 100 to Sta. 158</i>	4
22	<i>Cure pavement from Sta. 42 to Sta. 100</i>	0
23	<i>Pave from Sta.100 to Sta. 158</i>	4
24	<i>Cure pavement from Sta. 100 to Sta.158</i>	4
25	<i>Place shoulders from Sta. 42 to Sta. 100</i>	0
26	<i>Place shoulders from Sta. 100 to Sta.158</i>	4
27	<i>Place guardrail & landscape</i>	0
28	<i>Finish</i>	0

Berdasarkan nilai *total float* menurut hasil perhitungan CPM tanpa adanya tundaan, maka dapat ditentukan selanjutnya untuk mengembangkan skenario penundaan aktivitas non-kritis.

Analisis Stokastik Perkiraan Biaya dan Skedul Secara Tradisional

Untuk memperlihatkan perbedaan antara perkiraan probabilistik secara tradisional dengan metoda MSAT, maka contoh kasus dianalisis baik dengan cara tradisional maupun dengan mempergunakan MSAT. Proyek disimulasikan sebanyak 500 iterasi. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 3.3.

**Tabel 3.3 Perkiraan Biaya dan Skedul Untuk Persentil Tinggi
Skedul dan Perkiraan Biaya**

<i>Percentile Level</i>	<i>Project Schedule</i>	<i>Corresponding cost estimate</i>	<i>Cost estimate percentile level</i>	<i>Cost estimate</i>	<i>Corresponding project schedule</i>	<i>Project schedule percentile level</i>
80%	67.89	187,258.594	82.90%	186,908.484	63.95	56.20%
85%	69.03	186,717.125	77.50%	187,449.318	64.85	64.00%
90%	71.26	186,717.125	77.50%	188,280.831	68.13	81.30%
95%	73.73	186,717.125	77.50%	189,393.394	64.65	62.00%

Dari data yang teridentifikasi, nilai skedul proyek dan perkiraan biaya persentil ke 80, 85, 95 dan ke-95 yang diperlihatkan pada Tabel 4.4 pada kolom dua dan kolom lima, merepresentasikan beberapa nilai persentil tinggi yang dipertimbangkan pada rentang estimasi secara tradisional. Pada saat nilai-nilai ini diidentifikasi, pemilihan nilai yang tepat untuk merepresentasikan perkiraan biaya proyek dan skedul dapat dibuat berdasarkan tingkat risiko sesuai dengan pertimbangan seperti: karakteristik proyek tersebut, informasi-informasi spesifik proyek yang tersedia, pengalaman dan penilaian secara teknis dari perencanaan.

Satu keterbatasan dari pendekatan non-integrasi dapat dilihat dengan pemilihan nilai tingkat persentil ke 95 untuk skedul proyek misalnya 74,01 hari dan perkiraan biaya sebesar 189,712.022. Saat dimungkinkan nilai kombinasi antara skedul dan perkiraan biaya terjadi selama proyek diberikan dengan sejumlah kondisi set yang sangat spesifik,

kondisi ini tidaklah mungkin mengharapkannya terjadi secara aktual dan simultan selama eksekusi proyek, terutama untuk proyek-proyek yang dikendalikan biaya atau dikendalikan skedul. Sebagai tambahan, variabilitas di dalam durasi aktivitas dan logika eksekusi dari diagram alir proses mungkin tidak mengizinkan kombinasi tersebut terjadi. kombinasi tersebut terjadi.

Daftar nilai kepercayaan skedul proyek yang tinggi beserta aktualnya masing-masing, dan nilai-nilai generate dari simulasi perkiraan biaya dapat dilihat pada Tabel 3.3. Sebagai catatan nilai-nilai tersebut adalah acak (random), keacakan tersebut dapat dibuktikan dengan contoh sebagai berikut: jika nilai kepercayaan ke 95% dari skedul proyek adalah 73,73 hari, aktual perkiraan biaya yang berhubungan adalah sebesar 186,717.125 hanya memberikan nilai tingkat kepercayaan sebesar 62% dari seluruh nilai biaya.

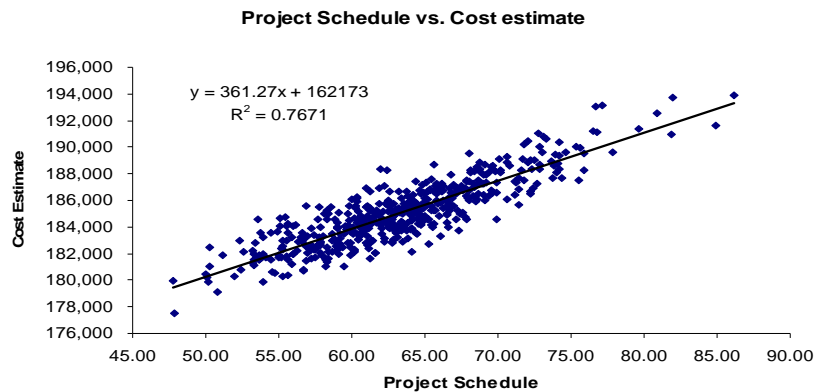
Dengan pengertian lain, jika tingkat kepercayaan perkiraan biaya yang tinggi kemudian diurutkan beserta hasil simulasi nilai skedul proyek, seperti yang diperlihatkan pada Tabel 4.4, maka diperoleh bahwa hasilnya tidak selalu terhubung pada nilai skedul proyek dengan tingkat kepercayaan yang tinggi. Dengan kata lain, memilih sebuah nilai skedul dengan tingkat kepercayaan tinggi tidak dijamin selalu menghubungkan perkiraan biaya yang sesuai dengan nilai skedul terpilih.

Bertujuan untuk menemukan cara analitik untuk menghubungkan data perkiraan biaya dan skedul proyek dari nilai probabilitas yang rendah yang terjadi dapat dipilih untuk keduanya melalui piranti ini. Dengan kemampuan untuk menghubungkan untuk biaya dan skedul pada sebuah logika dan cara sistematis, akan meniadakan cara coba-coba untuk memilih tingkat keyakinan yang tinggi perkiraan biaya dan skedul proyek selama proses perencanaan. Hal ini akan memberikan keputusan secara aktual yang didasarkan pada kombinasi kemungkinan dari perkiraan biaya dan skedul proyek, sedangkan rentang dari distribusi probabilitas sesungguhnya untuk piranti perencanaan ini dihasilkan dari simulasi Monte Carlo, rentang data aktivitas, dan eksekusi aktivitas. Least-square linear regression adalah pertimbangan pertama yang digunakan sebagai piranti untuk menghubungkan nilai-nilai tersebut.

Aplikasi Least Squares Linear Regression

Hasil berupa diagram scatter dari nilai probabilistik skedul untuk kasus yang kemudian dihubungkan dengan nilai rentang estimasinya dapat dilihat pada Gambar 4.2. Pada saat data-data tersebut diindikasikan hubungannya sebagai linear, maka data tersebut dapat ditentukan melalui persamaan regresi linear dengan mempergunakan nilai

PS (*Project Schedule*) sebagai variabel independen dan nilai CE (*Cost Estimate*) sebagai variabel dependen. Persamaan tersebut dapat dilihat pada Persamaan 3.1.



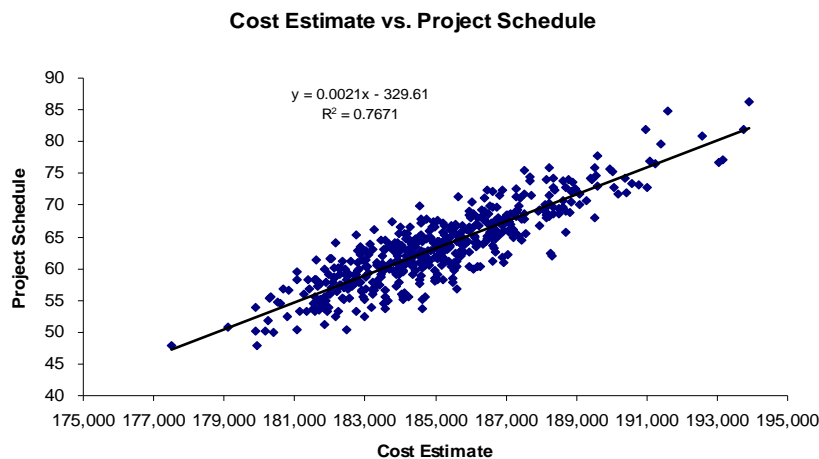
Gambar 3.2 Regresi Linear dari skedul proyek dan perkiraan biaya

Persamaan 3.1 adalah persamaan regresi dari data set berdasarkan minimalisasi *least-squares*.

$$CE_i = 361,27 PS_i + 162173 \dots\dots\dots (3.1)$$

Dengan nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,7671$ berarti bahwa berdasarkan hubungan regresi linear, skedul proyek mendekati 76,71% dari variabilitas data perkiraan biaya yang diobservasi.

Bertujuan untuk menghubungkan skedul proyek kepada perkiraan biaya, ada beberapa situasi dimana akan menjadi penting untuk dipertimbangkan dalam menghubungkan perkiraan biaya kepada skedul proyek. Dengan pertimbangan sebagai situasi, maka hubungan regresi linear disesuaikan dengan data perkiraan biaya sebagai variabel penjelas dan data skedul proyek sebagai variabel dependen. Hasilnya menghasilkan persamaan regresi linear yang baru dan berbeda dengan Persamaan 3.1. Persamaan regresi *linear*-nya diperlihatkan secara grafis pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Regresi Linear dari perkiraan biaya dan skedul proyek

$$PS_i = 0,0021 CE_i + 329,61 \dots\dots\dots (3.2)$$

Koefisien determinasi yang diperoleh dari data melalui persamaan regresi linear adalah sebesar 76,71% dari variabilitas data yang diobservasi. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa baik pada Persamaan 4.1 maupun Persamaan 4.2 menghasilkan nilai koefisien determinasi sebesar 76,71 % ini mengindikasikan bahwa data-data yang dihasil pemodelan tradisional belum memberikan nilai koefisien determinasi yang besar dari variabilitas data.

Kesimpulan Pengaplikasian Regresi Linear pada Data Simulasi

Persamaan 3.1 dan Persamaan 3.2 digunakan untuk memprediksi nilai untuk skedul proyek dan perkiraan biaya pada persentil ke 80, 85, 90 dan ke 95. Hasil perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 3.4 dan Tabel 3.5.

Tabel 3.4 Prediksi Interval 95% untuk Nilai Prediksi Perkiraan Biaya

<i>Percentile Level</i>	<i>Project Schedule</i>	<i>CE Predicted</i>	<i>CE Lower 95%</i>	<i>CE Upper 95%</i>
80%	67.89	186,741.130	186,608.500	186,873.700
85%	69.03	187,153.290	186,996.500	187,310.100
90%	71.26	187,962.590	187,755.300	188,169.800
95%	73.73	188,856.880	188,591.700	189,122.000

Tabel 3.5 Prediksi Interval 95% untuk Nilai Prediksi Skedul Proyek

<i>Percentile Level</i>	<i>Cost Estimate</i>	<i>PS Predicted</i>	<i>PS Lower 95%</i>	<i>PS Upper 95%</i>
80%	186,879.903	67.40	56.57	78.22
85%	187,421.063	68.55	57.66	79.44
90%	188,169.419	70.33	59.33	81.32
95%	189,712.022	72.70	61.57	83.82

Berdasarkan hasil pada Tabel 3.4 dapat diinterpretasikan ke dalam “dengan keyakinan sebesar 95%, purata nilai perkiraan biaya diprediksi berdasarkan pada respektif skedul proyek, terletak di manapun antara nilai prediksi di bawah 95% dan di atas 95%”. Interpretasi yang sama untuk nilai skedul proyek pada Tabel 3.5 adalah sebagai berikut “dengan keyakinan sebesar 95%, purata nilai skedul proyek diprediksi berdasarkan pada respektif perkiraan biaya, terletak di manapun antara nilai prediksi di bawah 95% dan di atas 95%”.

Berdasarkan hasil observasi dari aplikasi regresi linear, dapat disimpulkan bahwa regresi linear tidak tepat dalam menghubungkan data stokastik untuk skedul proyek kepada perkiraan biaya. Hal ini dikarenakan garis *best fit* regresi linear tidak dapat menghitung dengan pasti variabilitas dari data *output* yang dihasilkan oleh pemodelan. Jadi dengan demikian, mencocokkan garis regresi pada data nilai persentil tinggi untuk perkiraan biaya menjadi sulit untuk diaplikasikan. Untuk alasan yang sama, akan menjadi sangat sulit untuk menggunakan persentil tinggi dari nilai perkiraan biaya untuk memprediksi nilai skedul proyek dengan persentil yang tinggi. Kesimpulan ini dapat dikonfirmasi dengan analisa lebar dari interval prediksi untuk nilai estimasi.

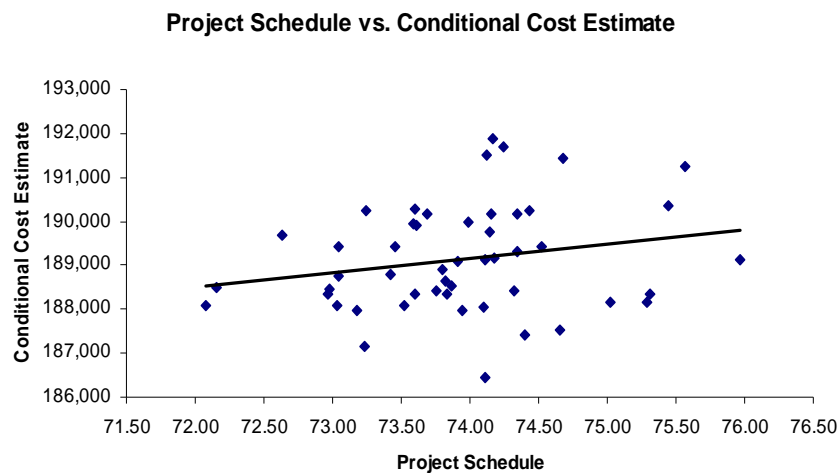
Pemodelan Integrasi Biaya dan Waktu Menggunakan Metoda MSAT (*Multiple Simulation Analysis Technique*)

Menjawab bagaimana mengintegrasikan jadwal dengan biaya maka hasil pensimulasian pemodelan penjadualan dan biaya proyek dijadikan data masukkan untuk kemudian dilakukan pemodelan dengan metoda MSAT.

Hasil pensimulasian tahap pemodelan penjadualan dan biaya berupa data yang tidak dikondisikan (*unconditional*). Untuk mengintegrasikan antara jadwal dan biaya maka diperlukan nilai persentil. Hal ini diperlukan untuk melihat bagaimana risiko baik terhadap biaya maupun terhadap jadwal.

Pengkondisian Biaya (*Conditional Cost*)

Tahap pertama dari prosedur perhitungan ini adalah menginputkan tingkat persentil yang ditentukan baik untuk perkiraan biaya maupun jadwal proyek. Menentukan jadwal proyek dan perkiraan biaya pada persentil yang ditentukan dapat menjadikan proses analisis menjadi sistematis. Pada kasus ini, tingkat persentil dari skedul proyek ditentukan pada nilai persentil 95% ini berarti kemungkinan *cost overrun* adalah sebesar 5%. Proyek ini disimulasikan dengan 500 iterasi dan 50 simulasi, hasilnya dapat dilihat pada Gambar 3.4

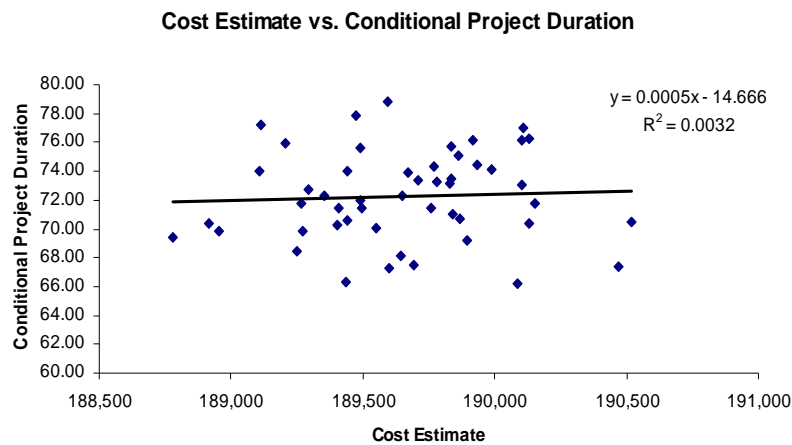


Gambar 3.4 Grafik Hubungan Skedul Proyek dengan Perkiraan Biaya

Berdasarkan data hasil pensimulasian yang divisualisasikan pada Gambar 3.4 maka dapat dilihat bahwa pada saat diberikan nilai persentil 95% untuk durasi maka nilai perkiraan biaya setelah dikondisikan berfluktuatif berada pada rentang 188,444.860 sampai dengan 191,879.590. nilai observasi yang berfluktuatif disebabkan karena nilai acak yang digunakan pada proses simulasi.

Pengkondisian Durasi (*Conditional Duration*)

Nilai persentil ke 95 pada nilai perkiraan biaya mengintegrasikan nilai perkiraan biaya dengan perkiraan durasi. Jika nilai persentil 95% diberikan untuk biaya maka hal ini berarti perkiraan durasi melewati durasi yang diinginkan dibatasi sebesar 5%. Hasil pengkondisian durasi dapat dilihat pada Gambar 3.5

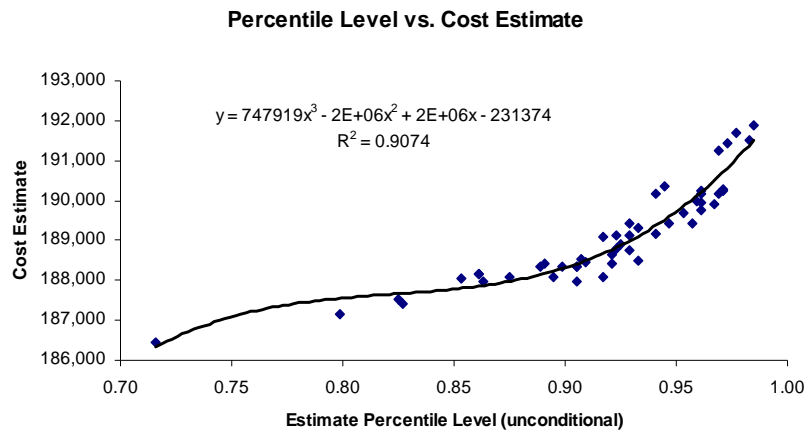


Gambar 3.5 Grafik Hubungan Perkiraan Biaya dengan Skedul Proyek

Berdasarkan data hasil pensimulasian yang divisualisasikan pada Gambar 3.5 maka dapat dilihat bahwa pada saat diberikan nilai persentil 95% untuk biaya maka nilai skedul proyek setelah dikondisikan berfluktuatif berada pada rentang 66,23 hari sampai dengan 78,87 hari.

Memprediksi Perkiraan Biaya Menggunakan *Range Estimate Percentiles*.

Seperti yang telah ditetapkan di awal, nilai perkiraan biaya dipilih pada persentil ke 95 dari skedul proyek. Nilai dari perkiraan biaya ini mewakili proyek secara keseluruhan. Secara menyeluruh berarti bahwa memungkinkan untuk menyelidiki nilai ini secara *subset* yang terpisah untuk melihat jika menyediakan informasi tambahan yang mengijinkan pemilihan sebuah persentil perkiraan biaya tinggi pada data skedul proyek persentil ke 95. Nilai perkiraan biaya diplot dengan rentang estimasi dan diregresikan. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4.6 sedangkan persamaan regresi polinomial dapat dilihat pada Persamaan 3.3



Gambar 3.6 Grafik Perbandingan Nilai Persentil Antara Persentil *Range Estimating*

$$CE_i = 747919 PL_i^3 - 2000000 PL_i^2 + 2000000 PL_i + 231374 ; (0 \leq PL_i \leq 1) \dots \dots \dots (3.3)$$

Di mana:

CE = *Cost Estimate* (Perkiraan Biaya)

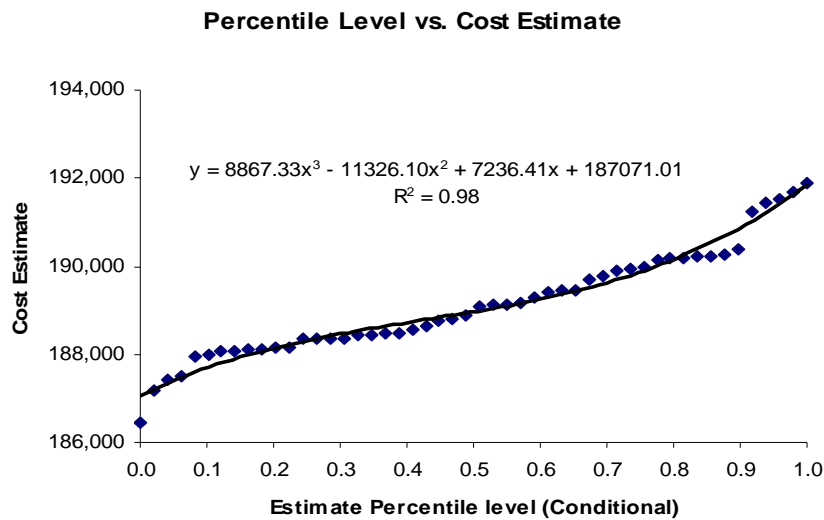
PL = *Percentile Level* (Tingkat Persentil)

Nilai $R^2 = 0,9074$ mengindikasikan bahwa penggunaan tingkat persentil *unconditional* untuk memprediksi perkiraan biaya pada persentil ke 95 skedul proyek dihasilkan pada pendekatan 90,74% dari variabililtas di dalam perkiraan biaya.

Dari Gambar 3.6 dapat didiskusikan dengan bertambahnya nilai tingkat persentil perkiraan maka akan mengakibatkan bertambahnya nilai perkiraan biaya yang dikondisikan. Dengan bertambahnya tingkat persentil perkiraan maka akan berakibat menurunnya tingkat risikonya, semakin menurun tingkat risiko maka akan mengakibatkan berkurang ketidakpastian biaya proyek tersebut akibat durasi proyek dikondisikan.

Memprediksi Perkiraan Biaya Proyek Menggunakan *Conditional Percentiles*

Tahap berikutnya pada proses MSAT adalah menetapkan persamaan regresi pada data perkiraan biaya, men-*generete* data skedul proyek persentil ke 95 dan persentil pengkondisian dari data tersebut. Hubungan regresi merepresentasikan penetapan pada data. Hubungan regresi ini ditunjukan pada Persamaan 3.4 dan ilustrasinya dapat dilihat pada Gambar 3.7



**Gambar 3.7 Grafik Perbandingan Nilai Persentil
Antara Persentil *Conditional Cost Estimate***

$$CE_{i\ conditional} = 8867,3 PL_i^3 - 11326 PL_i^2 + 7236,4 PL_i + 187071 \dots\dots\dots(3.4)$$

Di mana:

$CE_{i\ conditional}$ = *Conditional Cost Estimate* (Perkiraan Biaya yang dikondisikan)

PL = *Percentile Level* (Tingkat Persentil)

Penggunaan *range estimating* dan *conditional percentile level* yang kemudian diintegrasikan dengan nilai perkiraan biaya yang di-generate pada persentil ke 95 dari data skedul proyek, memungkinkan untuk dilakukan yaitu dengan menggunakan Persamaan 3.3 dan 3.4.

Dengan pengintegrasian ini memungkinkan untuk menentukan perkiraan biaya berdasarkan pada tingkat persentil dari skedul proyek. Prosedur perhitungan ini dapat memberikan kemungkinan untuk mempertimbangkan secara cepat berdasarkan pilihan perkiraan biaya melalui seluruh rentang persentil perkiraan biaya, hal ini memberikan tingkat kepercayaan skedul proyek ditentukan pada persentil ke 95.

Hasil pemodelan yang diperlihatkan pada Gambar 3.7 dapat memberikan informasi bahwa jika dibandingkan dengan menggunakan *range estimating percentile* pendekatan dengan menggunakan *conditional percentiles* lebih baik karena nilai koefisien determinasi untuk *conditional percentile* R^2 sebesar 0,9751 sedangkan menggunakan *range estimating* hanya memberikan nilai koefisien determinasi sebesar 0,9074.

Perbandingan Purata Nilai Perkiraan Biaya

Uji statistik untuk membandingkan purata pada tingkat persentil ke 80, 85, 90 dan ke 95 untuk nilai perkiraan biaya yang di-generate untuk menghitung secara statistik signifikan atau tidak perbedaan antara nilai-nilai pada Persamaan 4.3 dan Persamaan 4.4. Data ini memperlihatkan purata perkiraan biaya dari pengaplikasian range estimating dan conditional estimating pada tingkat persentil 80, 85, 90 dan 95. Hasil uji statistiknya dapat dilihat pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Perbandingan Purata Perkiraan Biaya

<i>Percentile ranking</i>	<i>Conditional cost estimate</i>		<i>Probabilistic Cost</i>		<i>Sig.</i>	<i>Statistically Significant Difference</i>
	<i>Cost Estimate</i>	<i>Std. Dev</i>	<i>Cost Estimate</i>	<i>Std. Dev</i>		
80	186767.29	1179.08	187149.01	181.76	0.01	Ya
85	187437.08	1133.75	187684.20	201.48	0.18	Tidak
90	187756.97	1204.32	188410.54	242.06	0.06	Ya
95	189135.14	1211.63	189651.98	381.70	0.15	Tidak

Berdasarkan uji perbandingan statistik, secara umum hasil pada kolom 7 mengindikasikan bahwa secara statistik nilai-nilai tersebut signifikan baik untuk *range estimating* maupun untuk *conditional project schedule*. Perbandingan signifikan menunjukkan bahwa memungkinkan untuk mengaplikasikan prosedur MSAT dengan berdasarkan *conditional probability*. Bertujuan untuk menghitung harapan nilai persentil perkiraan biaya, pemberian tingkat persentil 95 skedul proyek memberikan keuntungan pada perencanaan.

Pengembangan Skenario Penundaan Durasi dari Aktivitas Non-Kritis

Pengembangan skenario penundaan aktivitas non kritis dilakukan untuk menjawab apakah penundaan aktivitas non kritis berpengaruh terhadap durasi total keseluruhan proyek? Pada studi proyek ini, yang ditunda adalah aktivitas *deliver rebar for small box culvert*. Aktivitas ini akan ditunda berdasarkan perhitungan CPM diperoleh *Total Float* untuk aktivitas ini adalah empat hari. Lamanya penundaan aktivitas ini ditentukan selama satu sampai dengan empat hari Nilai indeks kekritisannya akibat ditundanya aktivitas *deliver rebar for small box culvert* serta bagaimana hubungannya terhadap aktivitas-aktivitas lain dapat dilihat pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Nilai Indeks Kekritisan Akibat Aktivitas Deliver rebar for small box cover ditunda

ID	Description	CRITICAL INDICES (Act. Deliver rebar for small box cover ditunda)				
		No Delay	Delay 1	Delay 2	Delay 3	Delay 4
1	Start	77.20%	49.20%	43.00%	47.00%	42.80%
2	Setup batch plant	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
3	Order & deliver paving mesh	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
4	Deliver rebar for double barrel culvert	48.60%	43.00%	39.60%	44.00%	36.20%
5	Move in equipment	0.80%	0.20%	0.00%	0.00%	0.00%
6	Deliver rebar for small box culvert	27.80%	31.80%	35.20%	34.20%	39.60%
7	Build double barrel culvert	60.20%	54.60%	51.80%	52.00%	44.60%
8	Clear & grub from Sta. 42 to Sta.	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
9	Clear & grub from Sta. 100 to Sta. 158	1.00%	0.40%	0.20%	0.00%	0.00%
10	Build box culvert at Sta. 127	20.00%	24.60%	25.60%	26.20%	28.80%
11	Build box culvert at Sta. 138	3.00%	3.60%	3.80%	3.60%	4.80%
12	Cure double barrel culvert	59.40%	52.80%	49.40%	51.60%	43.20%
13	Move dirt between Sta. 42 & Sta. 100	43.40%	41.00%	36.80%	40.20%	34.00%
14	Start moving dirt between Sta. 100 & Sta. 158	0.60%	0.40%	0.00%	0.00%	0.00%
15	Cure box culvert at Sta. 127	26.60%	33.00%	36.00%	35.80%	36.40%
16	Cure box culvert at Sta. 138	4.60%	5.20%	6.40%	4.60%	7.00%
17	Order & stockpile paving material	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
18	Place subbase from Sta. 42 to Sta. 100	54.40%	48.80%	46.60%	49.00%	40.60%
19	Finish moving dirt between Sta. 100 & Sta. 158	23.20%	31.60%	31.60%	30.40%	35.80%

Tabel 3.7 Nilai Indeks Kekritisan Akibat Aktivitas *Deliver rebar for small box covert ditunda* (Lanjutan)

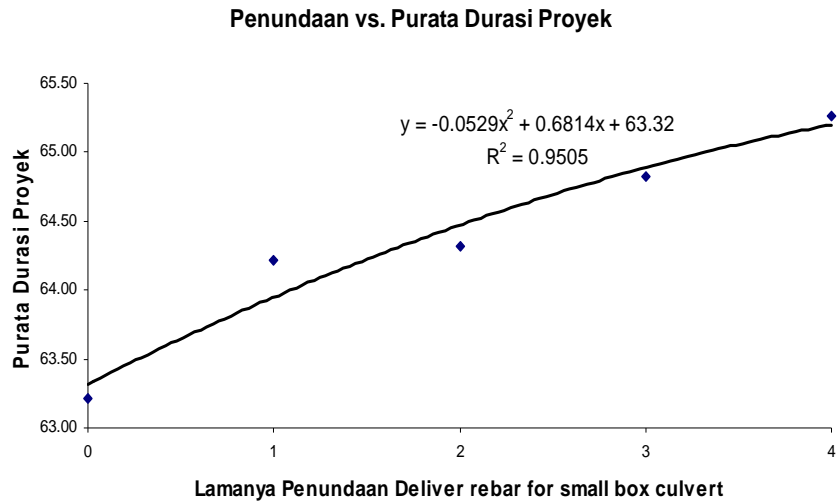
ID	Description	CRITICAL INDICES (Act. Deliver rebar for small box covert ditunda)				
		No Delay	Delay 1	Delay 2	Delay 3	Delay 4
20	<i>Pave from Sta. 42 to Sta. 100</i>	62.20%	55.20%	52.20%	54.40%	46.20%
21	<i>Place subbase from Sta. 100 to Sta. 158</i>	31.00%	36.60%	36.60%	37.40%	41.80%
22	<i>Cure pavement from Sta. 42 to Sta. 100</i>	55.80%	50.00%	45.60%	47.60%	42.20%
23	<i>Pave from Sta. 100 to Sta. 158</i>	34.60%	39.80%	41.80%	41.60%	48.40%
24	<i>Cure pavement from Sta. 100 to Sta. 158</i>	31.20%	35.00%	38.00%	36.80%	42.80%
25	<i>Place shoulders from Sta. 42 to Sta. 100</i>	44.00%	38.20%	36.60%	35.80%	31.40%
26	<i>Place shoulders from Sta. 100 to Sta. 158</i>	22.00%	28.00%	26.80%	24.20%	29.60%
27	<i>Place guardrail & landscape</i>	89.00%	87.00%	89.00%	86.80%	88.20%
28	<i>Finish</i>	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

Pemodelan Dampak Penundaan Aktivitas Non Kritis terhadap Durasi Proyek

Dari hasil simulasi, maka dapat dilihat bagaimana dampak penundaan aktivitas non kritis yaitu *deliver rebar for small box covert* terhadap purata durasi proyek secara keseluruhan. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 3.7, sedangkan secara grafis diperlihatkan pada Gambar 3.8 dan Gambar 3.9.

Tabel 3.8 Dampak Penundaan Aktivitas *deliver rebar for small box covert* terhadap Jadwal Proyek

Penundaan (hari)	Purata	Std. Deviasi	Prob.(□□≤ □□)
0	63,21	6,03	80,36%
1	64,22	5,66	78,11%
2	64,32	6,38	74,77%
3	64,82	6,79	73,81%
4	65,26	6,74	68,47%



Gambar 3.8 Hubungan Lamanya Penundaan dengan Purata Durasi Total Proyek

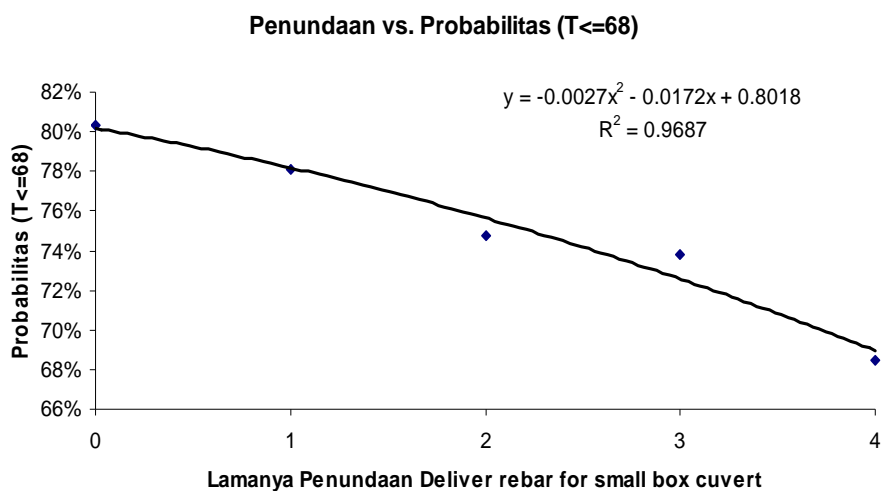
Pada Gambar 3.8 memperlihatkan bagaimana hubungan antara penundaan aktivitas *deliver rebar for small box covert* dengan purata durasi penyelesaian proyek. Hasil regresi polinomial orde 2 menghasilkan Persamaan 3.5

$$PS_{\text{purata}} = -0,0529FL_6^2 + 0,6814 FL_6 + 63,32 \dots\dots\dots (3.5)$$

Di mana : $R^2 = 0,9505$

Berdasarkan hasil pensimulasian, dapat dilihat bahwa semakin lama aktivitas pasangan *deliver rebar for small box covert* ditunda mengakibatkan purata durasi total proyek semakin meningkat. Jika tidak ada penundaan purata durasi total adalah 63,21 hari, sedangkan jika ditunda sampai empat hari maka durasi total meningkat menjadi 65,26 hari. Hal ini disebabkan bertambahnya purata durasi jalur non kritis yang beranggotakan aktivitas *deliver rebar for small box covert*. Seperti yang diungkapkan oleh Gong dan Rowing (1995), purata durasi total proyek akan meningkat bila purata jalur kritis “mendekati” purata jalur kritis. Peningkatan purata durasi total proyek tidak dapat diimbangi dengan penurunan standard deviasi, hal ini mengakibatkan probabilitas tercapainya proyek sesuai dengan rencana menjadi menurun. Penurunan probabilitas ini harus diantisipasi oleh manajer proyek untuk menghindari proyek menjadi terlambat.

Penundaan aktivitas non kritis berakibat jadwal proyek menjadi kurang fleksibel. Berkurangnya fleksibilitas berarti berkurang juga ketidakpastian. Pada Gambar 3.3 dapat dilihat bahwa dengan bertambah lamanya penundaan aktivitas *deliver rebar for small box covert*, maka mengakibatkan menurunnya probabilitas proyek diselesaikan sesuai dengan yang direncanakan sebelumnya.



Gambar 3.9 Hubungan Lamanya Penundaan Aktivitas *deliver rebar for small box covert* dengan Probabilitas Penyelesaian Proyek

Dari Gambar 3.9 dapat disimpulkan bahwa jika dibatasi waktu penyelesaian proyek selama 68 hari, maka dengan bertambah lamanya penundaan maka berakibat menurunnya probabilitas tercapainya waktu penyelesaian. Dengan demikian maka menunda aktivitas non-kritis meskipun dalam *float* yang diijinkan tetap berpengaruh

terhadap waktu penyelesaian proyek. Hal ini harus diwaspadai dalam tahap pelaksanaan dari proyek tersebut.

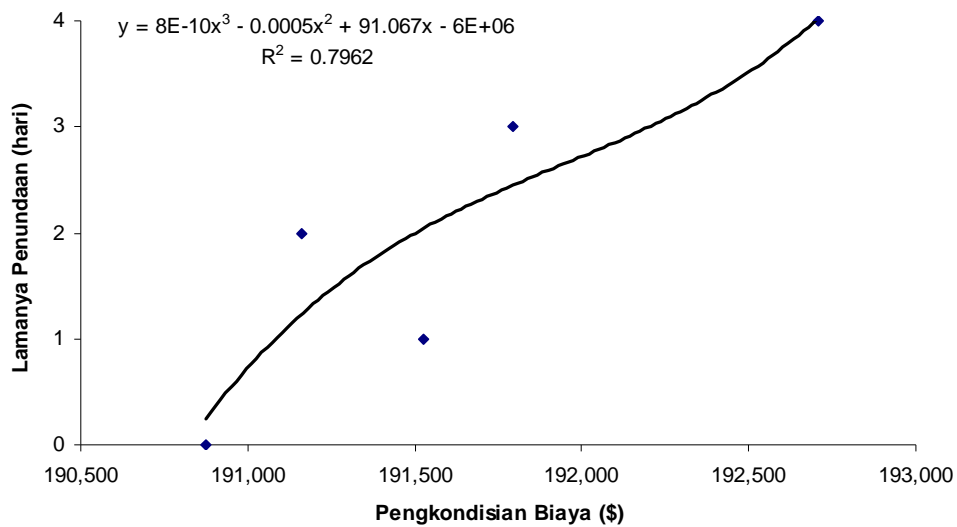
Pemodelan Dampak Penundaan Aktivitas Non Kritis terhadap Biaya

Dalam pemodelan dampak penundaan aktivitas non-kritis terhadap biaya, pertimbangan penting adalah bagaimana memilih biaya yang secara langsung berhubungan dengan tundaan pada aktivitas *deliver rebar for small box covert* dengan tingkat keyakinan tinggi. Dengan demikian, ada kemungkinan perubahan yang sangat kecil pada nilai tersebut. Metoda MSAT digunakan untuk memperoleh nilai estimasi total biaya yang terhubung dengan seluruh kehilangan float pada aktivitas *deliver rebar for small box covert*.

Tabel 3.9 Dampak Penundaan Terhadap Biaya Total dengan Tingkat Keyakinan Sebesar 0,9

Penundaan (hari)	Biaya Total
0	190,874
1	191,526
2	191,162
3	191,794
4	192,710

Dari hasil pada Tabel 3.9 yang merupakan hasil pensimulasian MSAT, dapat disimpulkan bahwa dengan menunda aktivitas non-kritis menyebabkan semakin meningkatnya biaya total proyek. Hal ini disebabkan dengan semakin lama menunda *float* aktivitas non kritis, semakin meningkat durasi probabilitiknya, semakin tinggi biaya tidak langsungnya, dan menyebabkan semakin tinggi juga biaya totalnya. Secara grafis dampak penundaan terhadap biaya total dapat dilihat pada Gambar 3.10



Gambar 3.10 Hubungan Pengkondisian Biaya dengan Lamanya Penundaan

Sakka dan El-Sayegh dalam mengembangkan model dampak biaya menggunakan *dataset* biaya yang di-generate pada *Stage 2*. Penggunaan *dataset* yang di-generate dalam *Stage 2* dapat menghasilkan statistik yang melenceng. Durasi yang dihasilkan oleh proses simulasi pada *Stage 2* tidak selalu terhubung dengan kehilangan *float* yang telah ditentukan. Seharusnya pensimulasian jadwal proyek pada jadwal *baseline* tanpa penundaan adalah dengan menggunakan nilai jadwal yang dihasilkan oleh probabilistik jadwal proyek yang dikondisikan seperti yang dilakukan pada *Stage 4*.

Perkiraan biaya dapat bergerak secara tidak teratur dari simulasi satu ke simulasi lainnya meskipun pada input dan asumsi yang sama. *Dataset* dari *Stage 4* –lah yang seharusnya digunakan daripada *dataset* pada *Stage 2*. Pendekatan inilah yang dilakukan oleh Isidore dan Back (2002) saat menggunakan MSAT untuk menginvestigasi probabilistik biaya dan jadwal.

3. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Secara stokastik, menunda aktivitas non-kritis akan berpengaruh terhadap durasi secara keseluruhan proyek tersebut. Ini dibuktikan dengan menunda aktivitas non-kritis berakibat pada meningkatnya purata dari durasi total dan juga berakibat menurunnya standar deviasinya, ini mengakibatkan menurunnya

probabilitas tercapainya proyek tersebut sesuai dengan waktu yang telah ditetapkan.

2. Jika risiko eskalasi biaya dibatasi, mengakibatkan risiko keterlambatan pun menjadi lebih besar dan sebaliknya jika risiko eskalasi durasi dibatasi pun akan mengakibatkan risiko keterlambatannya semakin besar. Informasi yang diberikan oleh pemodelan ini diharapkan membantu para pelaku dunia konstruksi dalam pengambilan keputusan, dalam hal ini adalah pembatasan biaya maupun durasi terkait dengan risiko keterlambatan.
3. Hasil pensimulasian, menunjukkan bahwa semakin lama aktivitas pasangan *deliver rebar for small box covert* ditunda mengakibatkan purata durasi total proyek semakin meningkat. Jika tidak ada penundaan purata durasi total adalah 63,21 hari, sedangkan jika ditunda sampai empat hari maka durasi total meningkat menjadi 65,26 hari. Hal ini disebabkan bertambahnya purata durasi jalur non kritis yang beranggotakan aktivitas *deliver rebar for small box covert*. Seperti yang diungkapkan oleh Gong dan Rowing (1995), purata durasi total proyek akan meningkat bila purata jalur kritis “mendekati” purata jalur kritis. Peningkatan purata durasi total proyek tidak dapat diimbangi dengan penurunan standard deviasi, hal ini mengakibatkan probabilitas tercapainya proyek sesuai dengan rencana menjadi menurun. Penurunan probabilitas ini harus diantisipasi oleh manajer proyek untuk menghindari proyek menjadi terlambat. Penundaan aktivitas non kritis berakibat jadwal proyek menjadi kurang fleksibel. Berkurangnya fleksibilitas berarti berkurang juga ketidakpastian. Pada Gambar 3.3 dapat dilihat bahwa dengan bertambah lamanya penundaan aktivitas *deliver rebar for small box covert*, maka mengakibatkan menurunnya probabilitas proyek diselesaikan sesuai dengan yang direncanakan sebelumnya.
4. Berdasarkan hasil pada Gambar 3.4 maka dapat disimpulkan bahwa dengan menunda aktivitas non-kritis menyebabkan semakin meningkatnya biaya total proyek. Hal ini disebabkan semakin lama menunda *float* aktivitas non kritis, semakin meningkat durasi probabilistiknya, semakin tinggi biaya tidak langsungnya, dan menyebabkan semakin tinggi juga biaya totalnya.

Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, ada beberapa saran yang perlu untuk dilakukan pada penelitian berikutnya antara lain:

1. Diperlukan penyempurnaan piranti yang digunakan, dalam hal ini diperlukan pemrograman yang “*user friendly*” untuk memodelkan penjadualan yang terintegrasi dengan biaya.
2. Pada tulisan ini terbatas hanya untuk jaringan kerja secara CPM di mana hubungan antar aktivitas bersifat *finish to start (FS constrain)*, sedangkan pada proyek riil tidaklah demikian. Untuk itu maka dibutuhkan penyempurnaan dalam pemrograman yang dilakukan dalam pemodelan ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Ang, A.H-S dan Tang. (1994). *Probability Concept in Planning and Controlling Construction Projects*, 2nd . Ed. John Wiley&Sons, New York.
2. Ahuja, H.N. et al. (1994). *Project Management: Techniques in Planning and Controlling Construction Projects*, 2nd . Ed., John Wiley&Sons, New York.
3. Cox, M.A.A. (1995). “Simple Normal Approximation to the Completion Time Distribution for a PERT Network”, *International J. Project Mgmt.*, Vol 13. No.4.265-270.
4. Gong, D. dan Rowings Jr, J.E. (1995). “Calculation of Safe Float Use in Risk Analysis Oriented Network Scheduling”, *Internasional J. Project Mgmt.*, Vol 13. No.3.187-194.
5. Isidore, L.J dan Back, W.E (2002).”Multiple Simulation Analysis for Probabilistic Cost and Schedule Integration”, *J. Constr. Eng. Mgmt.* Vol 128. No.3.211-219.
6. Palisade Corporation (2001). *Guide to Using @Risk*. New York.
7. Sakka, Z.L. dan El-Sayegh, S.M.(2007).”Float Consumption Impact on Cost and Schedule in Connstruction Industry”. *J. Constr. Eng. Mgmt.* Vol. 133.No.2.124-130
8. Wibowo, Andreas. “Apakah Pendekatan Simulasi Lebih Baik Dibandingkan Pendekatan Analitis? Kasus: Dampak Konsumsi *Float* Aktivitas Nonkritis”
9. Wibowo, Andreas. “Float Consumption Impact on Cost and Schedule in Connstruction Industry Discussion by: Andreas Wibowo”, *J. Constr. Eng. Mgmt.*
10. Wicaksono, Yudhy. *Membuat Fungsi dan Program Bantu Microsoft Excel*, Penerbit PT. Elex Media Komputindo, Jakarta, 2007.
11. <http://www.civil.uwaterloo.ca/tarek/hegazyfre1.html> tanggal akses: 12 Oktober 2007.

PEDOMAN PENULISAN JURNAL TEKNIK SIPIL UNIVERSITAS KRISTEN MARANATHA

1. Jurnal Teknik Sipil UKM merupakan jurnal ilmiah, hasil penelitian, atau studi literatur disertai analisis ilmiah dalam bidang teknik sipil.
2. Tulisan harus asli dan belum pernah dipublikasikan sebelumnya, dikirim dengan mencantumkan kelompok bidang keahlian dalam teknik sipil.
3. Apabila pernah dipresentasikan dalam seminar, agar diberi keterangan lengkap.
4. Naskah ditulis dalam bahasa Indonesia atau bahasa Inggris yang benar, singkat, jelas dilengkapi dengan abstrak dan kata kunci dalam bahasa Indonesia dan bahasa Inggris.
5. Naskah ditulis pada kertas A4, menggunakan Microsoft® Word dengan ketentuan sebagai berikut :
 - a. Judul ditulis dengan huruf kapital, **TIMES NEW ROMAN**, ukuran 13, huruf tebal.
 - b. Abstrak ditulis dengan huruf biasa, Times New Roman, ukuran 10, spasi 1, demikian juga dengan kata kunci.
 - c. Isi naskah ditulis dengan huruf biasa, Times New Roman, ukuran 11, spasi 1.5.
 - d. Jumlah halaman beserta lampiran minimal 10 halaman, maksimal 20 halaman.
 - e. Jumlah halaman untuk lampiran maksimal 20% dari jumlah halaman total.
 - f. Nama penulis ditulis tanpa pencantuman gelar akademik.
 - g. Penulisan sub bab disertai nomor, contoh :
 - 1. HURUF KAPITAL**
 - 1.1 Huruf Biasa**
 - h. Gambar diberi nomor dan keterangan gambar ditulis dibawah gambar.
 - i. Tabel diberi nomor dan keterangan tabel ditulis diatas tabel.
 - j. Daftar pustaka ditulis dengan format sebagai berikut :
 1. Timoshenko, S.P, Young, D.H., (1995). *Theory of Structures*, McGraw Hill Book Co, New York.
 - k. Kata-kata asing (jika naskah ditulis dalam bahasa Indonesia) dicetak *miring*.
6. Menggunakan sistematika penulisan sebagai berikut :
 - a. Judul Naskah.
 - b. Nama penulis utama, penulis pembantu.
 - c. Abstrak dalam bahasa Indonesia dan bahasa Inggris.
 - d. Kata kunci.
 - e. Pendahuluan (berisi latar belakang, tujuan, ruang lingkup, dan metodologi).
 - f. Isi (tinjauan pustaka).
 - g. Studi Kasus (data, studi kasus, dan pembahasan)
 - h. Penutup (kesimpulan, saran, dan daftar pustaka).
7. Naskah dapat dikirim dalam bentuk cetak di kertas A4 beserta *file* dalam CD-ROM, atau dapat dikirim dalam bentuk *file* via E-mail.
8. Naskah yang masuk redaksi akan ditinjau oleh penelaah ahli dalam bidangnya sebelum diterbitkan.
9. Jurnal terbit 2x dalam setahun pada bulan April dan Oktober.