

# JURNAL TEKNIK SIPIL

**Analisis Risiko Jalan Tol Tahap Pra Konstruksi  
(Studi Kasus Jalan Tol Pekanbaru-Dumai)**

*( Ari Sandhyavitri, Niko Saputra )*

**Analisis Lendutan Seketika dan Lendutan Jangka Panjang  
Pada Struktur Balok**

*( Daud Rahmat Wiyono, William Trisina )*

**Analisis Stabilitas Struktur Pelindung Pantai Batu Bronjong**

*( Olga Pattipawaej, Kanjalia Tjandrapuspa Tanamal, Asriwiyanti Desiani,  
Hanny Juliany Dani, Angga Rijalu Pratama )*

**Aplikasi Perhitungan Profil Aliran dengan Metode Integrasi Grafis  
dan Tahapan Langsung pada Saluran Berpenampang Trapesium**

*( Kanjalia Tjandrapuspa, Adelia, Heri Santoso )*

**Pengaruh Penggunaan Limbah Baja Terhadap Kuat Karakteristik  
Beton**

*( Ronald Simatupang, Olga Pattipawaej, Tan Lie Ing, Deni Setiawan )*

J. Tek.Sipil	Vol. 9	No. 1	Hlm.1- 83	Bandung, April 2013	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** : Dr. Yosafat Aji Pranata, ST., MT.
- Penyunting Pelaksana** : Prof. Dr. Ir. Budi Hartanto Susilo, M.Sc.  
Dr. Anang Kristianto, ST., MT.  
Ir. Maria Christine, M.Sc.  
Ir. Herianto Wibowo, M.Sc.  
Hanny Juliany Dani, ST., MT.
- Desain Visual dan Editor** : Aldrin Boy Rahardjo, A.Md.
- Sekretariat dan Sirkulasi** : Betty Heriati Sairoen
- 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. 1211, 1212 ; Fax. 022 - 2017622
- E-mail** : jurnal\_ts@eng.maranatha.edu
- Website** : <http://majour.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 :**

<b>Analisis Risiko Jalan Tol Tahap Pra Konstruksi (Studi Kasus Jalan Tol Pekanbaru-Dumai) ( Ari Sandhyavitri, Niko Saputra )</b>	<b>1 - 19</b>
<b>Analisis Lendutan Seketika dan Lendutan Jangka Panjang Pada Struktur Balok ( Daud Rahmat Wiyono, William Trisina )</b>	<b>20 - 37</b>
<b>Analisis Stabilitas Struktur Pelindung Pantai Batu Bronjong ( Olga Pattipawaej, Kanjalia Tjandrapuspa Tanamal, Asriwiyanti Desiani, Hanny Juliany Dani, Angga Rijalu Pratama )</b>	<b>38 - 56</b>
<b>Aplikasi Perhitungan Profil Aliran dengan Metode Integrasi Grafis dan Tahapan Langsung pada Saluran Berpenampang Trapesium ( Kanjalia Tjandrapuspa, Adelia, Heri Santoso )</b>	<b>57 - 74</b>
<b>Pengaruh Penggunaan Limbah Baja Terhadap Kuat Karakteristik Beton ( Ronald Simatupang, Olga Pattipawaej, Tan Lie Ing, Deni Setiawan )</b>	<b>75 - 83</b>

# ANALISIS RISIKO JALAN TOL TAHAP PRA KONSTRUKSI (STUDI KASUS JALAN TOL PEKANBARU-DUMAI)

Ari Sandhyavitri<sup>1</sup>, Niko Saputra<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Engineering – University of Riau, Kampus Binawidya, Km 12.5 Panam, Pekanbaru  
arisandhyavitri@gmail.com

<sup>2</sup>Faculty of Engineering – University of Riau, Kampus Binawidya, Km 12.5 Panam, Pekanbaru  
princepoetra@gmail.com

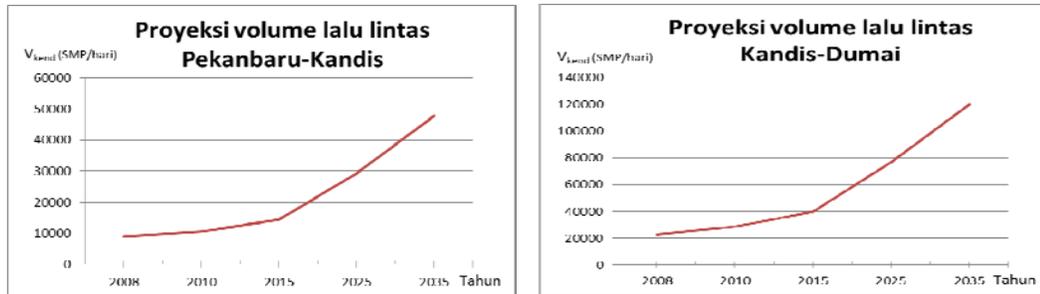
## ABSTRAK

Kota Pekanbaru dihubungkan melalui jalan menuju Kota Dumai, di Propinsi Riau yang merupakan ruas jalur penting di Sumatera, dengan kondisi jalan 2 lajur 2 arah yang diprediksi akan mengalami *overcapacity* pada tahun 2015. Untuk memperlancar transportasi antara kedua kota tersebut maka direncanakanlah pembangunan jalan tol. Untuk itu perlu dilakukan identifikasi risiko pembangunan jalan tol ini sebagai salah satu bagian dari analisis kelayakannya. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi dan mengukur besaran probabilitas risiko dan dampak risiko pembangunan jalan tol ini pada tahap pra-konstruksinya. Analisis risiko yang mungkin terjadi juga dikuantifikasi dalam bentuk probabilitas dengan melakukan simulasi menggunakan *software @Risk Project*. Diidentifikasi 5 faktor utama risiko pada proyek ini yaitu: risiko perizinan, studi kelayakan, desain, pembebasan lahan dan investasi. Besar probabilitas risiko yang diukur pada proyek jalan tol pada tahap pra konstruksi ini lebih kecil dibandingkan parameter yang dikeluarkan oleh Puslitbang PU. Hal ini disebabkan kondisi masyarakat Riau yang relatif lebih kondusif dalam pembangunannya. Dari hasil simulasi diperoleh nilai rata-rata (mean value) pembangunan proyek ini adalah Rp. 819,65 Milyar dengan rentang nilai rencana anggaran pembiayaan dari Rp. 783,07 Milyar sampai Rp. 847,10 Milyar. Dampak risiko terhadap kenaikan rencana anggaran biaya investasi sebesar 12,37% (Rp 102,24 Milyar) dengan faktor risiko sebesar 0.590 maka tergolong berisiko sedang. Risiko yang paling sensitif adalah (i) Ketersediaan lahan, (ii) Proses ganti rugi, (iii) Penolakan Masyarakat, (iv) Banyaknya calo tanah, dan (v) sumber pendanaan yang belum jelas. Maka mitigasi risiko dapat difokuskan pada lima parameter diatas.

**Kata kunci:** analisis risiko, identifikasi, probabilitas, dampak, spss, @risk project

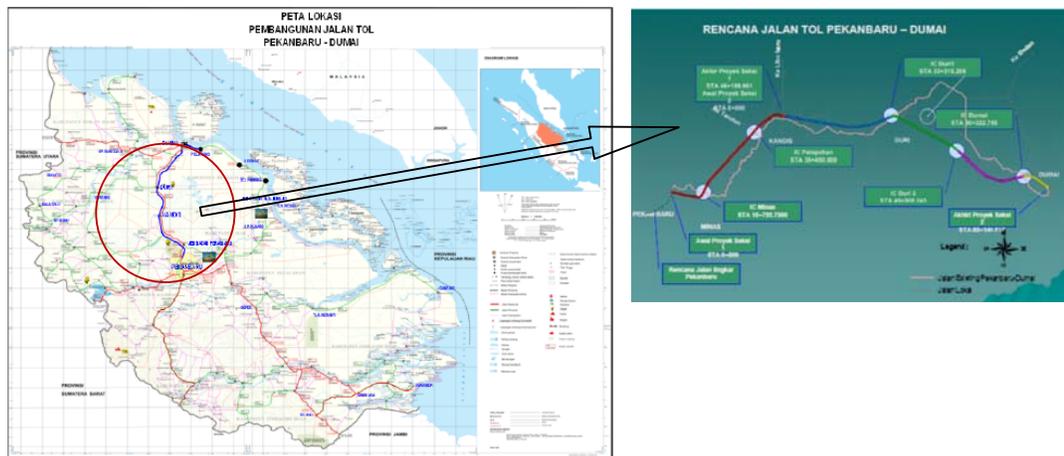
## 1. PENDAHULUAN

Ruas jalan Pekanbaru-Dumai saat ini merupakan jalur penting yang termasuk dalam jalur lintas timur pulau Sumatera. Kota Dumai merupakan pelabuhan penting yang menjadi pintu keluar masuk barang untuk dan dari Riau sedangkan Kota Pekanbaru merupakan titik kumpul bagi kabupaten-kabupaten di Propinsi Riau. Berdasarkan *Integrated Road Management System – IRMS* (1999), panjang ruas Jalan Pekanbaru-Dumai adalah 199,45 km dengan volume kendaraan rata-rata 3000-4000 SMP/hari sedangkan waktu tempuh rata-rata adalah 4-5 jam dengan risiko kecelakaan rata-rata sampai 60% (Buletin SH&E PT CPI, dan IRMS 1999), berarti hampir setiap hari terjadi kecelakaan lalu lintas. Komposisi kendaraan adalah 51 % kendaraan penumpang, 12 % bis dan 37% truk. Dengan kondisi jalan 2 lajur 2 arah, jalan Pekanbaru-Dumai akan mengalami *overcapacity* pada ruas Kandis-Duri tahun 2015 (Zulfery, 2004) (Gambar 1).



**Gambar 1. Grafik proyeksi volume lalu lintas Kandis-Dumai**

Berdasarkan informasi tersebut, maka dibutuhkan penambahan kapasitas jalan yang menghubungkan kota Pekanbaru-Dumai. Untuk mengatasi pertumbuhan lalu lintas dan meningkatkan efisiensi jasa distribusi guna menunjang pertumbuhan ekonomi di Provinsi Riau maka direncanakanlah jalan tol Pekanbaru-Dumai (Presentasi jalan tol Pekanbaru-Dumai oleh Gubernur Riau, 2000) (Gambar 2).



**Gambar 2. Peta lokasi pengembangan jalan tol Pekanbaru–Dumai.**

Penanaman investasi akan selalu terlibat dalam risiko pada skala tertentu, termasuk dalam investasi pembangunan jalan tol Pekanbaru-Dumai. Dalam konteks manajemen konstruksi, risiko-risiko tersebut dapat berdampak pada kegagalan pencapaian tujuan (*project objectives*), seperti anggaran biaya, dan waktu pelaksanaannya. Maka untuk itu perlu dilakukannya analisis risiko pada proyek jalan tol Pekanbaru-Dumai terutama pada saat masa pra konstruksi saat ini.

Tujuan penulisan ini adalah: (i) Identifikasi faktor-faktor risiko yang mungkin terjadi pada masa pra konstruksi pada jalan tol Pekanbaru-Dumai; (ii) Identifikasi besarnya nilai kemungkinan/probabilitas risiko yang teridentifikasi dalam bentuk yang

terukur; (iii) Identifikasi besar pada nilai dampak bila risiko itu terjadi; (iv) Analisis risiko; dan (v) Simulasi beberapa skenario untuk pengujian risiko.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

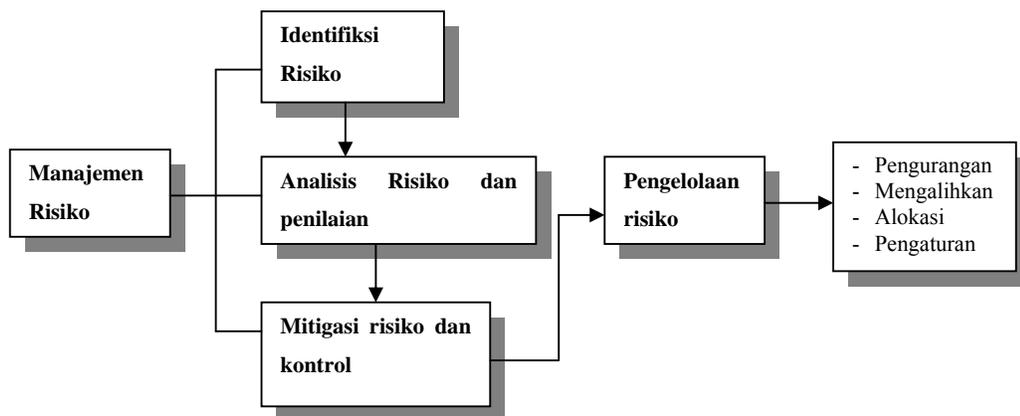
### 2.1 Pengertian Risiko dan Analisis Risiko

Risiko adalah suatu variasi dari hasil-hasil yang dapat terjadi selama periode tertentu pada kondisi tertentu (Halpin, D. W and Woodhead, R. W., 1998). Analisis risiko adalah metode untuk mengidentifikasi dan mengukur risiko, pengembangan, seleksi dan program manajemen untuk menghadapi risiko tersebut dalam sebuah cara yang terorganisir. Hal ini meliputi tiga aspek yaitu: identifikasi risiko, penilaian risiko dan pengelolaan risiko (Smith, 1995, dan Sandhyavitri, 2002).

### 2.2 Manajemen Risiko

Manajemen risiko adalah proses sistematis dari perencanaan, identifikasi, analisis, pemberian respon, dan pengawasan dari risiko proyek-proyek. Manajemen risiko melibatkan proses-proses, teknologi, peralatan, dan teknik-teknik tertentu yang akan membantu manajer membuat keputusan yang tepat dalam rangka memaksimalkan kemungkinan dan konsekuensi positif dan meminimalkan kemungkinan dan konsekuensi negatif dari suatu kejadian (Smith, 1995, and Ningrum Ratna, 2008).

Manajemen risiko menggarisbawahi sekurang-kurangnya 3 hal, yaitu; (i) indentifikasi resiko (*risk indentification*), (ii) penilaian resiko (*risk assessment*), dan (iii) mengontrol dan meminimalkan risiko (*risk minimise and control*) yang mungkin dapat terjadi selama proyek berjalan secara sistematis (Gambar 3).



Gambar 3. Proses manajemen risiko

### 2.3 Analisis Tingkat Risiko

Analisis tingkat risiko didasarkan pada persamaan faktor risiko investasi, dimana besaran-besaran faktor risiko tersebut merupakan gambaran mengenai tingkat risiko investasi yang terjadi. Persamaan faktor risiko didefinisikan sebagai perkalian antara besaran dampak dan probabilitas kejadian risiko, yang dihitung dari persamaan berikut ini, yaitu:

$$FR = L + I - (L \times I) \quad (1)$$

dengan :

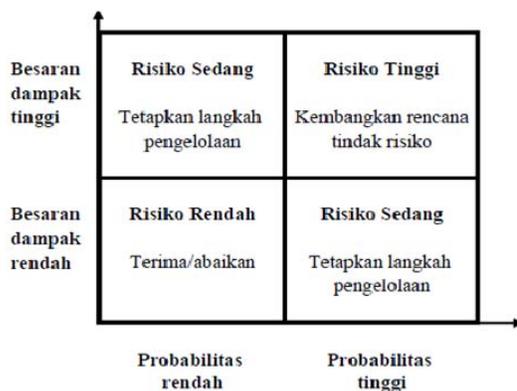
FR = Faktor risiko, dengan skala 0-1,

L = Probabilitas kejadian risiko (0-100%),

I = Besaran dampak (impact) risiko (dalam kasus berikut ini dihitung dalam bentuk biaya).

**Tabel 1. Kategori risiko**

Nilai FR	Kategori	Langkah Penanganan
> 0,7	Risiko Tinggi	Harus dilakukan penurunan risiko ke tingkat yang lebih rendah
0,4 – 0,7	Risiko Sedang	Langkah perbaikan dibutuhkan dalam jangka waktu tertentu
< 0,4	Risiko Rendah	Langkah perbaikan bilamana memungkinkan



**Gambar 4. Matriks Kategori Risiko**

Kategori Risiko (Tabel 1) dibagi atas 4 kuadran, yaitu; (i) risiko rendah, dimana risiko biasanya diabaikan karena probabilitas kejadiannya relatif rendah dan walaupun terjadi, maka dampaknya relatif kecil, (ii dan iii) risiko sedang, dimana salah satu dari probabilitas ataupun dampaknya relatif rendah, sehingga perlu dilakukan langkah-langkah antisipasi untuk mengelolanya, dan (iv) risiko tinggi, dimana probabilitas kejadiannya dan dampaknya relatif tinggi, sehingga perlu dibuat rencana pengelolaan dan penurunan risiko yang mungkin terjadi (Gambar 4).

### **3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **3.1 Identifikasi Risiko**

Berdasarkan hasil survey pra pendahuluan diperoleh faktor-faktor risiko dan secara garis besar dibagi menjadi 5 bagian yaitu: Perizinan/Administrasi; Studi kelayakan/AMDAL; Desain/ Rancangan; Pembebasan Lahan; dan Investasi.

- a) Risiko Perizinan; Risiko perizinan pada prinsipnya dapat mempengaruhi pada berhasil atau tidaknya rencana investasi Adapun tahapan perizinan dalam pembangunan jalan tol Pekanbaru-Dumai: usulan proyek jalan tol Pekanbaru-Dumai; usulan pembiayaan kajian Studi Kelayakan (Fisibility Study); usulan pembiayaan Survei Investigasi Desain (SID) dan Detail Engginering Desain (DED); usulan pembiayaan AMDAL; dan SK Izin Pembebasan Lahan. Risiko perizinan kemudian dibagi lagi menjadi 2 faktor risiko yaitu: Proses tender; Proses tender yang kurang transparan sehingga dapat menimbulkan risiko kegagalan rencana investasi dan Dokumen kontrak; Dokumen kontrak yang tidak mengatur secara detil tentang penanggulangan risiko investasi.
- b) Risiko Studi Kelayakan atau AMDAL; Risiko Studi Kelayakan / AMDAL pada prinsipnya menjadi penentu keberlangsungan suatu proyek, sehingga apabila beberapa asumsi tidak terpenuhi dapat mengakibatkan proyek menjadi tidak layak dan harus dibatalkan. Adapun studi kelayakan jalan tol Pekanbaru-Dumai telah dilakukan oleh PUSTRAL –UGM pada tahun 2001, sedangkan untuk AMDAL sendiri telah di analisis pada tahun 2006 oleh PT. Nursvey Engginering Consultant, PT. Mitra Lingkungan Duta Consultant dan PT. Jakarta Rencana Selaras. Risiko Studi Kelayakan / AMDAL disusun atas 2 faktor risiko diantaranya : Data yang digunakan; Data yang digunakan dalam studi kelayakan kurang akurat sehingga berpotensi menimbulkan kesalahan estimasi dan Asumsi yang diambil; Asumsi pertumbuhan ekonomi dan lalu lintas yang kurang realistis sehingga dapat menimbulkan risiko kesalahan prediksi pendapatan.
- c) Risiko Desain; pada dasarnya risiko desain yang kurang memenuhi spesifikasi yang diisyaratkan dapat menyebabkan keterlambatan, penambahan biaya, menurunnya kinerja, meningkatnya biaya operasional atau berkurangnya umur rencana. Adapun tahapan desain jalan tol Pekanbaru-Dumai:  
Survei Investigasi Desain (SID), segmen Pekanbaru-Kandis pada tahun 2004 oleh PT. Bina Karya dan segmen Kandis-Duri-Dumai pada tahun 2006 oleh PT. Herda Carter Indonesia dan PT. Virma Karya (Persero); Analisis Keuangan (Financial Analisis)

oleh PT. Perentjana Djaya pada tahun 2011; Pemantapan koordinat trase jalan; Pematokan; dan Masterplan. Pada saat ini desain tol Pekanbaru-Dumai telah mengalami revisi dari desain semula. Hal ini dikarenakan desain awal melewati areal pemukiman padat penduduk dan pemakaman sehingga tidak memungkinkan untuk dibebaskan. Risiko Desain dibagi menjadi 2 faktor risiko diantaranya : Standar rancangan; penggunaan standar perencanaan yang kurang tepat sehingga berpotensi menimbulkan risiko perubahan rencana yang telah dibuat, dan Misinterpretasi; Konsultan yang salah dalam melakukan interpretasi terhadap keinginan pemberi tugas sehingga berpotensi mengalami perubahan rencana dan biaya perencanaan.

- d) Risiko Pembebasan Lahan; Proyek pembangunan jalan tol memerlukan area lahan yang cukup luas. Dengan demikian, masalah pembebasan tanah merupakan suatu permasalahan yang menyangkut banyak kepentingan. Dalam proses pembebasan lahan terdapat risiko tidak tercapainya kesepakatan harga tanah antara pemerintah dengan pemilik tanah. Risiko tersebut muncul bila lahan pada lokasi yang telah dijadwalkan sebagai tahapan pembangunan belum dapat dibebaskan yang berarti akan menjadi hambatan dalam tahapan pembangunan. Adapun lahan yang akan dibebaskan 60 % berada di area perkebunan perusahaan dan 40 % dimiliki oleh penduduk. Hal ini mempermudah pemerintah dalam melakukan pembebasan lahan karena lebih sedikit pihak yang di hubungi yaitu perusahaan perkebunan sehingga untuk pembebasan lahan dan masalah sengketa lahan kemungkinan kecil terjadi (lihat gambar 5).

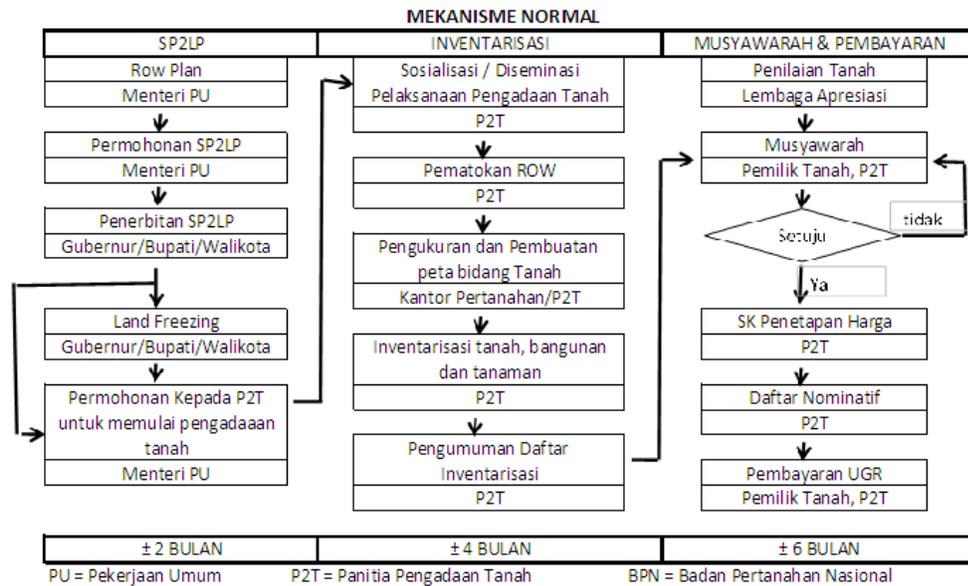


**Gambar 5. Identifikasi awal kepemilikan tanah**

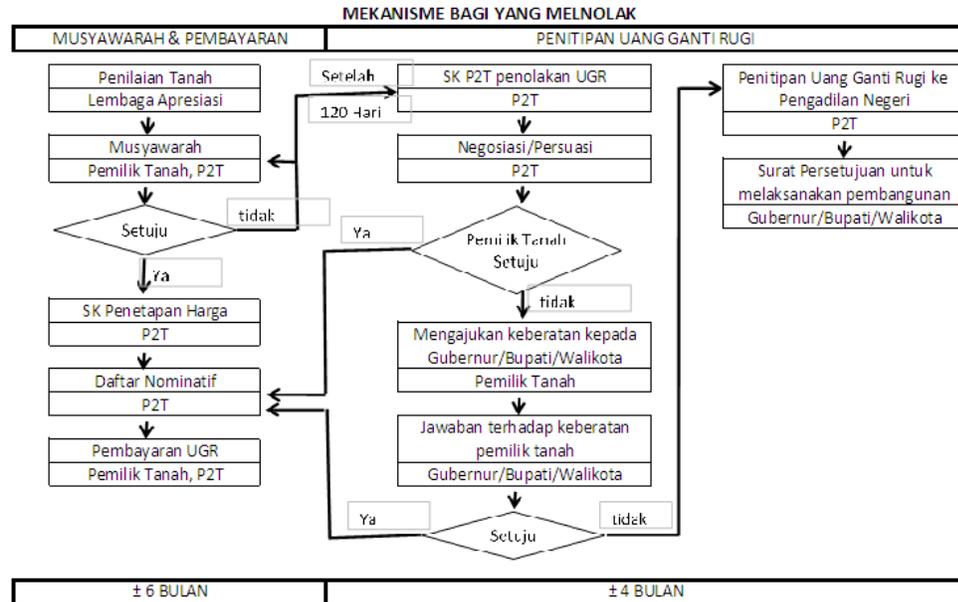
Perkiraan sementara kebutuhan biaya untuk pengadaan lahan untuk proyek jalan tol Pekanbaru-Dumai sepanjang 126,2 Km dan lebar 100 meter adalah sekitar Rp. 475

Milyar, dengan kata lain lembaga apresiasi melakukan penilaian ganti rugi tanah untuk jalan tol Pekanbaru-Dumai sebesar 38.000/m<sup>2</sup>. Pembebasan lahan tol Pekanbaru-Dumai merupakan sharing dana antara APBN, APBD provinsi Riau dan APBD kabupaten / kota terkait (Kabupaten Siak, Kabupaten Bengkalis, dan Kota Pekanbaru). Risiko Pembebasan lahan dibagi menjadi 4 faktor risiko, antara lain:

- Ketersediaan lahan; Dilihat dari proses inventarisasi lahan yang sedang dilakukan oleh Pemerintah Provinsi Riau, lahan yang dibutuhkan untuk pembangunan jalan tol Pekanbaru-Dumai jelas tersedia
- Proses ganti rugi; harga kompensasi yang terjadi di atas perkiraan anggaran yang disediakan menyebabkan lamanya proses ganti rugi. Berikut mekanisme normal pembebasan lahan (lihat Gambar 6) dan mekanisme bagi yang menolak (lihat Gambar 7).



**Gambar 6. Mekanisme normal pembebasan lahan**



**Gambar 7. Mekanisme pembebasan lahan bagi yang menolak**

- Penolakan masyarakat, sebagian lahan yang ada sulit untuk dibebaskan akibat adanya penolakan masyarakat sehingga berpotensi mengalami keterlambatan. Pada dasarnya masyarakat Riau sangat setuju dengan adanya proyek pembangunan jalan tol Pekanbaru-Dumai dan tidak menolak untuk pindah asalkan harga ganti rugi lahannya sesuai. Dari survei masyarakat yang terkena dampak pembangunan tol Pekanbaru-Dumai, untuk harga ganti rugi tanah yang diinginkan masyarakat berdasarkan jumlah batang kelapa sawit. Untuk tanaman sawit yang berumur 4 tahun sampai 7 tahun berkisar antara Rp.60 - 90 juta/Ha (survei wawancara detail dengan masyarakatm 2011).
  - Banyaknya calo tanah; Adanya perantara dalam pembebasan lahan akan berpengaruh pada meningkatnya harga pembebasan lahan. Menurut survei kepada masyarakat disekitar proyek pembangunan jalan tol Pekanbaru-Dumai, adapun calo tanah dapat berpengaruh pada meningkatnya harga tanah sekitar (20%-50%).
- e) Investasi; pada dasarnya investasi merupakan elemen penting agar terealisasinya suatu proyek besar seperti jalan tol. Pemerintah telah memperhitungkan untuk investasi jalan tol Pekanbaru-Dumai membutuhkan dana Rp. 8,446 Triliun dengan masa konsesi 50 Tahun. Risiko investasi disusun atas 3 faktor risiko, diantaranya :
- Sumber pendanaan; sampai saat ini belum adanya investor yang tertarik untuk berinvestasi pada pembangunan jalan tol Pekanbaru-Dumai. Menurut pengamatan peneliti yang menjadi kendala dalam investasi jalan tol Pekanbaru-Dumai saat ini

adalah belum adanya jaminan pemerintah akan kembalinya modal investor apalagi seperti yang telah di ketahui bahwa merujuk pada studi kelayakan ekonomi jalan tol Pekanbaru-Dumai ini tidak layak.

- Kontinuitas sumber dana; Kontinuitas sumber dana jelas mempengaruhi cepat atau lambatnya realisasi proyek jalan tol Pekanbaru-Dumai ini.
- Panjangnya durasi Pengembalian Pinjaman, Masa konsesi yang ditawarkan pemerintah kepada investor dalam investasi pembangunan jalan tol Pekanbaru-Dumai adalah 50 tahun. Untuk investor yang sumber dananya berasal dari pinjaman bank, panjangnya durasi pengembalian pinjaman dapat menaikkan bunga kredit bank sehingga dapat mengurangi pendapatan investor.

### 3.2 Probabilitas Risiko dan Besaran Dampak Risiko

Berdasarkan survei pendahuluan diperoleh probabilitas dan besaran dampak risiko (dapat dilihat dari Tabel 2 dan Tabel 3).

**Tabel 2. Perbandingan probabilitas kejadian risiko investasi pada tahap pra konstruksi yang didapat dari survei pendahuluan dengan pedoman Puslitbang PU (Pd-T-01-2005)**

Tahap Prakonstruksi		Survei Pendahuluan		Pd-T-01-2005	
		Rata-rata Probabilitas	Standar deviasi	Rata-rata Probabilitas	Standar deviasi
1	Perizinan	0,263	0,200	0,668	0,222
A	Proses tender	0,25	0,271	0,670	0,245
B	Dokumen kontrak	0,333	0,171	0,705	0,237
2	Studi kelayakan	0,472	0,208	0,663	0,155
A	Dta yang digunakan	0,527	0,241	0,679	0,185
B	Asumsi yang diambil	0,416	0,271	0,667	0,200
3	Desain	0,305	0,202	0,488	0,211
A	Standar rancangan	0,264	0,159	0,521	0,224
B	Misinterpretasi	0,347	0,286	0,502	0,226
4	Pembebasan lahan	0,527	0,255	0,838	0,150
A	Ketersediaan lahan	0,444	0,265	0,637	0,241

B	Proses ganti rugi	0,611	0,287	0,830	0,134
C	Penolakan Masyarakat	0,514	0,249	0,777	0,163
D	Banyaknya calo tanah	0,555	0,251	0,809	0,190
5	Investasi	0,444	0,202	NA	NA
A	Sumber pendanaan	0,514	0,264	NA	NA
B	Kontinuitas sumber dana	0,403	0,212	NA	NA
C	Lamanya pengembalian pinjaman	0,458	0,261	NA	NA

Berdasarkan Tabel 2 diatas besar probabilitas risiko yang diukur pada proyek jalan tol Pekanbaru-Dumai tahap pra konstruksi lebih kecil dibandingkan tipikal probabilitas kejadian risiko investasi jalan tol di Indonesia yang bersumber dari Puslitbang PU Hal ini disebabkan kondisi masyarakat Riau yang lebih kondusif dan partisipatif dalam pembangunan di Provinsi Riau.

**Tabel 3. Perbandingan Pengaruh atau dampak risiko investasi pada tahap pra konstruksi yang di dapat dari survei pendahuluan dengan pedoman Puslitbang PU (Pd-T-01-2005)**

Tahap Prakonstruksi		Survei Pendahuluan		Pd-T-01-2005	
		Besaran Dampak	Standar deviasi	Besaran Dampak	Standar deviasi
1	Perizinan	0,264	0,315	0,124	0,154
a	Proses tender	0,222	0,331	0,217	0,197
b	Dokumen kontrak	0,347	0,311	0,225	0,178
2	Studi kelayakan	0,361	0,299	0,169	0,155
a	Dta yang digunakan	0,388	0,323	0,256	0,192
b	Asumsi yang diambil	0,319	0,307	0,271	0,187
3	Desain	0,236	0,234	0,146	0,145
a	Standar rancangan	0,264	0,277	0,236	0,165
b	Misinterpretasi	0,250	0,227	0,249	0,178

Tahap Prakonstruksi		Survei Pendahuluan		Pd-T-01-2005	
		Besaran Dampak	Standar deviasi	Besaran Dampak	Standar deviasi
4	Pembebasan lahan	0,555	0,236	0,241	0,286
a	Ketersediaan lahan	0,486	0,337	0,471	0,357
b	Proses ganti rugi	0,611	0,274	0,449	0,283
c	Penolakan Masyarakat	0,555	0,251	0,461	0,294
d	Banyaknya calo tanah	0,500	0,297	0,444	0,288
5	Investasi	0,458	0,231	NA	NA
a	Sumber pendanaan	0,500	0,297	NA	NA
b	Kontinuitas sumber dana	0,416	0,271	NA	NA
c	Lamanya pengembalian pinjaman	0,375	0,323	NA	NA

Berdasarkan Tabel 3 diatas dapat diketahui bahwa pengaruh atau dampak dari faktor risiko tahap pra konstruksi pada jalan tol Pekanbaru-Dumai lebih besar dibandingkan dengan nilai tipikal dampak akibat terjadinya risiko investasi jalan tol yang bersumber dari Puslitbang PU. Hal ini mungkin dikarenakan di Provinsi Riau belum ada proyek jalan tol sebelumnya, sehingga untuk menghindari kesalahan dalam asumsi responden akan dampak dari risiko ini maka dalam penelitian ini digunakan nilai tipikal dampak yang bersumber dari Puslitbang PU. (Sumber: Hasil Justifikasi Risiko, 2011).

### 3.3 Analisis Risiko

Analisis tingkat risiko didasarkan pada persamaan faktor risiko investasi, dimana besaran-besaran faktor risiko tersebut merupakan gambaran mengenai tingkat risiko investasi yang terjadi. Persamaan faktor risiko didefinisikan sebagai perkalian antara besaran dampak dan probabilitas kejadian risiko, yang dihitung dari persamaan 2 pada tinjauan pustaka.

Langkah berikutnya dalam analisis risiko adalah membuat kategorisasi risiko-risiko ke dalam beberapa kategori sebagaimana tercantum pada Tabel 4 dan Gambar 8, dimana:

- a) Risiko rendah, adalah risiko yang dapat diterima atau diabaikan
- b) Risiko sedang, yaitu risiko yang tingkat kemungkinannya tinggi tapi dampaknya rendah atau tingkat kemungkinannya rendah tapi dampaknya tinggi.

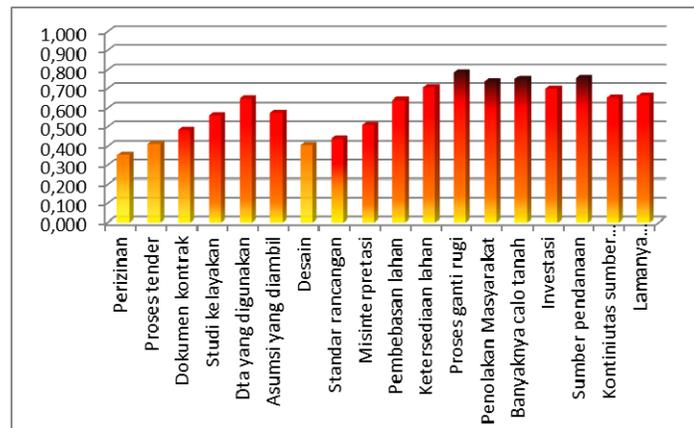
c) Risiko tinggi, adalah risiko yang memiliki tingkat kemungkinan kejadian tinggi dan dampak yang besar.

Adapun hasil pengukuran faktor risiko dan kategorisasi risiko tahap pra konstruksi pada jalan tol Pekanbaru-Dumai dapat dilihat dari gambar 8 dan tabel 4 dibawah ini :

**Tabel 4. Pengukuran faktor risiko dan kategorisasi risiko**

Tahap Prakonstruksi		Probabilitas (L)	Dampak (I)	FR = $L+I-(L*I)$	Kategori Risiko
1	Perizinan	0.263	0.124	0.354	Risiko Rendah
a	Proses tender	0.250	0.217	0.413	Risiko Sedang
b	Dokumen kontrak	0.333	0.225	0.483	Risiko Sedang
2	Studi kelayakan	0.472	0.169	0.561	Risiko Sedang
a	Data yang digunakan	0.527	0.256	0.648	Risiko Sedang
b	Asumsi yang diambil	0.416	0.271	0.574	Risiko Sedang
3	Desain	0.305	0.146	0.406	Risiko Sedang
a	Standar rancangan	0.264	0.236	0.438	Risiko Sedang
b	Misinterpretasi	0.347	0.249	0.510	Risiko Sedang

Tabel 4. lanjutan.					
Tahap Prakonstruksi		Probabilitas (L)	Dampak (I)	FR = L+I-(L*I)	Kategori Risiko
4	Pembebasan lahan	0.527	0.241	0.641	Risiko Sedang
a	Ketersediaan lahan	0.444	0.471	0.706	Risiko Tinggi
b	Proses ganti rugi	0.611	0.449	0.786	Risiko Tinggi
c	Penolakan Masyarakat	0.514	0.461	0.738	Risiko Tinggi
d	Banyaknya calo tanah	0.555	0.444	0.751	Risiko Tinggi
5	Investasi	0.444	0.458	0.699	Risiko Sedang
a	Sumber pendanaan	0.514	0.500	0.757	Risiko Tinggi
b	Kontinuitas sumber dana	0.403	0.416	0.651	Risiko Sedang
c	Lamanya pengembalian pinjaman	0.458	0.375	0.661	Risiko Sedang



**Gambar 8. Faktor risiko dan kategorisasi risiko**

### 3.4 Perhitungan Tingkat Risiko Investasi Jalan Tol

Dengan menggunakan data anggaran pembebasan lahan jalan tol Pekanbaru-Dumai yang didapat, maka untuk perhitungan struktur anggaran biaya tahap pra konstruksi

lainnya digunakan tipikal struktur anggaran biaya investasi jalan tol menurut Puslitbang PU, perhitungan tingkat risiko investasi dapat dilakukan seperti terlihat pada Tabel 5.

**Tabel 5. Perhitungan tingkat risiko investasi jalan tol Pekanbaru-Dumai**

Komponen Resiko	Bobot	Besaran Biaya	Probabilitas (L)	Besaran Dampak (I)	Besaran Resiko	Faktor Resiko FR = L+I-(L*I)
<b>Pra Konstruksi</b>						
a Perizinan	0,0%	0	0,263	0,264	0	0,458
b Studi Kelayakan	4,4%	151.976.520.000	0,472	0,361	25.895.583.196	0,663
c Desain	5,7%	199.730.610.000	0,305	0,263	16.021.390.881	0,488
d Pembebasan Lahan	13,6%	475.000.000.000	0,527	0,241	60.328.325.000	0,641
e Investasi	0,0%	0	0,444	0,458	0	0,699
Sub Total	23,7%	826.707.130.000			102.245.299.077	0,590
Total Kenaikan Akibat Adanya Resiko Investasi Tahap Pra Konstruksi					12,37%	Sedang

Dari hasil perhitungan pada Tabel 5 diperoleh pada tahap pra konstruksi tingkat dampak berpengaruh pada kenaikan biaya investasi sebesar 12.37% (Rp.102,24 milyar). Dengan pengertian bahwa “agar kegiatan tahap pra konstruksi pembangunan jalan tol Pekanbaru-Dumai ini dapat berjalan dengan baik maka Pemerintah membutuhkan dana kontingensi (*contingency budget*) sebesar 102,24 Milyar, atau pemerintah harus lebih fokus, berkomitmen dan sepenuh hati dalam melaksanakan kegiatan tahap pra konstruksi ini dengan mengupayakan proses pembebasan tanah berjalan dengan sukses, sesuai anggaran yang ada dan tepat waktu. Kemudian upaya yang berkesinambungan dan serius dalam pencarian investor dengan membentuk tim teknis di daerah yang memahami proses Kerjasama Pemerintah dan Swasta (KPS) berdasarkan Perpers 13/2010.

### 3.5 Pengelolaan Risiko

Setelah seluruh elemen-elemen risiko dapat diidentifikasi dan diukur, maka tahap selanjutnya dalam manajemen risiko adalah memutuskan tindakan apa yang akan dilakukan untuk mengelola risiko tersebut seperti: menerima (*accept*), meminimalisasi atau mitigasi (*mitigate*), dan menolak (*decline*).

### 3.6 Mitigasi Risiko (*Risk Mitigation*)

Mitigasi risiko dilakukan untuk risiko yang terklasifikasi risiko tinggi. Adapun risiko-risiko pada tahap pra konstruksi yang termasuk dalam klasifikasi dampak relatif kecil dan probabilitas yang relatif besar adalah : risiko pembebasan lahan dan risiko investasi.

#### 1. Pembebasan Lahan

Peneliti diperkirakan yang menjadi kendala dalam proses pembebasan lahan jalan tol Pekanbaru-Dumai saat ini adalah belum tercapainya kesepakatan antara pemerintah dan pemilik tanah. Adapun cara pengeloaannya adalah dengan :

- Rutin melaksanakan sosialisasi rencana pembangunan jalan tol kepada masyarakat disekitar lokasi rencana jalan tol yang akan dibuat dan membuat kesepakatan proses ganti rugi tanah secara wajar dan tidak saling merugikan untuk mengantisipasi penolakan masyarakat dan banyaknya calo tanah/perantara.
- Pemerintah mempersiapkan dana untuk ganti rugi tanah tepat waktu sehingga proses pembayaran ganti rugi tanah tepat waktu.
- Pemerintah bekerjasama dengan Pemerintahan tingkat daerah yang lebih rendah seperti kecamatan, kelurahan, RW/RT disekitar lokasi rencana jalan tol dalam rangka inventarisasi lahan masyarakat untuk mengantisipasi adanya pembebasan lahan yang masih bersengketa atau belum jelas kepemilikan tanahnya.

## 2. Investasi

Investasi di bidang infrastruktur seperti jalan tol sangat lah berisiko selain sedikitnya keuntungan investor, lamanya backing periode juga menjadi salah satu kendala investor enggan berinvestasi. Menurut pengamatan peneliti yang menjadi kendala dalam investasi jalan tol Pekanbaru-Dumai saat ini adalah belum adanya jaminan pemerintah akan kembalinya modal investor apalagi seperti yang telah di ketahui bahwa merujuk pada studi kelayakan ekonomi jalan tol Pekanbaru-Dumai ini tidak layak. Adapun cara pengelolaan risiko investasi ini yaitu :

- Pemerintah Daerah Provinsi Riau giat melakukan promosi dan pendekatan kepada investor guna mempercepat realisasi tol Pekanbaru-Dumai.
- Pemerintah via PT. Penjamin Infrastruktur Indonesia memberikan jaminan kepada investor bahwa modal investasi untuk jalan tol Pekanbaru-Dumai akan kembali.

### 3.7 Menerima Risiko (*Accept Risk*)

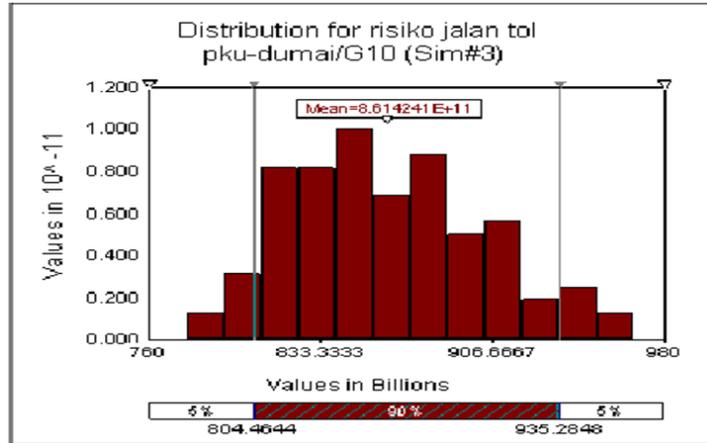
Risiko ini merupakan risiko yang tergolong risiko sedang dan rendah, yang artinya risiko ini tidak menyebabkan perusahaan atau pemerintah menanggung biaya yang besar. Pengelolaan risiko ini adalah dengan menerima risiko yang mungkin terjadi.

Risiko-risiko yang tergolong risiko sedang dan rendah pada proyek pembangunan jalan tol Pekanbaru-Dumai ini antara lain: Risiko Perizinan, Risiko Studi Kelayakan dan Risiko Desain.

### 3.8 Simulasi risiko tahap pra konstruksi dengan menggunakan @risk 4.5 for excel

#### ➤ Skenario I

Skenario ini dikembangkan dengan data probabilitas dan dampak risiko yang diambil melalui survei pendahuluan.

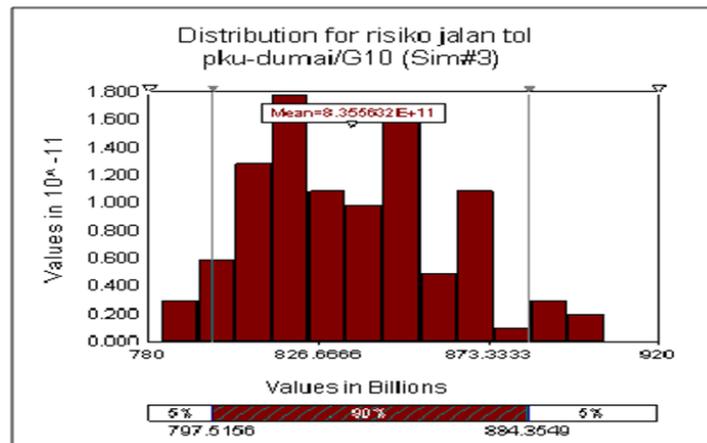


**Gambar 9.** Hasil simulasi distribusi data skenario I dengan @risk 4.5 for excel

Dari hasil simulasi dengan menggunakan distribusi sensitivitas (menggunakan model 2 tails 90% value) dengan 5% error, diperoleh nilai rata-rata (*mean value*) adalah Rp. 861,42 Milyar dengan *range* rencana anggaran biaya Rp. 804,46 Milyar sampai Rp. 935,28 Milyar.

#### ➤ Skenario II

Skenario ini dikembangkan dengan data yang diambil pada responden pada survei detail.

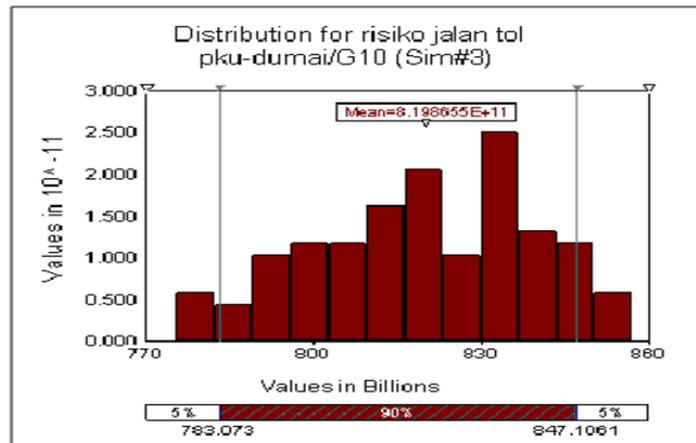


**Gambar 10.** Hasil simulasi distribusi data skenario II dengan @risk 4.5 for excel

Dari hasil simulasi diperoleh nilai rata-rata (*mean value*) adalah Rp. 835,56 Milyar dengan rentang nilai rencana anggaran pembiayaan tahap pra konstruksi dari Rp. 797,15 Milyar sampai Rp. 884,35 Milyar.

➤ **Skenario III**

Skenario ini dikembangkan dengan data yang diambil pada responden pada survei detail setelah menurunkan angka deviasi positif dengan anggapan bahwa pemerintah dapat mengontrol dengan melakukan pengelolaan risiko. Bukti nyata pemerintah provinsi Riau membentuk tim percepatan pembangunan jalan tol atau yang lebih dikenal dengan tim sembilan (9).



**Gambar 11. Hasil simulasi distribusi data skenario III dengan @risk 4.5 for excel**

Dari hasil simulasi diperoleh nilai rata-rata (*mean value*) adalah Rp. 819,65 Milyar dengan range nilai rencana anggaran pembiayaan dari Rp. 783,07 Milyar sampai Rp. 847,10 Milyar. Hal ini menunjukkan tingkat kepastian skenario III yang lebih tinggi dibandingkan skenario I dan II (dengan range yang lebih kecil antar pembiayaan minimum dan maksimum).

Berdasarkan 3 (tiga) skenario tersebut dapat dilihat hasil dari simulasi dengan menggunakan @Risk 4.5 for Excel maka diperoleh nilai rata-rata (*mean value*) dari tiap-tiap skenario yaitu :

- Skenario I diperoleh nilai rata-rata sebesar Rp. 861,42 Milyar.
- Skenario II diperoleh nilai rata-rata sebesar Rp. 835,56 Milyar.
- Skenario III diperoleh nilai rata-rata sebesar Rp. 819,65 Milyar.

Untuk skenario I dan skenario II yang merupakan perbedaan estimasi tentang dampak risiko pada proyek jalan tol Pekanbaru-Dumai tahap pra konstruksi antara

responden pada survei pendahuluan dengan responden pada survei akhir memiliki selisih sebesar Rp. 25,86 Milyar, sedangkan selisih antara skenario II dan III yang merupakan estimasi bahwa pemerintah dapat menekan dampak risiko dengan melakukan pengelolaan risiko adalah sebesar Rp. 15,91 Milyar. Hal ini berarti bahwa apabila pemerintah melakukan analisis resiko dan mitigasi resiko pada kegiatan pra konstruksi dengan benar, dan melakukan pendekatan yang tepat terhadap pemilik tanah untuk pembebasan tanah, maka resiko pra-konstruksi jalan tol ini dapat diperkecil.

#### **4. KESIMPULAN**

Risiko yang teridentifikasi pada proyek jalan tol Pekanbaru-Dumai tahap pra konstruksi ada 5 parameter dan 13 sub-parameter yaitu: (i) Risiko perizinan, terdiri dari 2 faktor risiko yaitu: proses tender dan dokumen kontrak; (ii) Risiko studi kelayakan, terdiri dari 2 faktor risiko yaitu: data yang digunakan dan asumsi yang diambil; (iii) Risiko desain, terdiri dari 2 faktor risiko yaitu : standar rancangan dan misinterpretasi; (iv) Risiko pembebasan lahan, terdiri dari 4 faktor risiko yaitu: ketersediaan lahan, proses ganti rugi, penolakan masyarakat dan banyaknya calo tanah; dan (v) Risiko investasi, terdiri dari 3 faktor risiko yaitu : sumber dana, kontinuitas sumber dana dan panjangnya durasi pengembalian pinjaman.

Besar probabilitas risiko yang diukur pada proyek jalan tol Pekanbaru-Dumai tahap pra konstruksi lebih kecil dibandingkan tipikal probabilitas kejadian risiko investasi jalan tol di Indonesia yang bersumber dari Puslitbang PU. Hal ini disebabkan kondisi masyarakat Riau yang lebih kondusif dan partisipatif dalam pembangunan di Provinsi Riau.

Berdasarkan analisis risiko pada proyek jalan tol Pekanbaru-Dumai tahap pra konstruksi tingkat dampak pengaruh risiko terhadap kenaikan rencana anggaran biaya investasi sebesar 12,37% (Rp 102,24 Milyar) dengan nilai faktor risiko sebesar 0.590 dengan kata lain pada proyek jalan tol Pekanbaru-Dumai tahap pra konstruksi berisiko sedang.

Pembebasan lahan pada jalan tol ini memiliki bobot pembiayaan 13,6%. Angka ini relatif lebih kecil dibandingkan dengan pembebasan lahan di daerah Jawa 20-35 % dari rencana anggaran biaya. Hal ini dapat dimengerti karena harga tanah untuk pembebasan jalan di beberapa lokasi di Sumatera relatif lebih murah dari di Jawa.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Ali, T.H. 1997. Prinsip-prinsip Network Planning. Jakarta : PT. Gramedia Pustaka Utama
2. Dipohusodo, I. 1996. Manajemen Proyek & Konstruksi Jilid I & II. Yogyakarta: Kanisius.
3. Gubernur Riau, 2009, Persentasi Pembangunan Jalan Tol Pekanbaru-Dumai di Provinsi Riau, Pekanbaru: Dinas Pemukiman dan Prasarana Wilayah Provinsi Riau.
4. Halpin, D. W and Woodhead, R. W., 1998, " Construction Management", John Wiley & Sons, Canada.
5. Levin, R.I. & Kirkpatrick, C.A. 1987. Perencanaan dan Pengendalian dengan PERT dan CPM. Balai Pustaka
6. Ningrum Ratna, 2008, Analisis Risiko Investasi Jalan Tol Depok Antasari: ITB, Bandung.
7. Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 13 Tahun 2010, tentang Perubahan atas Peraturan Presiden Nomor 67 Tahun 2005 Tentang Kerjasama Pemerintah Dengan Badan Usaha Dalam Penyediaan Infrastruktur.
8. Pusat Litbang Prasarana Transportasi, 2003, Pengembangan Metode Analisis Risiko Investasi Jalan Tol, Laporan Penelitian, Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum.
9. Raftery, J, 1986, Risk Analysis in Project Management, London: E & F Spon.
10. Ronald, M., 2003, Manajemen Pembangunan, Jakarta: Grafikatama Abdiwacana.
11. Sandhyavitri, A. And Young, R. J., 2004, Risk Management in Water Supply, 27 th of WEDC Conference, Vientien.
12. Smith, N. J., (Editor), Engineering Project Management, Blackweell Science, London, 1995.
13. Soeharto, I. 1995. Manajemen Proyek dari Konseptual sampai Operasional. Erlangga.
14. Zulfery, 2004, Analisis Investasi Pembangunan Jalan Tol Pekanbaru-Dumai, ITB, Bandung.

# ANALISIS LENDUTAN SEKETIKA DAN LENDUTAN JANGKA PANJANG PADA STRUKTUR BALOK

**Daud R. Wiyono, William Trisina**

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

## ABSTRAK

Masa layan struktur sebuah bangunan beton bertulang sangat ditentukan oleh besarnya lendutan yang dialami oleh struktur tersebut. Namun seringkali dalam pengerjaannya struktur dibebani lebih besar dari yang diperkirakan semula. Ditambah lagi dengan adanya kesalahan dalam pelaksanaan di lapangan misalnya kurangnya jumlah tulangan yang dipasang, jarak antar sengkang yang lebih panjang dari yang direncanakan, mutu beton yang kurang dari yang direncanakan serta hal-hal lainnya. Apalagi seiring dengan bertambahnya usia bangunan maka ada penurunan dari kapasitas struktur akibat efek rangkai, susut, dan timbulnya retak akibat beban kerja sehingga dimungkinkan lendutan yang terjadi pada komponen struktur bertambah besar. Sebelum menghitung lendutan pada balok, terlebih dahulu harus dipastikan bahwa balok yang ditinjau mampu menahan beban-beban yang akan diberikan pada balok tersebut. Oleh sebab itu luas tulangan merupakan faktor yang amat penting untuk diperhitungkan agar tidak terjadi kegagalan pada salah satu komponen maupun keseluruhan struktur. Dalam Penelitian ini dibahas balok yang mempunyai panjang 8 meter, dengan berbagai kombinasi beban, mutu beton, dan dimensi. Besarnya lendutan dan luas tulangan dicari dengan menggunakan panduan SNI 03-2847-2002. Melalui penelitian ini akan diketahui dimensi balok beserta luas tulangan yang sesuai dengan beban dan mutu beton tertentu, besarnya pengaruh dari perubahan dimensi balok, mutu beton, serta beban pada nilai lendutan jangka panjang balok.

**Kata kunci:** Beban, Penulangan, Lendutan jangka panjang, Lendutan izin

## 1. LATAR BELAKANG

Masa layan struktur sebuah bangunan beton bertulang sangat ditentukan oleh besarnya lendutan yang dialami oleh struktur tersebut. Namun seringkali dalam pengerjaannya struktur dibebani lebih besar dari yang diperkirakan semula. Ditambah lagi dengan adanya kesalahan dalam pelaksanaan di lapangan misalnya kurangnya jumlah tulangan yang dipasang, jarak antar sengkang yang lebih besar dari yang direncanakan, mutu beton yang kurang dari yang direncanakan serta hal-hal lainnya, hal-hal tersebut dapat mengakibatkan struktur beton (dalam hal ini adalah balok beton bertulang) melendut melebihi apa yang diperkirakan semula dan mengakibatkan retak pada beton.

Seiring dengan bertambahnya usia bangunan maka ada penurunan dari kapasitas struktur sehingga dimungkinkan lendutan dan retak pada komponen struktur bertambah besar. Apalagi pada saat mendesain balok dan pelat seringkali tidak memperhitungkan faktor lendutan karena sudah ada pedoman *preliminary design* atau pradesain.

Perencanaan struktur balok dan pelat dibuat berdasarkan analisis struktur yang hanya memperhitungkan gaya dalam dan lendutan berdasarkan kriteria mekanika

rekayasa (hanya memperhitungkan kapasitas struktur berdasarkan Modulus Elastisitas dan Momen Inersia penampang ).

Balok dan pelat jarang sekali digunakan sebagai elemen struktur terisolasi; biasanya merupakan bagian yang monolit dari suatu sistem yang terintegrasi. Lendutan yang berlebihan pada suatu pelat lantai dapat menyebabkan dislokasi partisi yang ditumpunya. Begitu pula lendutan yang berlebihan pada balok dapat menyebabkan rusaknya partisi di bawahnya, dan lendutan yang berlebihan pada balok di atas jendela dapat menyebabkan kaca jendela pecah. Dalam hal lantai terbuka atau atap, seperti lantai-lantai atas garasi parkir, dapat menyebabkan rembesan air, karena hal-hal inilah maka kontrol terhadap lendutan merupakan hal yang penting untuk dihitung.

## 2. PERMASALAHAN

Dengan adanya pedoman *preliminary design* atau pra desain maka seringkali masalah lendutan terutama lendutan jangka panjang diabaikan oleh para insinyur pada saat mendesain suatu struktur bangunan (dalam hal ini adalah balok). Padahal faktor lendutan memegang peranan yang amat penting baik dalam hal keamanan maupun kenyamanan pengguna bangunan tersebut kelak. Lendutan yang tidak diperhitungkan dengan baik pada saat pembangunan sebuah struktur akan menyebabkan struktur mengalami lendutan yang melebihi batas toleransi sehingga menyebabkan bukan hanya kekurangnyamanan penggunaannya kelak tetapi juga mengakibatkan retak yang lebih banyak dan lebih lebar dari yang diizinkan. Hal ini menjadi lebih berbahaya lagi karena retak akan menyebabkan inersia beton menjadi lebih kecil sehingga menyebabkan kemampuan beton berkurang. Hal ini menyebabkan efek domino dimana lendutan berlebih menyebabkan retak, dan retak menyebabkan lendutan menjadi semakin besar, dan diperparah efek rangkak dan susut pada balok beton serta faktor lingkungan yang semakin tidak bersahabat sehingga pada akhirnya menyebabkan masa layan (*serviceability*) menjadi semakin berkurang.

## 3. PEMBATASAN MASALAH

Ruang lingkup penelitian ini antara lain sebagai berikut :

1. Balok yang ditinjau adalah balok dengan spesifikasi sebagai berikut :
  - a. Balok terjepit elastis pada kedua ujungnya.
  - b. Panjang balok adalah 8 meter.

- c. Balok dibebani oleh pelat beton dengan ketebalan 160 mm yang diberi beban mati tambahan sebesar  $150 \text{ kg/m}^2$  dan beban hidup sebesar  $250 \text{ kg/m}^2$ ,  $400 \text{ kg/m}^2$ , dan  $600 \text{ kg/m}^2$
  - d. Tulangan menggunakan diameter 29 mm.
  - e. Tulangan tekan menggunakan 2D29 dengan luas tulangan sebesar  $1321 \text{ mm}^2$ .
  - f. Tebal selimut beton adalah 40 mm.
  - g. Pembebanan balok sesuai dengan pemodelan yang ada pada Bab 3.
2. Peraturan yang dipergunakan adalah dari SNI 03-2847-2002.
  3. Mutu beton yang dipergunakan adalah  $f_c'=20 \text{ MPa}$ ,  $f_c'=25 \text{ MPa}$ ,  $f_c'=30 \text{ MPa}$ .
  4. Kombinasi pembebanan yang dipakai adalah sebesar 1,2 DL + 1,6 LL untuk menentukan tulangan balok.
  5. Lendutan akibat deformasi geser diabaikan.

#### **4. TINJAUAN PUSTAKA**

##### **4.1 Beton [Dipohusodo,1994]**

Beton merupakan bahan komposit yang didapatkan dari pencampuran bahan-bahan agregat halus dan kasar yaitu pasir, kerikil, atau bahan semacam lainnya, dengan menambahkan semen, dan air guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung.

Namun pada penggunaannya sebagai komponen struktural bangunan, umumnya beton diperkuat dengan batang tulangan baja sebagai bahan yang dapat bekerja sama dan mampu membantu kelemahan beton dalam menahan gaya tarik. Dengan demikian tersusun pembagian tugas dimana batang tulangan baja bertugas memperkuat dan menahan gaya tarik, sedangkan beton hanya diperhitungkan dalam menahan gaya tekan. Namun dalam perkembangannya dengan didasarkan pada tujuan peningkatan kemampuan kekuatan komponen, sering dijumpai beton dan tulangan baja bersama-sama ditempatkan pada bagian struktur dimana keduanya menahan gaya tekan.

##### **4.2 Balok Persegi Bertulangan Rangkap [Dipohusodo,1994]**

Apabila balok dikehendaki untuk menopang beban yang lebih besar dari kapasitasnya, sedangkan di pihak lain seringkali pertimbangan teknis pelaksanaan dan arsitektural membatasi dimensi balok, maka diperlukan usaha-usaha lain untuk memperbesar kuat momen penampang balok yang sudah tertentu dimensinya tersebut.

Apabila hal tersebut yang dialami maka SNI memperbolehkan penambahan tulangan baja tarik bersamaan dengan penambahan tulangan baja di daerah tekan

penampang balok. Hasilnya adalah balok dengan penulangan rangkap dimana tulangan baja tarik dipasang di daerah tarik dan tulangan tekan dipasang di daerah tekan. Pada keadaan demikian berarti tulangan baja tekan bermanfaat untuk memperbesar kekuatan balok.

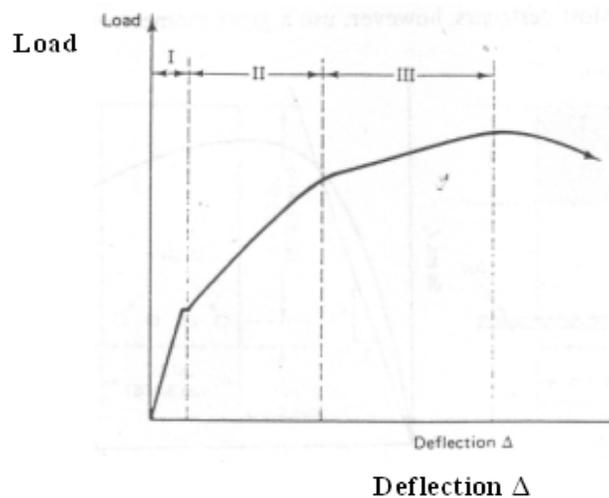
#### 4.3 Perilaku Lendutan Pada Balok [Nawy,2003]

Hubungan beban-lendutan balok beton bertulang pada dasarnya dapat diidealisasikan menjadi bentuk trilinear seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1. Hubungan ini terdiri atas tiga daerah sebelum terjadinya *rupture*.

Daerah I : Taraf praretak, dimana batang-batang strukturalnya bebas retak.

Daerah II : Taraf pascaretak, dimana batang-batang struktural mengalami retak-retak terkontrol yang masih dapat diterima, baik dalam distribusinya maupun lebarnya.

Daerah III : Taraf pasca-*serviceability*, di mana tegangan pada tulangan tarik sudah mencapai tegangan lelehnya.



**Gambar 1. Hubungan beban–lendutan pada balok. Daerah I, Taraf praretak; Daerah II, Taraf pascaretak ; Daerah III, Taraf pasca-*serviceability* [Nawy,2003].**

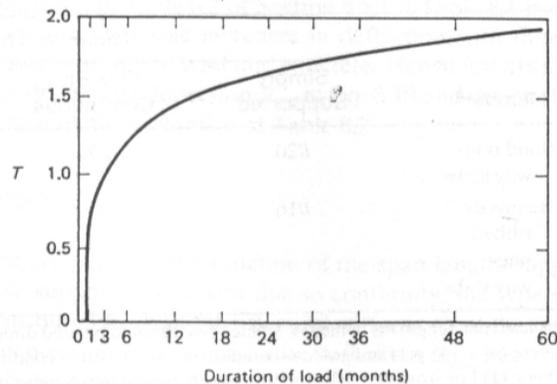
#### 4.4 Lendutan Jangka Panjang [Nawy,2003]

Faktor-faktor yang bergantung pada waktu dapat memperbesar lendutan terhadap bertambahnya waktu. Sebagai akibatnya perencana harus mengevaluasi lendutan sesaat (*immediate*) maupun lendutan jangka panjang (*long-term*) agar lendutan ini terjamin tidak akan melebihi suatu kriteria tertentu. Efek-efek yang bergantung pada waktu ini disebabkan oleh rangkakan (*creep*), susut (*shrinkage*) dan regangan-regangan yang

bergantung pada waktu. Regangan-regangan tambahan ini menyebabkan perubahan distribusi tegangan pada beton dan baja tulangan sehingga kelengkungan pada elemen struktural bertambah untuk suatu beban luar yang tetap. Lendutan tambahan akibat beban *sustained* dan susut jangka panjang yang sesuai dengan prosedur ACI dapat dihitung dengan menggunakan faktor pengali seperti pada persamaan 2.3 dibawah ini:

$$\lambda = \frac{\xi}{1 + 50\rho'} \quad (1)$$

Dimana  $\rho'$  adalah rasio penulangan tekan yang dihitung pada lapangan untuk balok ditumpu sederhana dan balok menerus dan balok T.  $\xi$  adalah faktor yang diambil sebesar 1,0 untuk lama pembebanan 3 bulan, 1,2 untuk lama pembebanan 6 bulan, dan 2,0 untuk lama pembebanan 5 tahun atau lebih.



**Gambar 2. Faktor Pengali untuk lendutan jangka panjang [Nawy,2003].**

#### 4.5 Lendutan yang Diizinkan Pada Balok [Nawy, 2003 dan SNI 2002]

Lendutan yang diizinkan pada sistem struktur sangat bergantung pada besarnya lendutan yang masih dapat ditahan oleh komponen-komponen struktur yang berinteraksi tanpa kehilangan penampilan estetis dan tanpa kerusakan pada elemen yang terdefleksi. Akan tetapi struktur-struktur pada masa sekarang dirancang dengan menggunakan prosedur kekuatan batas (*ultimate*), yaitu dengan memanfaatkan kekuatan tinggi baja dengan betonnya. Dengan demikian akan diperoleh elemen-elemen struktur yang semakin langsing dan dalam hal demikian lendutan sesaat maupun jangka panjang sangat perlu dikontrol.

Pada Tabel 1 dicantumkan rekomendasi dari SNI mengenai tebal minimum balok sebagai fungsi dari panjang bentang. Terlihat disini bahwa untuk balok yang tidak memikul atau tidak dihubungkan dengan konstruksi yang mungkin rusak akibat lendutan besar, tidak diperlukan perhitungan lendutan. Lendutan-lendutan lainnya harus dihitung

dan dikontrol dengan menggunakan Tabel 2. Apabila tebal total balok kurang dari yang diperlukan pada tabel, perancang harus membuktikan bahwa lendutan baloknya memberikan *serviceability* yang memadai, dengan memberikan perhitungan rinci mengenai lendutan sesaat dan lendutan jangka panjangnya.

**Tabel 1. Tebal Minimum Balok dan Pelat Satu Arah Apabila Lendutan Tidak Dihitung [SNI, 2002].**

Tabel minimum,h				
Elemen Struktur <sup>a</sup>	Ditumpu Sederhana	Satu ujung menerus	Dua ujung menerus	Kantilever
Pelat satu arah	L/20	L/24	L/28	L/10
Balok atau pelat satu arah dengan grid	L/16	L/18,5	L/21	L/8

<sup>a</sup>Untuk elemen struktur yang tidak memikul atau dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lain yang dapat rusak akibat lendutan yang besar

Tabel 2.1 berlaku untuk massa beton  $W_c = 2400 \text{ kg/m}^3$ . Sementara bentang bersih L adalah harga dalam mm.

**Tabel 2. Angka Perbandingan Bentang (L) Dengan Lendutan ( $\Delta$ ) Maksimum yang Diizinkan (L = bentang terpanjang) [SNI, 2002].**

Jenis elemen Struktur	Lendutan,yang ditinjau	(L/ $\Delta$ )min
Atap datar yang tidak memikul dan padanya tidak terpasang elemen-elemen non struktural yang dapat rusak oleh lendutan besar	Lendutan sesaat,akibat beban hidup, $\Delta_L$	180 <sup>a</sup>
Lantai-lantai yang tidak memikul dan padanya tidak terpasang elemen-elemen non struktural yang dapat rusak oleh lendutan besar	Lendutan sesaat,akibat beban hidup, $\Delta_L$	360

Tabel 2. (lanjutan).		
Konstruksi atap atau lantai yang padanya terpasang elemen-elemen non-struktural yang dapat rusak oleh lendutan besar	Sebagian dari lendutan total yang terjadi sesudah pemasangan elemen non-struktural; jumlah dari semua beban <i>sustained</i>	480°
Konstruksi atap atau lantai yang padanya terpasang elemen-elemen non-struktural yang tidak rusak oleh lendutan besar	ideal ditambah sebagian dari beban hidup yang <i>sustained</i> dan lendutan sesaat akibat suatu beban hidup tambahan <sup>b</sup> , $\Delta_{LT}$	240°

#### 4.6 Lendutan Balok Menerus [Nawy,2003]

Balok beton bertulang menerus diatas banyak tumpuan akan berupa penampang *berflens* pada lapangan dan kadang-kadang berupa penampang bertulangan rangkap pada tumpuan apabila tulangan pada serat bawah tumpuan terkekang cukup baik oleh sengkang dan dijangkar dengan baik pula, karena itu perlu dicari momen inersia efektif  $I_{e,rata-rata}$ . Prosedur sederhana adalah dengan menggunakan besaran penampang rata-rata dengan penggunaan suatu faktor seperti yang disyaratkan oleh peraturan ACI,yaitu:

1. Balok yang kedua ujungnya menerus:

$$I_{e,rata-rata} = 0,70I_m + 0,15 (I_{e1} + I_{e2}) \quad (2)$$

2. Balok yang satu ujungnya menerus:

$$I_{e,rata-rata} = 0,85I_m + 0,15 (I_{ec}) \quad (3)$$

Dimana:  $I_m$  =  $I_e$  pada penampang lapangan (*mid span*)

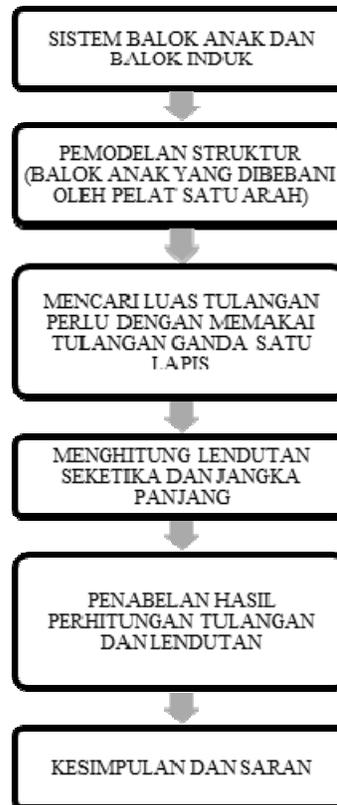
$I_{e1}, I_{e2}$  =  $I_e$  untuk masing-masing penampang ujung (*ends*)

$I_{ec}$  =  $I_e$  ujung menerus (*continuous end*)

## 5 STUDI KASUS DAN PEMBAHASAN

### 5.3 Diagram Alir Pembahasan

Diagram alir ini menjelaskan proses atau tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini. Gambar dari tahapan atau alur penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:



**Gambar 3. Diagram Alir Pembahasan.**

## 5.2 Studi Kasus

### Data Material

#### a. Material Beton Bertulang

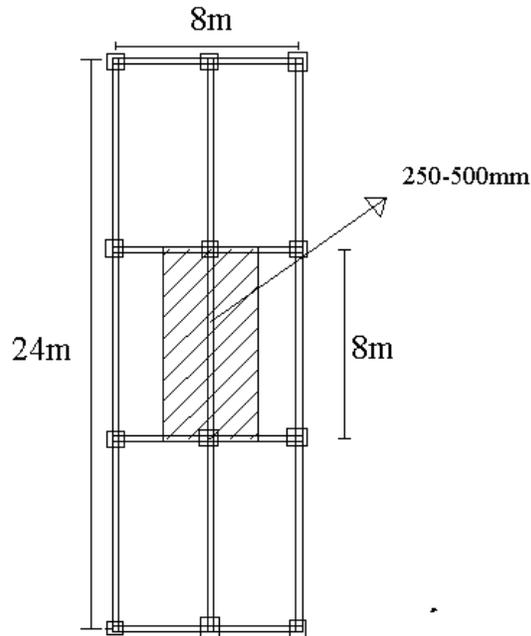
1. Kuat tekan beton,  $f_c'$  = 20 MPa, 25 MPa, 30 MPa
2. Massa jenis beton,  $\gamma_{\text{beton}} = 24 \text{ kN/m}^3$
3. Modulus Elastisitas beton,  $E_c = 4700 \sqrt{f_c'}$  (4)

#### b. Material Tulangan Non-prategang Balok

1. Kuat leleh tulangan non-prategang (lentur),  $f_y = 400 \text{ MPa}$
2. Modulus elastisitas tulangan non-prategang,  $E_s = 200000 \text{ MPa}$
3. Cover minimum berdasarkan SNI 2002 untuk balok = 40 mm

### Data Komponen Struktur

Komponen struktur terdiri dari balok, kolom, dan pelat lantai, detail komponen struktur diperlihatkan pada gambar 4



**Gambar 4. Pemodelan struktur.**

**Data Pembebanan**

Komponen balok hanya akan menerima beban statik gravitasi sebagai berikut:

1. Beban Berat Sendiri , *BS (self-weight)* sebesar  $24 \text{ kN/m}^3$
2. Beban Mati Tambahan, *SDL (super impose dead load)*

Pada balok ini, beban mati tambahan diakibatkan oleh berat sendiri pelat dan beban mati tambahan yang bekerja pada pelat dengan perincian sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 BS_{\text{pelat}} &= 0,16\text{m} \times 24 \text{ kN/m}^3 &= 3,84 \text{ kN/m}^2 \\
 SDL_{\text{pelat}} & &= \underline{1,50 \text{ kN/m}^2} + \\
 & &= 5,34 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Sehingga beban mati tambahan yang bekerja pada balok adalah sebesar  $5,34 \text{ kN/m}^2 \times 4\text{m} = 21,36 \text{ kN/m}$

3. Beban Hidup, *LL (live load)*

Beban hidup diakibatkan oleh beban gravitasi yang berasal dari benda bergerak. Pada balok yang akan dianalisis ini, beban hidup yang bekerja berasal dari beban hidup yang bekerja pada pelat lantai yaitu sebesar  $2,50 \text{ kN/m}^2$ ,  $4,00 \text{ kN/m}^2$ , dan  $6,00 \text{ kN/m}^2$ . Beban hidup yang bekerja pada balok yang akan dianalisis adalah sebesar  $LL_{\text{pelat}} \times 4\text{m}$ , Sehingga beban hidup yang bekerja pada balok adalah

- a.  $10,00 \text{ kN/m}$  untuk beban hidup pada pelat sebesar  $2,50 \text{ kN/m}^2$
- b.  $16,00 \text{ kN/m}$  untuk beban hidup pada pelat sebesar  $4,00 \text{ kN/m}^2$

- c. 24,00 kN/m untuk beban hidup pada pelat sebesar 6,00 kN/m<sup>2</sup>

### **Perhitungan Tulangan balok**

Sebelum perhitungan lendutan dilakukan, penulangan balok harus terlebih dahulu dihitung agar balok yang akan dicek lendutannya dipastikan memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan beban rencana. Untuk menghitung tulangan, beban yang dipakai adalah beban ultimate,  $q_u$  yaitu beban yang telah dikalikan dengan faktor beban. Faktor beban yang dipakai adalah 1,2 untuk BS dan SDL serta 1,6 untuk LL.

Setelah mendapatkan nilai beban ultimate, maka selanjutnya momen akibat beban terfaktor dihitung untuk daerah lapangan dan tumpuan. Untuk menghitung momen dipakai rumus sebagai berikut :

$$M_u = \frac{1}{14} q_u L^2 \rightarrow \text{Untuk momen daerah lapangan} \quad (5)$$

$$M_u = \frac{1}{12} q_u L^2 \rightarrow \text{Untuk momen daerah tumpuan kiri dan kanan} \quad (6)$$

Dengan rumus diatas dihitung momen pada daerah lapangan dan momen pada daerah tumpuan akibat berat sendiri balok (BS), beban mati tambahan (SDL), beban hidup (LL), penjumlahan dari BS + SDL (DL), penjumlahan dari DL + LL, dan penjumlahan dari DL + 0,5 LL.

### **Perhitungan Lendutan balok**

Setelah tulangan untuk balok daerah lapangan dan tumpuan didapat, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan lendutan. Beban yang dipergunakan pada saat melakukan perhitungan lendutan berbeda dengan beban yang dipergunakan pada saat mencari luas tulangan balok. Beban yang digunakan pada saat menghitung lendutan tidak dikalikan dengan faktor beban.

Setelah mendapatkan nilai beban ultimate pada perhitungan lendutan, maka selanjutnya momen akibat beban terfaktor dihitung untuk daerah lapangan dan tumpuan. Untuk menghitung momen dipakai rumus sebagai berikut :

$$M = \frac{1}{14} q_u L^2 \rightarrow \text{Untuk momen daerah lapangan} \quad (7)$$

$$M = \frac{1}{12} q_u L^2 \rightarrow \text{Untuk momen daerah tumpuan kiri dan kanan} \quad (8)$$

Dengan rumus diatas dihitung momen pada daerah lapangan dan momen pada daerah tumpuan akibat berat sendiri balok (BS), beban mati tambahan (SDL), beban hidup (LL), penjumlahan dari BS + SDL menjadi DL, penjumlahan dari DL + LL, dan penjumlahan dari DL + 0,5 LL. Setelah mengetahui besarnya momen yang bekerja pada daerah lapangan maupun tumpuan, selanjutnya perlu dicari nilai kd. Untuk mencari nilai kd terlebih dahulu harus dicari nilai d, d', n, I<sub>g</sub>, f<sub>r</sub>, r untuk daerah lapangan maupun tumpuan.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada rumus di bawah ini :

$$d = h - (\text{selimut} + \text{senggang} + 0,5 D_{\text{tulangan}}) \quad (9)$$

$$d' = \text{selimut} + \text{senggang} + 0,5 D_{\text{tulangan}} \quad (10)$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} \quad (11)$$

$$I_g = \frac{1}{12} b * h^3 \quad (12)$$

$$f_r = 0,7 \sqrt{f_c'} \quad (13)$$

$$r = \frac{(n-1)A_s'}{nA_s} \quad (14)$$

$$y_t = \frac{h}{2} \quad (15)$$

$$kd = \frac{1}{B} \left\{ \left( \sqrt{2dB \left(1 + r \frac{d'}{d}\right) + (1+r)^2} \right) - (1+r) \right\} \quad (16)$$

Setelah mendapatkan nilai kd langkah selanjutnya adalah mencari nilai dari I<sub>cr</sub> dan

M<sub>cr</sub>. Nilai dari I<sub>cr</sub> dan M<sub>cr</sub> didapatkan dengan rumus sebagai berikut :

$$I_{cr} = \left( \left( \frac{1}{3} b * (kd^3) \right) + (n * A_s * (d - kd)^2) + ((n-1) * A_s' * (kd - d')^2) \right) \quad (17)$$

$$M_{cr} = \frac{f_r * I_g}{y_t} \quad (18)$$

Nilai I<sub>cr</sub> yang telah didapatkan harus dibandingkan dengan nilai dari I<sub>g</sub>.

Menghitung Momen Inersia Efektif (I<sub>e</sub>)

Bila  $\frac{M_{cr}}{M_D} > 1$  maka balok tidak retak sehingga digunakan M<sub>cr</sub> = M<sub>u</sub> dan I<sub>e</sub> = I<sub>g</sub>

Tetapi bila  $\frac{M_{cr}}{M_D} \leq 1$  maka balok retak sehingga nilai Momen Inersia efektif,  $I_e$  perlu untuk dicari.

Untuk mencari besarnya nilai  $I_e$  dipergunakan rumus sebagai berikut :

$$I_e = \left( \frac{M_{cr}}{M_D} \right)^3 I_g + \left\{ 1 - \left( \frac{M_{cr}}{M_D} \right)^3 \right\} I_{cr} \quad (19)$$

Nilai  $I_e$  yang dipakai dalam perhitungan lendutan besarnya merupakan kombinasi dari 0,7  $I_{elapangan}$  + 0,15  $I_{etumpuan\ kiri}$  + 0,15  $I_{etumpuan\ kanan}$ . Namun karena besarnya  $I_e$  tumpuan kiri sama dengan besarnya  $I_e$  tumpuan kanan maka diambil nilai 0,7  $I_{elapangan}$  + 0,3  $I_{etumpuan}$ . Nilai  $I_e$  yang dipergunakan ditabelkan pada Tabel 3.7

Setelah nilai  $I_e$  didapatkan maka lendutan seketika dari balok dapat dihitung, besarnya lendutan seketika pada balok dihitung melalui persamaan sebagai berikut:

$$\Delta_i = \frac{5}{48} k \frac{M_a * L^2}{E_c * I_{e,rata-rata}} \quad (20)$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b * d} \quad (21)$$

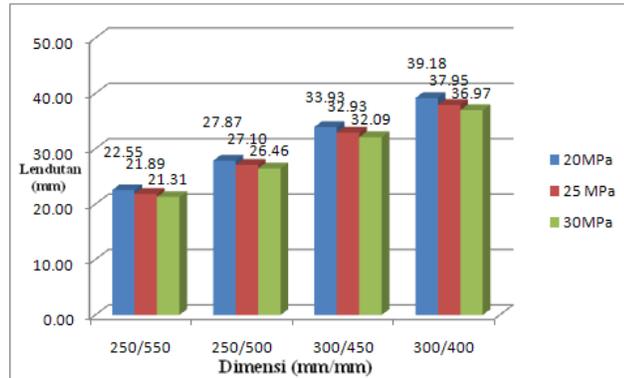
Setelah mendapatkan nilai  $\rho'$  langkah selanjutnya adalah mencari besarnya nilai  $\lambda_{to}$  dan  $\lambda_{\infty}$  dengan rumus sebagai berikut :

$$\lambda_{to} = \frac{\xi}{1 + 50\rho'} \quad (22)$$

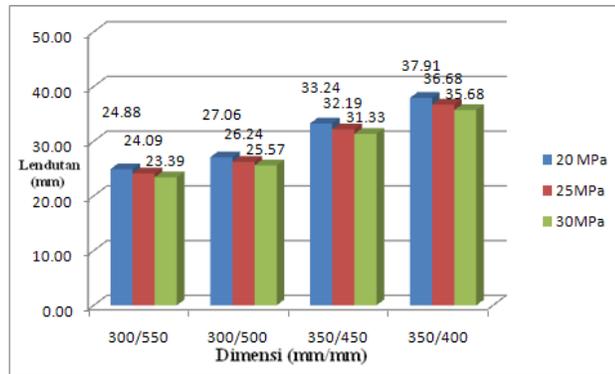
Nilai dari lendutan jangka panjang didapatkan melalui persamaan sebagai berikut:

$$\Delta_{LT} = \Delta_L + (\lambda_{\infty} - \lambda_{to}) * \Delta_D + \lambda_{\infty} * \Delta_{LS} \quad (23)$$

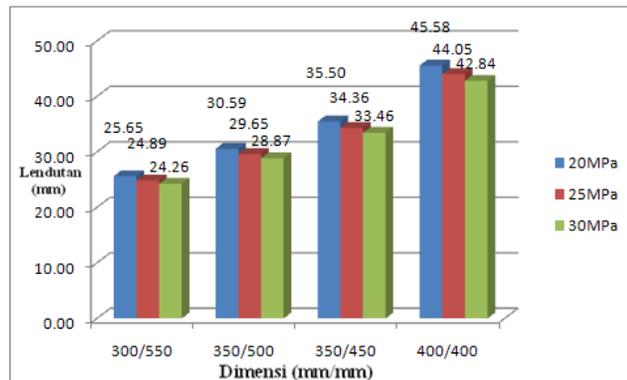
#### 5.4 Pembahasan Lendutan Jangka Panjang Pada Balok



Gambar 5. Grafik Hubungan Dimensi dan Lendutan Pada Beban 250kg/m<sup>2</sup>.



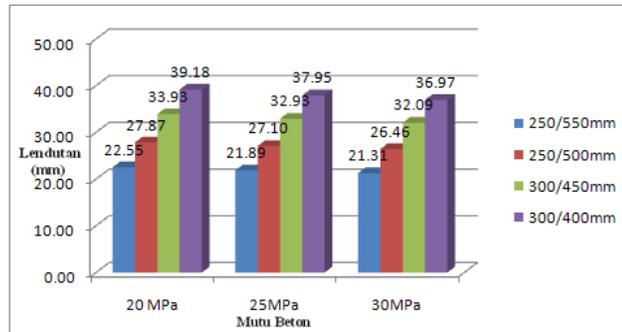
Gambar 6. Grafik Hubungan Dimensi dan Lendutan Pada Beban 400kg/m<sup>2</sup>.



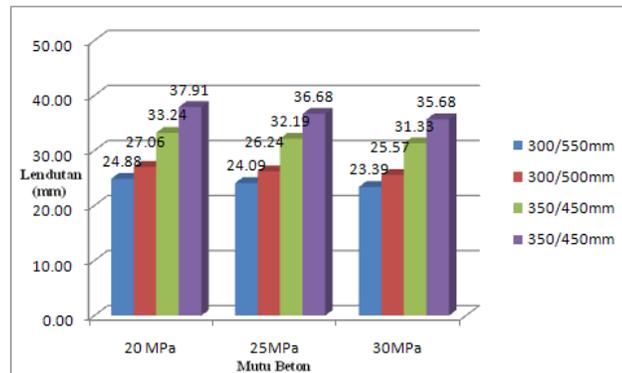
Gambar 7. Grafik Hubungan Dimensi dan Lendutan Pada Beban 600kg/m<sup>2</sup>.

Gambar 5 sampai dengan Gambar 7 merupakan grafik yang menerangkan perubahan lendutan akibat dimensi yang berubah pada suatu beban tertentu. Misalnya

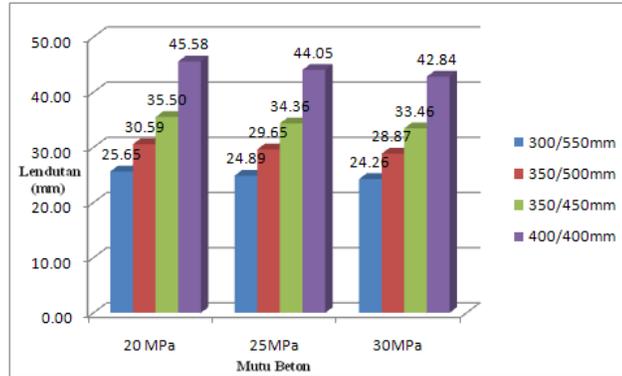
saja pada Gambar 7 dapat dilihat bahwa lendutan jangka panjang pada mutu beton 20 MPa berubah berturut-turut 25,65mm, 30,59mm, 35,50mm, 45,58mm karena adanya perubahan dimensi. Hal yang sama juga terjadi pada mutu beton lainnya juga pada beban-beban yang berbeda. Pada Gambar 5 sampai Gambar 7 dapat dilihat bahwa perubahan lendutan yang terjadi akibat perubahan dimensi ternyata cukup besar apalagi pada tinggi balok 450mm dan 400mm.



**Gambar 8. Grafik Hubungan Mutu Beton dan Lendutan Pada Beban 250 kg/m<sup>2</sup>.**

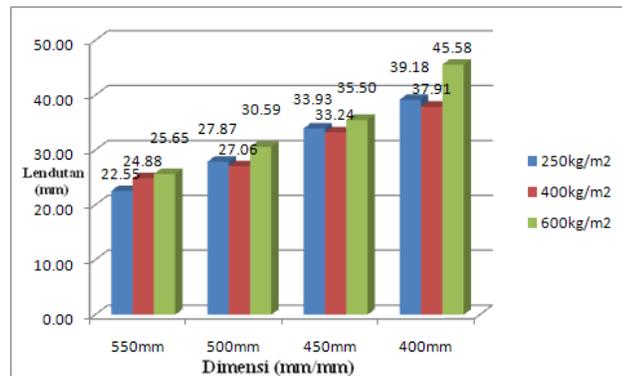


**Gambar 9. Grafik Hubungan Mutu Beton dan Lendutan Pada Beban 400 kg/m<sup>2</sup>.**

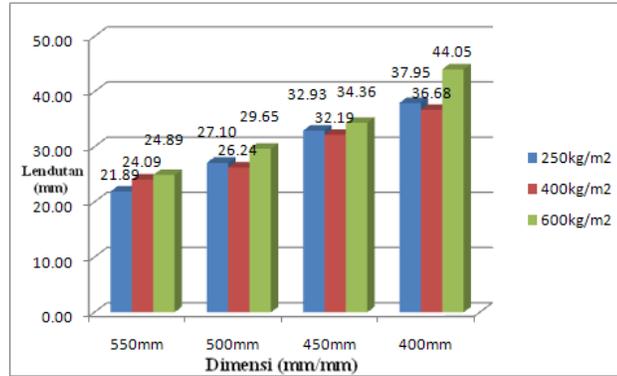


**Gambar 10. Grafik Hubungan Mutu Beton dan Lendutan Pada Beban  $600 \text{ kg/m}^2$ .**

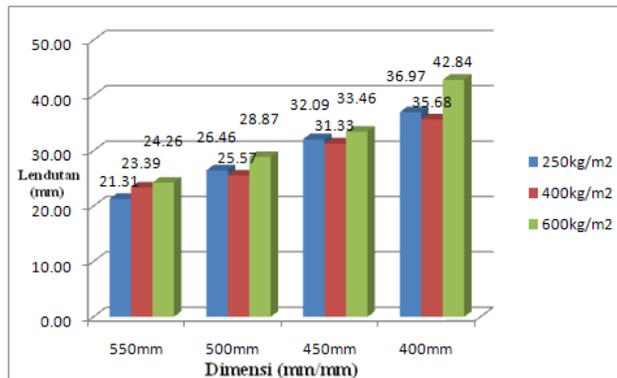
Gambar 8 sampai dengan Gambar 10 merupakan grafik yang menerangkan perubahan lendutan akibat mutu beton yang berubah pada suatu beban tertentu. Misalnya saja pada Gambar 10 dapat dilihat bahwa lendutan jangka panjang pada dimensi 250/550mm berubah berturut-turut 25,65mm, 24,89mm, 24,26mm, karena adanya perubahan mutu beton. Hal yang sama juga terjadi pada balok dengan mutu beton lainnya juga pada beban-beban yang berbeda. Pada Gambar 8 sampai Gambar 10 dapat dilihat bahwa perubahan lendutan yang terjadi akibat perubahan mutu beton ternyata tidak signifikan.



**Gambar 11. Grafik Hubungan Dimensi dan Lendutan Pada Mutu Beton 20 MPa.**



**Gambar 12. Gambar Hubungan Dimensi dan Lendutan Pada Mutu Beton 25 MPa.**



**Gambar 13. Grafik Hubungan Dimensi dan Lendutan Pada Mutu Beton 30 MPa.**

Gambar 11 sampai dengan Gambar 13 merupakan grafik yang menerangkan perubahan lendutan akibat penambahan beban pada suatu mutu beton tertentu. Misalnya saja pada Gambar 13 dapat dilihat bahwa lendutan jangka panjang pada balok dengan tinggi 550 mm berkisar antara 21,31mm sampai dengan 24,26mm. Ini berarti hanya terjadi penambahan lendutan yang relatif kecil padahal penambahan beban hidup cukup besar. Hal ini terjadi karena adanya penambahan luas tulangan tarik untuk beban yang lebih besar. Pada gambar diatas juga dapat terlihat pengaruh pembulatan  $A_{sperlu}$  menjadi  $A_{spakai}$  yang lebih banyak pada beban 400 kg/m<sup>2</sup> sehingga menyebabkan lendutannya menjadi lebih kecil dibandingkan pada beban 250 kg/m<sup>2</sup>.

## 6 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dari berbagai model dengan berbagai macam variasi dimensi, mutu beton, beban, didapatkan beberapa kesimpulan, antara lain :

1. Penambahan beban mengakibatkan peningkatan luas tulangan perlu.

2. Penambahan mutu beton mengakibatkan penurunan luas tulangan perlu.
3. Ketika mutu beton ditingkatkan tetapi luas tulangan pakai dan beban tidak berubah, lendutan yang terjadi menjadi lebih kecil namun nilainya tidak signifikan.
4. Peningkatan luas tulangan pakai menyebabkan lendutan menjadi lebih kecil.
5. Tulangan tarik berpengaruh pada lendutan seketika, penambahannya menyebabkan lendutan seketikanya menjadi lebih kecil.
6. Penambahan dimensi dalam hal ini penambahan tinggi balok menyebabkan jumlah tulangan perlu menjadi lebih sedikit. Tetapi walaupun menggunakan lebih sedikit tulangan lendutan yang dihasilkan tetap lebih kecil bila dibandingkan dengan dimensi yang lebih pendek.
7. Balok dengan tinggi lebih kecil tinggi minimum tetap boleh digunakan namun konsekuensinya adalah harus menambah luas tulangan pakainya, sehingga menyebabkan penggunaan tulangan menjadi boros.

## 7 SARAN

Adapun beberapa saran yang sebaiknya dilakukan lebih lanjut dari penelitian ini, antara lain :

1. Sebaiknya dilakukan penelitian lebih lanjut untuk balok-balok dengan bentang yang berbeda.
2. Dalam melakukan pemilihan dimensi yang sesuai untuk bentang yang cukup panjang sebaiknya jangan memilih tinggi minimum.
3. Dalam melakukan pemilihan dimensi yang sesuai untuk beban yang cukup besar sebaiknya jangan memilih tinggi minimum.
4. Untuk pemodelan balok seperti yang dibahas pada Bab III, dalam rangka mengurangi lendutan agar memenuhi lendutan izin dengan dimensi dan tulangan yang lebih sedikit sebaiknya digunakan balok anak, sehingga balok tidak lagi menerima beban dari pelat berukuran 4m x 8m namun hanya dari pelat 2m x 4m saja.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Nawy, E. G., 2003, *Reinforced Concrete a Fundamental Approach*, 5<sup>th</sup> ed., Pearson Education Ltd., London.
2. Standar Nasional Indonesia. 2002. *SNI 03-2847-2002 Tata Cara Perhitungan Beton untuk Bangunan Gedung*, Standar Nasional Indonesia.

3. MacGregor, James G. and James K. Wight, 2005, *Reinforced Concrete Mechanics And Design*, 4<sup>th</sup> ed., Pearson Education Ltd., London
4. Dipohusodo, Istimawan., 1999, *Struktur Beton Bertulang.*, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

# ANALISIS STABILITAS STRUKTUR PELINDUNG PANTAI BATU BRONJONG

**Olga P., Kanjalia T., Asriwiyanti D., Hanny J.D., Angga R.Pratama**

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha

Jalan Prof. drg. Suria Sumantri, MPH., No. 65, Bandung, 40164

E-mail: olga.pattipawaej@gmail.com

## ABSTRAK

Pemanasan global mengakibatkan pertambahan volume air laut sehingga terjadi kenaikan elevasi muka air laut. Kenaikan muka air laut yang terus-menerus menjadi ancaman abrasi dan erosi bagi pulau-pulau kecil di Indonesia terutama di daerah tepi pantai. Struktur pelindung pantai yang kuat dan stabil untuk menangani abrasi dan erosi ini akan dianalisis sehingga dapat meredam kekuatan gelombang secara efektif. Struktur pelindung pantai menggunakan material yang mudah diperoleh di Indonesia, yaitu batu pecah dengan menggunakan bronjong. Pada tulisan ini struktur pelindung pantai yang terletak di pantai Bengkulu akan dievaluasi. Tekanan tanah aktif dan tekanan hidrostatis akan diikutsertakan dalam gaya-gaya yang bekerja pada struktur pelindung pantai batu bronjong. Analisis stabilitas struktur pelindung pantai dihitung dengan menganalisa gaya guling, gaya geser, serta daya dukung tanah. Analisis stabilitas struktur pelindung pantai batu bronjong ditinjau untuk dua kasus, yaitu kondisi tidak terjadi kenaikan muka air laut (normal) dan kondisi terjadi kenaikan muka air laut akibat pemanasan global. Hasil analisis stabilitas struktur pelindung pantai batu bronjong memberikan faktor keamanan berada dalam kondisi stabil dan aman. Berdasarkan analisis kestabilan struktur pelindung pantai ini, diharapkan dapat mengurangi tingkat kerusakan struktur-struktur tepi pantai dan bangunan lain di sekitarnya.

Kata kunci: struktur pelindung pantai, batu bronjong, analisis stabilitas geoteknik, kenaikan muka air laut.

## 1. PENDAHULUAN

Suhu permukaan bumi secara global telah mengalami kenaikan sekitar  $0,74^{\circ}\text{C}$  antara awal dan akhir abad ke-20. Perubahan ini berpengaruh besar terhadap iklim bumi. Kenaikan suhu ini mengakibatkan dua hal utama yang terjadi di lapisan atmosfer paling bawah, yaitu fluktuasi curah hujan yang tinggi dan kenaikan muka air laut. Pada pertengahan abad ke-20, penyebaran panas menyebabkan kenaikan permukaan air laut setinggi 2,5 cm. Berdasarkan pengukuran yang dilakukan sejak 1993-2003, laju peningkatan permukaan air laut rata-rata adalah 3,1 mm/tahun (Bindoff et. al., 2007).

Naiknya permukaan air laut akibat pemanasan global, mengakibatkan garis pantai melebar dan terjadi erosi. Erosi air laut secara terus-menerus oleh gelombang laut dan arus laut merusak dinding pantai. Dampak dari erosi pantai ini adalah menipisnya lapisan permukaan tanah bagian atas, yang akan menyebabkan menurunnya kemampuan lahan (degradasi lahan).

Metode penanggulangan erosi pantai adalah dengan membuat struktur pelindung pantai, dimana struktur tersebut berfungsi sebagai peredam energi gelombang pada lokasi tertentu. Struktur pelindung pantai terbaik untuk pengelolaan dan perlindungan garis

pantai adalah dengan cara membuat situasi dimana garis pantai berorientasi secara paralel terhadap garis puncak gelombang datang, sehingga meminimalkan angkutan sedimen transport sepanjang pantai dan menciptakan pola pantai yang setimbang.

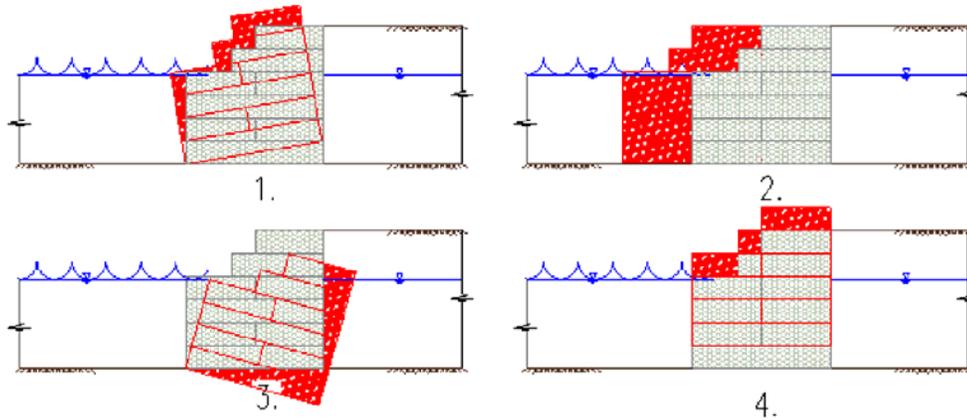
Kerusakan serta longsornya tanah di daratan pinggiran pantai serta menjadikan bangunan yang berada di daerah pantai tetap aman dan stabil, meskipun naiknya permukaan air laut oleh pemanasan global dapat dihindari, yaitu dengan membuat struktur pelindung pantai. Tujuan penelitian ini memberikan penyelesaian kestabilan struktur pelindung akibat erosi pantai serta kenaikan permukaan laut dengan menggunakan material yang mudah didapat dan ekonomis.

Untuk memfokuskan penelitian maka pembahasan dibatasi sebagai berikut: studi kasus struktur pelindung pantai pada tulisan ini menggunakan dinding penahan tanah bertipe bronjong. Spesifikasi bronjong kawat sesuai SNI 03-0090-1999: batu pecah berukuran antara 15 cm – 25 cm ( toleransi 5% ) digunakan di dalam bronjong; tekanan ke arah samping (lateral) diperhitungkan dalam menghitung kestabilan dinding penahan; pemadatan tanah tertahan di belakang dinding penahan merupakan penyebab keruntuhan diasumsikan dalam kondisi stabil; Jenis tanah di sekitar pantai Bengkulu yang digunakan berdasarkan data dari PUSLITBANG Balai Pantai.gaya gempa dan tsunami tidak diperhitungkan.

## **2. STABILITAS GEOTEKNIK**

Stabilitas geoteknikal ditentukan oleh gaya horizontal dan vertikal dari tanah dan air (Verruijt, 2004). Dengan adanya perhitungan mekanika tanah, maka dapat mengetahui apakah bangunan sesuai dengan stabilitas yang diinginkan (Braja, 2006). Hal ini ditentukan oleh daya tahan terhadap kesalahan mekanisme:

1. Stabilitas terhadap guling (*overturning*)
2. Stabilitas terhadap geser (*sliding*)
3. Stabilitas terhadap daya dukung tanah (*bearing capacity*)
4. Stabilitas terhadap daya angkat (*uplifting*)



**Gambar 1. Kesalahan Mekanisme Pada Dinding Pelindung Pantai.**

Gambar 1 menjelaskan sebagai berikut :

1. Stabilitas terhadap guling (*overturning*)

Tekanan pada setiap sisi menyebabkan bangunan cenderung berotasi pada bangunan kaki. Perubahan momen gerak disebabkan oleh tekanan tanah pada satu sisi, sementara tekanan vertikal pada bangunan dan tekanan tanah pada sisi lain menginduksi momen tentang.

$$2 \leq FS_{(guling)} = \frac{\sum MR + Mh}{\sum Mo + \rho \cdot g \cdot h \left( \frac{1}{3} h \right)} \leq 3 \quad (1)$$

dimana,

MR = Perubahan momen tahan di sekeliling bangunan kaki

Mo = Perubahan momen gerak di sekeliling bangunan kaki

Mh = Gaya hidrostatik

2. Stabilitas terhadap geser (*sliding*)

Tanah yang 'mendorong' bangunan ke sisi lain. Tekanan tanah ini adalah gaya gerak yang mengakibatkan longsor di dasar tanah. Tekanan tanah pada sisi lain dan potongan antara bangunan dan tanah adalah gaya tentang.

$$FS_{(geser)} = \frac{\sum V \cdot \tan(k_1 \cdot \phi_3) + B \cdot k_2 \cdot c_3 + Ph}{Pa \cdot \cos \alpha + \rho \cdot g \cdot h} \geq 1,5 \quad (2)$$

dimana,

$\sum V$  = berat total pelindung pantai

Pa = tekanan tanah aktif

Ph = tekanan airlaut

$\alpha$  = sudut geser dalam

c = kohesi (kg/m<sup>2</sup>)

$$\frac{1}{2} \leq k_1, k_2 \leq \frac{2}{3} \#$$

$\alpha$  = kemiringan dinding terhadap bidang horizontal

### 3. Stabilitas terhadap daya dukung tanah (*bearing capacity*)

Tanah yang berada di bawah bangunan dapat turun karena ketidakstabilan gaya residual, seperti kapasitas tahanan bisa terjadi lebih rendah dari nol pada kaki. Dalam kasus ini, hal ini dapat menjadi tekanan di bagian atas, 'tidak stabil' pada satu sisi bangunan. Pada awal estimasi untuk keamanan hal ini telah diperhitungkan maka untuk itu gaya residual pada bangunan harus diperhatikan:

$$FS_{(daya\ dukung\ tanah)} = \frac{q_u}{q_{max}} \geq 3 \quad (3)$$

dimana:

$q_u$  = tekanan *ultimate* (kg/m<sup>2</sup>)

$q_{max}$  = tekanan maksimum (kg/m<sup>2</sup>)

### 4. Stabilitas terhadap daya angkat (*uplifting*)

Tekanan air di bawah bangunan menginduksi tekanan di atasnya. Tekanan di atas ini adalah gaya gerak untuk mengangkat bangunan ke atas. Tanpa pondasi tiang, gaya tekan hanya terdiri dari berat bangunan saja:

$$FS_{(gaya\ angkat)} = \frac{\sum Vr}{\sum Vd} \geq 1,5 \quad (4)$$

dimana,

$\sum Vr$  = gaya tahan vertikal

$\sum Vd$  = gaya gerak vertical.

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Bronjong Kawat

Struktur pelindung pantai menggunakan material batu bronjong. Bronjong kawat adalah kotak yang terbuat dari anyaman kawat baja berlapis seng yang pada

penggunaannya diisi batu-batu untuk pencegah erosi yang dipasang pada tebing tebing, tepi-tepi sungai, yang proses penganyamannya menggunakan mesin. Acuannya adalah SNI 03-0090-1987 tentang Mutu dan Cara Uji Bronjong dan Kawat Bronjong, dan syarat bahan baku mengacu pada SNI 03-6154-1999 tentang kawat bronjong. Material batu yang akan dipakai untuk Bronjong Kawat Pabrikasi dan Bronjong harus terdiri dari batu yang bersih, keras dan dapat tahan lama, berbentuk bulat atau persegi. Ukuran batu yang diijinkan untuk digunakan adalah antara 15 cm sampai 25 cm (toleransi 5%) dan sekurang-kurangnya 85% dari batuan yang digunakan harus mempunyai ukuran yang sama atau lebih besar dari ukuran tersebut serta tidak boleh ada batuan yang diijinkan melewati lubang anyaman.

### **3.2 Kondisi Hidraulis**

Kondisi gelombang sangat bergantung pada fitur batimetri lepas pantai sebagai batas daratan, pulau lepas pantai dan kedalaman air. Gelombang ini dapat diciptakan oleh angin lokal (keadaan laut) atau gelombang besar dan karakteristiknya berubah sesuai dengan perambatannya pada air dangkal. Iklim gelombang di area dekat pantai ditentukan oleh iklim gelombang lepas pantai.

Data angin untuk prediksi gelombang secara normal didapat melalui cara observasi langsung melalui *fetch* (daerah pembentukan gelombang) yang diasumsikan memiliki kecepatan dan arah angin yang relative konstan dari pengamatan di darat. Arah dan kecepatan maksimum angin harian akan digunakan untuk memprediksi tinggi dan perioda gelombang maksimum yang dapat dibangkitkan angin dalam perioda ulang waktu tertentu. Dalam tulisan ini penghitungan gelombang (yang dibangkitkan angin) dilakukan dengan cara hindcasting berdasarkan formulasi yang tersusun di dalam buku *Shore Protection Manual, Departement of The Army, Coastal Engineering Reseach Center* (1984).

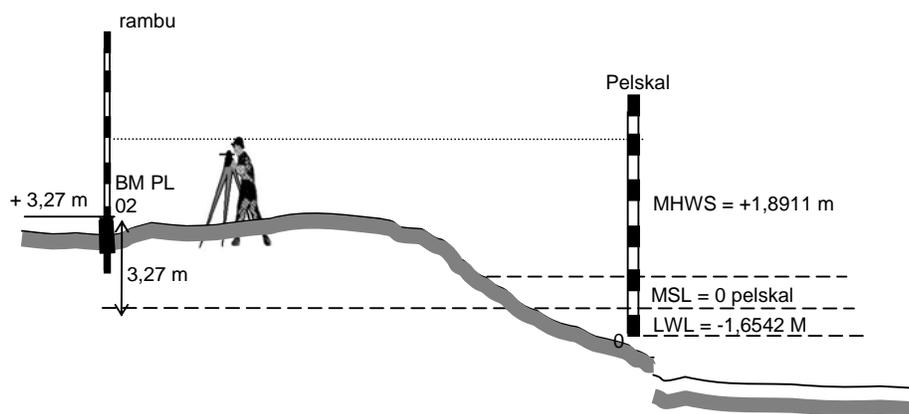
Prinsip dasar metode ini adalah mengestimasi tinggi dan perioda gelombang yang dihitung dari data angin dan *fetch* efektif dengan menggunakan metoda empiris, tinggi dan perioda gelombang. Dalam perhitungan ini digunakan kecepatan angin maksimum, yang dimaksudkan untuk menganalisis kondisi-kondisi ekstrim dari gelombang. Arah angin dinyatakan dari arah datangnya angin. Hal ini diperlakukan sama terhadap gelombang, dimana gelombang dinyatakan dari arah datangnya gelombang.

Tinggi gelombang merupakan tinggi gelombang lepas pantai. Sebelum mencapai pantai, gelombang tersebut mengalami proses refraksi (perubahan arah gelombang) dan *shoaling* (perubahan panjang dan tinggi gelombang). Selain itu, gelombang tersebut pada

kedalaman tertentu mengalami fase pecah gelombang sebelum mencapai pantai, sehingga gelombang di pantai lebih kecil dari pada gelombang di lepas pantai. Untuk keperluan perencanaan dapat digunakan formula tinggi gelombang pecah.

Pasang surut merupakan fenomena fisika oseanografi yang perlu dipelajari dalam upaya memahami pola sirkulasi massa air laut. Parameter pasang surut ini umumnya menentukan gerakan air dalam periode tengah harian sampai harian, tergantung pada tipe pasang surut yang terjadi pada perairan tersebut. Observasi pasut jangka panjang (~30 tahun) dapat memberikan data yang sangat reliabel dan akurat untuk fluktuasi permukaan air termasuk bulanan, musiman dan variasi tahunan. Data pasut yang kurang akurat dapat terjadi dalam pengumpulan *set* konstituen pasut dari Tabel Pasut Indonesia (ITT), database IHO atau *Admiralty Tide Tables* (ATT). Namun, pasut ini hanya terdiri dari konstituen utama yang berkontribusi terhadap sinyal pasut dan hanya tersedia untuk lokasi tertentu seperti pelabuhan utama dan kota-kota besar yang terletak di sepanjang pantai. Umumnya, fluktuasi musiman dan tahunan dari sinyal pasut tidak dapat diderivasi tersendiri dari konstituen ini.

Selanjutnya dengan melakukan levelling pengikatan nol pelskal terhadap patok BM pengukuran topografi diperoleh elevasi pasang surut. Gambar pengikatan nol pelskal seperti pada Gambar 2. Hasil pengamatan pengukuran pasang surut digunakan juga untuk menentukan elevasi muka air HHWL (*Highest High Water Level*), MSL (*Mean Sea Level*) dan LLWL (*Lowest Low Water Level*). Berdasarkan data hasil pengamatan, dibuat peramalan karakteristik tinggi muka air di lokasi pantai Bengkulu dengan elevasi seperti pada Tabel 1.



**Gambar 2. Pengikatan Nol Pelskal Terhadap BM.**

**Tabel 1. Karakteristik Elevasi Muka Air.**

Kondisi Muka Air	Elevasi (m)
Highest High Water Level (HHWL)	2,2966
Mean High Water Spring (MHWS)	1,8911
Mean High Water Neap (MHWN)	0,8025
Mean Sea Level (MSL)	0
Mean Low Water Neap (MLWN)	-0,8121
Mean Low Water Spring (MLWS)	-1,1410
Lowest Low Water Level (LLWL)	-1,6540

### 3.3 Kondisi Tanah

Pada analisis stabilitas geoteknik struktur pelindung pantai adalah analisis terhadap bahaya terguling, kuat dukung, terangkat dan tergeser. Bentuk penampang struktur pada dasarnya harus aman terhadap limpasan dan aman terhadap gaya yang bekerja. Bentuk struktur perlu mempertimbangkan terhadap kondisi tanah. Tabel 2 adalah hasil pendugaan sondir di Pantai Bengkulu yang digunakan pada penelitian ini.

**Tabel 2. Hasil Pendugaan Sondir.**

Kedalaman (m)	Jenis Lapisan	Perlawanan konus (qc) kg/cm <sup>2</sup>	Kekuatan
0,00 – 1,40	Pasir halus	11,64 – 24,25	Sedang
1,40 – 3,80	Pasir sedang	32,98 – 72,75	Padat
3,80 – 6,40	Pasir kasar	118,24 – 195,94	Sangat padat

## 4. ANALISI DAN PEMBAHASAN

Pada bagian awal akan menjelaskan desain struktur pelindung pantai dengan batu bronjong. Data lapangan Pantai Bengkulu digunakan untuk mendesain struktur pelindung pantai ini. Analisis kestabilan geoteknik struktur pelindung pantai dengan batu bronjong melingkupi analisis stabilitas terhadap guling (*overturning*), analisis stabilitas terhadap geser (*sliding*), dan analisis stabilitas terhadap daya dukung tanah (*bearing capacity*). Analisis stabilitas terhadap gaya angkat (*uplifting*) tidak diikutsertakan dalam tulisan ini, karena gaya gelombang air laut telah diserap oleh struktur batu bronjong tersebut.

#### 4.1. Desain Struktur Pelindung Pantai dengan Batu Bronjong

Elevasi muka air laut rencana merupakan parameter sangat penting di dalam perencanaan struktur pelindung pantai. Elevasi tersebut merupakan penjumlahan dari beberapa parameter, seperti tinggi *run-up*, tinggi kebebasan, dan tinggi muka air laut tertinggi, serta kenaikan muka air karena perubahan suhu global. Gelombang dominan dari kedalaman di Pantai bengkulu muncul dari arah Selatan untuk periode ulang 25 tahun dan tingginya adalah 5,52 meter. Untuk mendapatkan nilai tinggi gelombang (H) desain untuk kondisi di daerah bibir pantai dengan kondisi gelombang sudah pecah adalah

$$H = 0,78 \times d = 1,56 \text{ meter}$$

dan panjang gelombang ( $L_0$ ) di lokasi struktur pelindung pantai adalah

$$L_0 = 1,56 \times T_s^2 = 188,76 \text{ meter}$$

dimana d adalah tinggi air laut rata-rata dan T adalah perioda ulang gelombang.

Tinggi rayapan gelombang untuk menentukan nilai *run-up* gelombang diperoleh dengan menggunakan rumus Irribaren:

$$I_r = \frac{\tan \theta}{\sqrt{\frac{H}{L_0}}} = \frac{\tan(45^\circ)}{\sqrt{\frac{1,56}{188,76}}} = 11$$

dimana  $\theta$  adalah sudut kemiringan sisi struktur pelindung pantai (1:2).

Dengan menggunakan grafik *run-up* gelombang (Gambar 3) diperoleh:

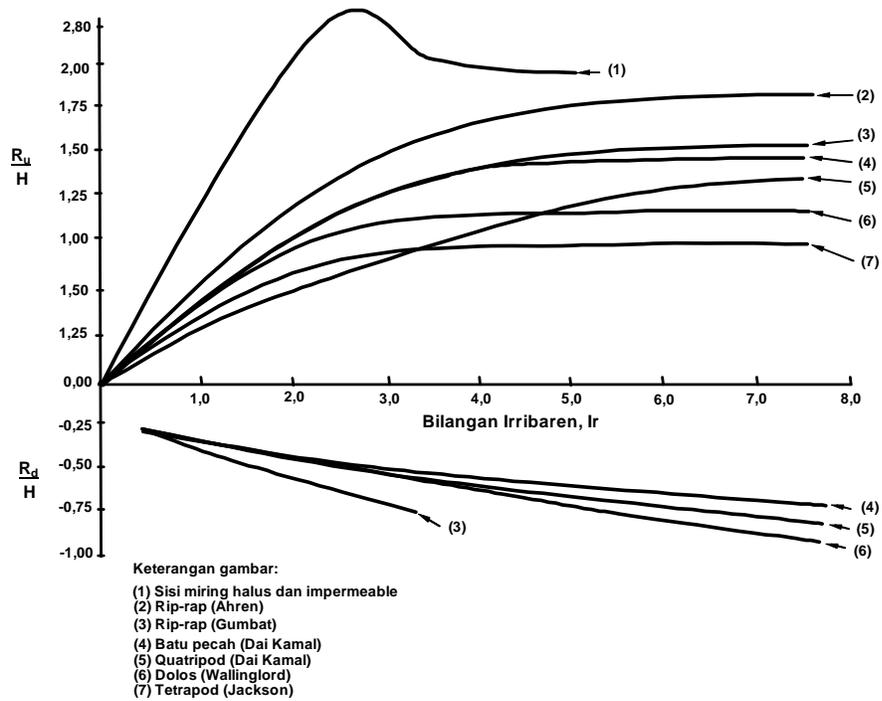
$$\frac{R_u}{H} = 0,85 \text{ atau } R_u = 0,85 \times 1,56 = 1,326 \text{ meter.}$$

Nilai *run-up* gelombang ( $R_u$ ) yang digunakan adalah 1,4 meter.

Kemudian menentukan elevasi muka air rencana sebagai berikut:

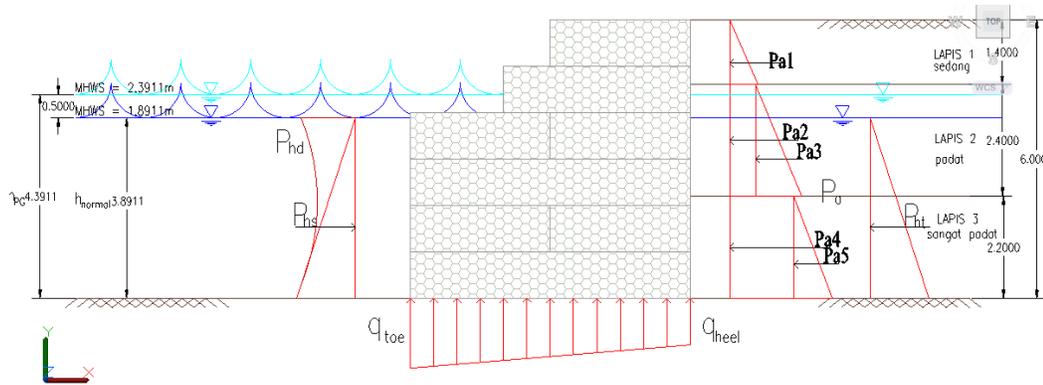
$$\text{Elevasi puncak} = \text{HHWL} + R_u + \text{Tinggi jagaan} = 4,00 \text{ meter}$$

atau + 4,00 (MSL, *mean sea level*) dimana HHWL adalah muka air tertinggi (*highest high water level*) = 2,3 meter, dan tinggi jagaan atau *freeboard* adalah 0,3 meter.



**Gambar 3. Run-up Gelombang.**

Tinggi struktur pelindung pantai dengan batu bronjong yang akan diteliti adalah 6 meter dan lebar dasar struktur ( $B_p$ ) adalah 6 meter dan lebar bagian atas ( $B_a$ ) struktur pelindung pantai ini adalah 2 meter. Desain struktur pelindung pantai dengan batu bronjong dapat dilihat pada Gambar 4, dimana  $P_h$  adalah tekanan yang disebabkan oleh gelombang merupakan gabungan dari tekanan hidrostatik dan tekanan dinamis,  $P_a$  merupakan tekanan tanah aktif yang terdiri dari 3 lapisan tanah,  $P_{ht}$  adalah tekanan hidrostatik dalam tanah,  $q_{heel}$  adalah tegangan maksimum berat struktur, dan  $q_{toe}$  tegangan minimum berat struktur.



**Gambar 4. Struktur Pelindung Pantai Batu Bronjong.**

#### 4.2 Analisis Stabilitas terhadap Guling

Struktur pelindung pantai dengan batu bronjong ini terdiri dari 3 lapisan tanah, yaitu lapis 1 untuk tanah berkekuatan sedang, lapis 2 untuk tanah berkekuatan padat, dan lapis 3 untuk tanah berkekuatan sangat padat. Grafik korelasi tahanan ujung dan kedalaman untuk mendapatkan nilai  $\phi$  diperoleh dari Durgunoglu dan Mitchell (1975). Tabel 4.1 menunjukkan data tanah untuk setiap lapisan yang diketahui.

**Tabel 3. Data Tanah.**

Lapisan tanah	Kedalaman (m)	$\phi$ (°)	$\gamma = \gamma_{sat}$ (kg/m <sup>3</sup> )	c (kg/m <sup>2</sup> )
1	1,4	38,0	1840	0
2	1,4 - 3,8	40,0	1900	0
3	3,8 - 6,4	42,5	1960	0

Langkah selanjutnya adalah menghitung tekanan tanah aktif, yang dihitung dengan 3 lapisan tanah yang berbeda. Perhitungan tekanan tanah aktif untuk setiap lapisan tanah bergantung kepada  $K_a$  merupakan koefisien tekanan tanah aktif,  $\gamma$  adalah berat volume tanah,  $H_t$  adalah tinggi tanah, dan  $P_a$  merupakan tekanan tanah aktif.

Untuk lapisan tanah 1:

$$K_{a1} = \tan^2 \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right) = 0,238$$

dan

$$K_{a1} \gamma_1 H_{t1} = 613,088 \text{ kg/m}^2$$

Sehingga tekanan tanah aktif untuk lapisan 1 diperoleh

$$P_{a1} = \frac{1}{2} K_{a1} \gamma_1 Ht_1^2 = 429,162 \text{ kg/m}$$

Untuk lapisan tanah 2:

$$K_{a2} = \tan^2 \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right) = 0,217$$

dan

$$K_{a2} \gamma_1 Ht_1 = 558,994 \text{ kg/m}^2$$

serta

$$K_{a2} \gamma_2 Ht_2 = 989,540 \text{ kg/m}^2$$

Sehingga tekanan tanah aktif pada lapisan tanah ke dua diperoleh

$$P_{a2} = K_{a2} \gamma_1 Ht_1 Ht_2 = 1341,581 \text{ kg/m}$$

dan

$$P_{a3} = \frac{1}{2} K_{a2} \gamma_2 Ht_2^2 = 1187,424 \text{ kg/m}$$

Untuk lapisan tanah 3:

$$K_{a3} = \tan^2 \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right) = 0,193$$

dan

$$K_{a3} [\gamma_1 Ht_1 + \gamma_2 Ht_2] = 1377,248 \text{ kg/m}^2$$

serta

$$K_{a3} \gamma_3 Ht_3 = 832,216 \text{ kg/m}^2$$

Sehingga tekanan tanah aktif untuk lapisan tanah ke tiga didapat

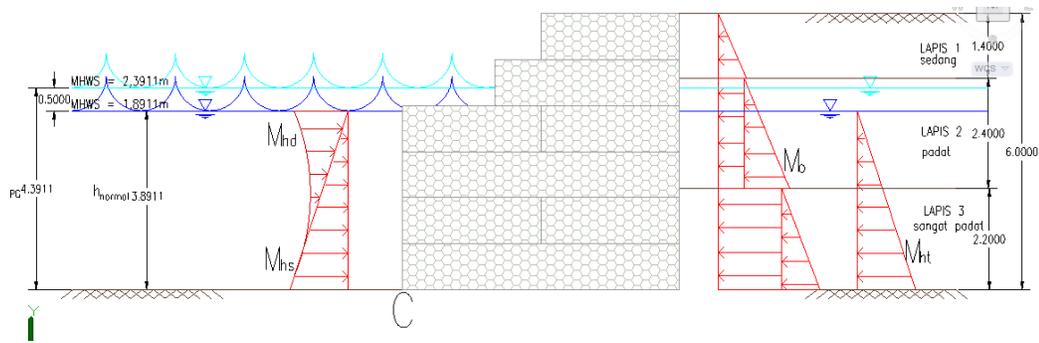
$$P_{a4} = K_{a3} [\gamma_1 Ht_1 + \gamma_2 Ht_2] Ht_3 = 3029,945 \text{ kg/m}$$

dan

$$P_{a5} = \frac{1}{2} K_{a3} \gamma_3 Ht_3^2 = 915,437 \text{ kg/m}$$

Tekanan tanah aktif total diperoleh sebagai berikut:

$$\sum_{i=1}^5 P_{ai} = P_{a1} + P_{a2} + P_{a3} + P_{a4} + P_{a5} = 6903,549 \text{ kg/m}$$



**Gambar 5. Perubahan Momen.**

Kemudian menentukan perubahan momen dapat dilihat ilustrasinya pada Gambar 5. Sehingga dapat dilakukan serangkaian perhitungan perubahan momen sebagai berikut:

$$M_{o1} = P_{a1} \left( \frac{Ht_1}{3} + 4,6 \right) = 2174,421 \text{ kg},$$

$$M_{o2} = P_{a2} \left( \frac{Ht_2}{2} + 2,2 \right) = 4561,375 \text{ kg},$$

$$M_{o3} = P_{a3} \left( \frac{Ht_2}{3} + 2,2 \right) = 3562,272 \text{ kg},$$

$$M_{o4} = P_{a4} \left( \frac{Ht_3}{2} \right) = 3332,940 \text{ kg},$$

dan

$$M_{o5} = P_{a5} \left( \frac{Ht_3}{3} \right) = 671,320 \text{ kg}.$$

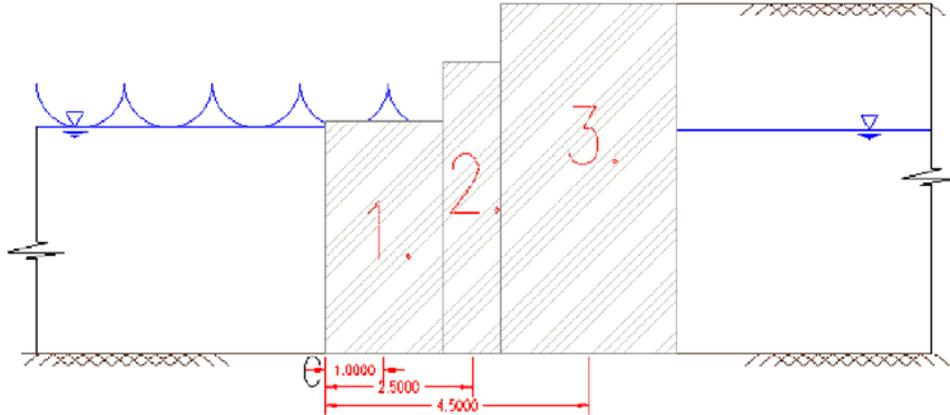
Sehingga diperoleh total perubahan momen gerak di sekeliling bangunan kaki:

$$\sum_{i=1}^5 M_{oi} = M_{o1} + M_{o2} + M_{o3} + M_{o4} + M_{o4} = 14302,328 \text{ kg}$$

Langkah selanjutnya mencari berat dan lengan momen pusat area terhadap titik C dari struktur pelindung pantai dengan batu bronjong. Berat struktur diperoleh berdasarkan material yang digunakan, yaitu batu bronjong dengan  $\gamma_{\text{batu pecah}}$  sebesar  $1450 \text{ kg/m}^3$  dan  $\gamma_{\text{kawat bronjong}}$  sebesar  $13,5 \text{ kg/m}^3$  sehingga

$$\gamma_{\text{batu bronjong}} = \gamma_{\text{batu pecah}} + \gamma_{\text{kawat bronjong}} = 1450 + 13,5 = 1463,5 \text{ kg/m}^3.$$

Gambar 4.5 memperlihatkan pembagian area bidang 1, 2, dan 3 untuk mempermudah penentuan lengan momen pusat area terhadap titik C. Berat dan momen untuk setiap area bidang 1,2, dan 3 serta berat dan momen total dapat dilihat pada Tabel 4.2. Momen yang dihitung adalah momen per unit satuan panjang, dalam hal ini satuannya adalah berat.



**Gambar 6. Lengan Momen Pusat Area terhadap Titik C.**

**Tabel 4. Berat dan Momen Tahanan.**

No.	Area(m <sup>2</sup> ) A	Berat (kg/m) W = $\gamma \times A$	Jarak dari titik C(m) D	Momen (kg) MR = W $\times$ d
1	2x4 = 4	11708	1	11708
2	1x5 = 5	7317,5	2,5	18293,75
3	3x6 = 12	26343	4,5	118543,5
		$\sum_{i=1}^3 V = 45368,5$		$\sum_{i=1}^3 MR = 148545,25$

Setelah mendapatkan momen dari struktur pelindung pantai batu bronjong, langkah selanjutnya menghitung momen akibat beban air. Momen akibat beban air merupakan momen dari gelombang air yang terdiri dari momen hidrostatik dan momen dinamis, dimana momen hidrostatik dinyatakan sebagai  $M_{hs(normal)}$  untuk kondisi air laut normal,  $M_{hs(PG)}$  momen hidrostatik untuk kondisi air laut yang naik akibat pemanasan global, momen dinamis untuk kondisi air laut normal adalah  $M_{hd(normal)}$ , dan momen dinamis untuk kondisi kenaikan muka air laut akibat pemanasan global adalah  $M_{hd(PG)}$ . Momen

akibat gelombang air dibedakan atas dua kasus, yaitu kasus untuk kondisi air laut normal ( $M_{h(\text{normal})}$ ) dan kasus untuk kondisi kenaikan muka air laut akibat pemanasan global ( $M_{h(\text{PG})}$ ). Sehingga diperoleh

$$M_{hs(\text{normal})} = \rho g h \left( \frac{1}{3} h_{(\text{normal})} \right) = 50943,271 \text{ kg},$$

$$M_{hs(\text{PG})} = \rho g h \left( \frac{1}{3} h_{(\text{PG})} \right) = 64876,692 \text{ kg},$$

$$M_{hd(\text{normal})} = \frac{\rho g H^2 L}{16T} \left( 1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right) = 52454,295 \text{ kg},$$

$$M_{hd(\text{PG})} = \frac{\rho g H^2 L}{16T} \left( 1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right) = 52322,566 \text{ kg},$$

$$\text{dimana } k = \frac{2\pi}{L_0} = \frac{2\pi}{188,76} = 0,033$$

$$M_{h(\text{normal})} = M_{hs(\text{normal})} + M_{hd(\text{normal})} = 105781,426 \text{ kg},$$

dan,

$$M_{h(\text{PG})} = M_{hs(\text{PG})} + M_{hd(\text{PG})} = 117199,258 \text{ kg}.$$

Perhitungan stabilitas terhadap guling adalah sebagai berikut:

Untuk kondisi muka air laut normal:

$$FS_{\text{guling}(\text{normal})} = \frac{\sum_{i=1}^3 MR + M_{h(\text{normal})}}{\sum_{i=1}^5 M_{oi} + M_{s(\text{normal})}} = 3,89$$

Untuk kondisi naiknya muka air laut akibat pemanasan global:

$$FS_{\text{guling}(\text{PG})} = \frac{\sum_{i=1}^3 MR + M_{h(\text{PG})}}{\sum_{i=1}^5 M_{oi} + M_{s(\text{PG})}} = 3,356$$

Faktor keamanan stabilitas terhadap guling adalah  $2 \leq FS_{\text{guling}(\text{normal})} = 3,89$  dan  $2 \leq FS_{\text{guling}(\text{PG})} = 3,356$ . Hasil menunjukkan struktur pelindung pantai dengan batu bronjong stabil terhadap guling baik dalam kondisi muka air laut normal maupun kondisi saat kenaikan muka air laut akibat pemanasan global.

### 4.3 Analisis Stabilitas terhadap Geser

Untuk perhitungan stabilitas terhadap geser, dipengaruhi oleh tekanan yang diakibatkan oleh gelombang air laut yang terdiri dari tekanan hidrostatis dan tekanan dinamis. Dalam hal ini tekanan yang diakibatkan oleh gelombang juga dihitung untuk kondisi muka air normal ( $P_{h(normal)}$ ) dan kondisi kenaikan muka air laut akibat pemanasan global ( $P_{h(PG)}$ ), yaitu

$$P_{h(normal)} = \rho \cdot g \cdot h + \left( \frac{\rho \cdot g \cdot H}{2} \right) \frac{\cosh.k.(h + h)}{\cosh.k.h} = 47345,354 \text{ kg/m}$$

dan,

$$P_{h(PG)} = 52438,500 \text{ kg/m}$$

Gaya pasif pada umumnya diabaikan dalam menghitung faktor keamanan terhadap geser.

Faktor keamanan stabilitas geser untuk kondisi muka air laut normal:

$$FS_{geser(normal)} = \frac{\sum_{i=1}^3 V \tan(k_i \phi_i) + Bk_2 c_3 + P_{h(normal)}}{Pa \cdot \cos \alpha + \rho \cdot g \cdot h_{normal}} = 1,555$$

dan untuk kondisi kenaikan muka air laut diperoleh

$$FS_{geser(PG)} = 1,501$$

dimana konstanta  $k_1 = \frac{2}{3}$  dan  $k_2 = \frac{2}{3}$ , serta kemiringan terhadap bidang horizontal  $\alpha = 0$ .

Faktor keamanan stabilitas geser diperoleh  $1,5 \leq FS_{geser(normal)} = 1,555$  dan  $1,5 \leq FS_{geser(PG)} = 1,501$ , artinya struktur pelindung pantai dengan batu bronjong untuk

kondisi muka air laut normal dan kondisi kenaikan muka air laut akibat pemanasan global dalam kondisi stabil.

### 4.4 Analisis Stabilitas terhadap Daya Dukung Tanah

Langkah awal dalam menganalisa stabilitas terhadap daya dukung tanah adalah menentukan eksentrisitas:

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\sum_{i=1}^3 MR - \sum_{i=1}^5 M_{oi}}{\sum_{i=1}^3 V_i} = 0,041$$

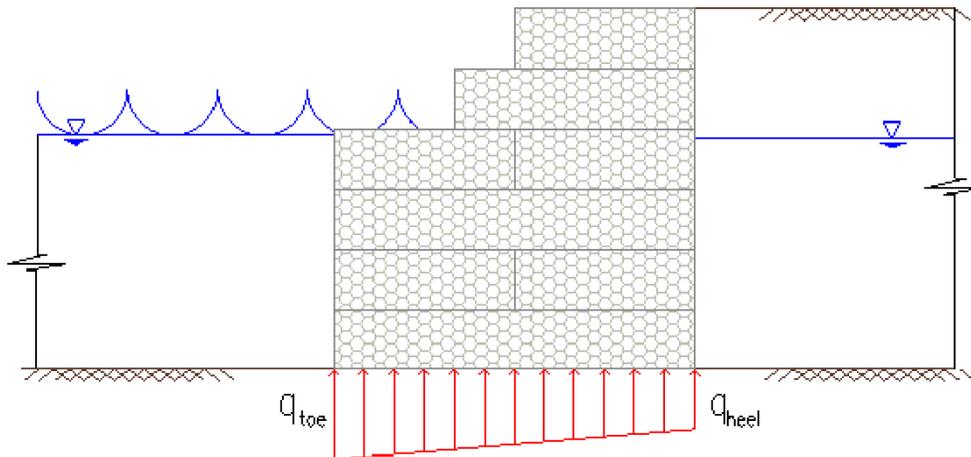
Sehingga tegangan maksimum dan minimum diperoleh sebagai berikut:

$$q_{toe} = \frac{\sum_{i=1}^3 V}{B} \left( 1 + \frac{6e}{B} \right) = 7871,846 \text{ kg/m}^2$$

dan

$$q_{heel} = \frac{\sum_{i=1}^3 V}{B} \left( 1 - \frac{6e}{B} \right) = 7251,398 \text{ kg/m}^2$$

Ilustrasi hasil dari tegangan maksimum dan minimum dapat dilihat Gambar 7. Hasil tegangan maksimum didapatkan dari  $q_{toe}$  dengan nilai 7871,846 kg/m<sup>2</sup>.



**Gambar 7. Tegangan Maksimum dan Minimum.**

Selanjutnya menentukan tegangan ultimate. Langkah awal menentukan lebar efektif yang dipenuhi oleh syarat sebagai berikut:

$$e = 0,041 < \frac{B}{6} = \frac{6}{6} = 1.$$

Sehingga lebar efektif adalah  $B' = B - 2e = 5,918 \text{ m}$  dan  $q = \gamma_3 \times D_f = 1960 \times 0 = 0$ .

$D_f$  merupakan kedalaman pondasi yang tertanam di dalam tanah, dalam kasus ini nilainya adalah 0.

Faktor-faktor koreksi terdiri dari  $F_{cd}$ ,  $F_{ci}$ ,  $F_{qd}$ ,  $F_{qi}$ ,  $F_{\gamma d}$ , dan  $F_{\gamma i}$  merupakan faktor-faktor koreksi tanpa dimensi dari kohesi (c), berat tanah ( $\gamma$ ), dan beban merata (q) yang diperhitungkan untuk geometri dan jenis tanah fondasi sebagai berikut:

$$F_{cd} = 1 + 0,4 \left( \frac{D_f}{B'} \right) = 1,$$

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan \varphi_3 (1 - \sin \varphi_3)^2 \left( \frac{D_f}{B'} \right) = 1,$$

$$F_{\gamma d} = 1,$$

$$F_{ci} = \left( 1 - \frac{\Psi}{90} \right)^2 = \left( 1 - \frac{\tan^{-1} \left( \frac{P_a \cos \alpha}{\sum_{i=1}^3 V_i} \right)}{90} \right)^2 = 0,817$$

$$F_{qi} = F_{ci} = 0,817,$$

$$F_{\gamma i} = \left( 1 - \frac{\Psi}{\phi_3} \right)^2 = 0,634$$

Selanjutnya mencari  $N_c$ , yaitu faktor-faktor daya dukung akibat kohesi tanah,  $N_\gamma$  adalah faktor-faktor daya dukung akibat berat tanah, dan  $N_q$  adalah faktor-faktor daya dukung akibat beban merata. Nilai-nilai daya dukung tanah ini dapat dilihat pada Tabel 5 dan diperoleh nilai  $N_c$ ,  $N_\gamma$ , dan  $N_q$  untuk  $\phi = 42,5$ , yaitu  $N_c = 99,410$ ,  $N_q = 92,200$ , dan  $N_\gamma = 171,045$  dengan menggunakan interpolasi.

**Tabel 5. Faktor Daya Dukung Tanah.**

$\phi$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$
42	93,71	85,38	155,55
43	105,11	99,02	186,54

Sehingga tegangan ultimatanya adalah

$$q_u = c_3' N_c F_{cd} F_{ci} + q N_q F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma_3' B' N_\gamma F_{\gamma d} F_{\gamma i} = 628927,635 \text{ kg/m}^2$$

Faktor keamanan stabilitas terhadap daya dukung tanah adalah

$$FS_{\text{daya dukung tanah}} = \frac{q_u}{q_{\text{toe}}} = 79,896$$

Hasil ini memperlihatkan  $3 \leq FS_{\text{daya dukung tanah}} = 79,896$ , artinya stabilitas struktur terhadap daya dukung tanah tercapai.

Hasil perhitungan kestabilan struktur pelindung pantai dengan batu bronjong dapat dilihat pada Tabel 6. Faktor keamanan stabilitas terhadap guling, geser, dan daya dukung tanah dalam kondisi stabil.

**Tabel 6. Hasil Perhitungan Faktor Keamanan.**

<b>Faktor Keamanan</b>	<b>Kondisi</b>
$2 \leq FS_{guling(normal)} = 3,890$	Stabil
$2 \leq FS_{guling(PG)} = 3,456$	Stabil
$1,5 \leq FS_{geser(normal)} = 1,555$	Stabil
$1,5 \leq FS_{geser(PG)} = 1,501$	Stabil
$3 \leq FS_{daya\ dukung\ tanah} = 79,896$	Stabil

## 5. SIMPULAN

Hasil analisis kestabilan struktur pelindung pantai batu bronjong adalah sebagai berikut:

1. Faktor Keamanan untuk stabilitas terhadap guling pada saat muka air normal  $2 \leq FS_{guling(normal)} = 3,890$  , dan faktor Keamanan untuk stabilitas terhadap guling akibat kenaikan muka air laut  $2 \leq FS_{guling(PG)} = 3,456$
2. Faktor Keamanan untuk stabilitas terhadap geser pada saat muka air normal  $1,5 \leq FS_{geser(normal)} = 1,555$  , dan faktor Keamanan untuk stabilitas terhadap geser akibat pemanasan global  $1,5 \leq FS_{geser(PG)} = 1,501$
3. Faktor Keamanan untuk stabilitas terhadap daya dukung tanah  $3 \leq FS_{daya\ dukung\ tanah} = 79,896$

Hasil dari tiga faktor keamanan yang telah dianalisis dapat disimpulkan bahwa struktur pelindung pantai dalam kondisi stabil dan aman dari bahaya erosi dan abrasi akibat kenaikan permukaan air laut. Penelitian lanjutan untuk stabilitas struktur pelindung pantai batu bronjong adalah dengan memasukkan faktor gempa dan tsunami, penambahan geotextile di belakang dan di bawah struktur pelindung pantai agar tanah tidak masuk kedalam rongga struktur pelindung pantai batu

bronjong, dan beban kendaraan di atas tanah struktur pelindung pantai dimasukkan untuk mengetahui kestabilan struktur.

#### **UCAPAN TERIMAKASIH**

DIPA Kopertis Wilayah IV, Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan, sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Hibah Penelitian Nomor: 0251/K4/KL/2012, tanggal 06 Februari 2012

#### **DAFTAR PUSTAKA**

1. Bindoff, N.L. et. al. (2007). Observations: Oceanic Climate Change and Sea Level. Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, USA.: Cambridge University Press.
2. Das, B.M., (2006). Principles of Geotechnical Engineering Fifth Edition, Nelson, Canada.
3. Pond, S. dan G.L Pickard. 1983. Introductory dynamical Oceanography. Second edition. Pergamon Press. New York.
4. PUSLITBANG AIR, Balai Pantai, 2008.
5. Shore Protection Manual, Departement of The Army, Coastal Engineering Reseach Center (1984).
6. SNI 03-0090-1999 (1999). Spesifikasi Bronjong Kawat.
7. Triadmojo, Bambang. 1999. Teknik Pantai Edisi kedua. Beta offset . Yogyakarta.

# APLIKASI PERHITUNGAN PROFIL ALIRAN DENGAN METODE INTEGRASI GRAFIS DAN TAHAPAN LANGSUNG PADA SALURAN BERPENAMPANG TRAPESIUM

Kanjalia Tjandrapuspa T<sup>1</sup>, Adelia<sup>2</sup>, Heri Santoso<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Dosen tetap Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha Bandung

<sup>2</sup> Dosen tetap Sistem Informasi, Universitas Kristen Maranatha Bandung

<sup>3</sup> Alumnus Double Degree, JTS-SI., Universitas Kristen Maranatha Bandung

## ABSTRACT

*In a dam project must be required calculations used to aid development. This calculation is a calculation of the flow profile with a graphical integration method and direct step method. Purposes of calculating the flow profile to assist in the construction of a dam that river flows well into the weir. Purpose of making this application to simplify the calculations manually. This application is created using the Java programming language with MySQL database. Source of data obtained from the literature and application testing by comparing the calculation and application of manual calculations.*

*Keywords: flow profile, projects, applications, data.*

## ABSTRAK

Dalam suatu proyek bendungan pasti dibutuhkan perhitungan yang digunakan untuk membantu pembangunan. Perhitungan yang dibuat ini merupakan perhitungan profil aliran dengan metoda integrasi grafis dan metoda tahapan langsung. Tujuan perhitungan profil aliran untuk membantu dalam pembangunan bendungan agar aliran sungai mengalir dengan baik menuju bendung. Tujuan dari pembuatan aplikasi ini untuk mempermudah perhitungan secara manual. Aplikasi yang dibuat ini menggunakan bahasa pemrograman Java dengan *database* MySQL. Sumber data yang diperoleh dari literatur dan pengujian aplikasi dengan membandingkan perhitungan aplikasi dan perhitungan secara manual.

Kata kunci: profil aliran, proyek, aplikasi, data.

## 1. PENDAHULUAN

Sungai memiliki peranan yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Hal ini dapat dilihat dari pemanfaatan sungai yang makin lama makin kompleks, mulai dari sarana transportasi, sumber air baku, sumber tenaga listrik dan sebagainya. Sungai yang dimanfaatkan untuk sumber tenaga listrik akan membuat bendungan untuk mengaliri air dari sungai menuju mesin pembangkit listrik.

Dengan adanya bendung maka permukaan air akan berubah lambat laun akan membentuk suatu profil aliran. Tujuan perhitungan profil aliran untuk membantu dalam pembangunan atau perancangan bendungan agar aliran sungai mengalir dengan baik menuju bendung. Bentuk penampang saluran yang umum dipakai untuk saluran adalah trapesium karena stabilitas kemiringan dindingnya dapat disesuaikan.

Rumusan Masalah:

1. Bagaimana membuat aplikasi perhitungan profil aliran dengan menggunakan metoda integrasi grafis dan tahapan langsung pada saluran berpenampang trapesium?
2. Bagaimana perhitungan manual dibandingkan dengan hasil dari aplikasi?

Tujuannya adalah:

1. Untuk mengetahui cara aplikasi perhitungan profil aliran dengan metoda integrasi grafis dan tahapan langsung pada saluran berpenampang saluran
2. Untuk mengetahui hasil perhitungan manual dibandingkan dengan hasil dari aplikasi

## 2. KAJIAN TEORI

### Hidraulika

Hidraulika adalah bagian dari hidrodinamika yang berhubungan dengan gerak air atau mekanika aliran. Ditinjau dari mekanika aliran, terdapat dua macam aliran yaitu aliran saluran tertutup dan aliran saluran terbuka. Dua macam aliran tersebut dalam banyak hal mempunyai kesamaan tetapi memiliki perbedaan juga. Perbedaan tersebut adalah pada keberadaan permukaan bebas; aliran saluran terbuka mempunyai permukaan bebas, sedangkan aliran saluran tertutup tidak mempunyai permukaan bebas karena air mengisi seluruh penampang saluran (Triatmodjo, 1993).

Aliran saluran terbuka (*open channel flow*) sangat erat hubungannya dengan teknik sipil. Seperti yang harus diketahui, air mengalir dari hulu ke hilir sampai mencapai suatu elevasi permukaan air tertentu. Kecenderungan ini ditunjukkan oleh aliran di saluran alam yaitu sungai. Perjalanan air dapat juga ditambah oleh bangunan-bangunan yang dibuat oleh manusia seperti saluran irigasi, pipa, gorong-gorong (*culvert*), bendungan, dan saluran buatan yang lain atau kanal.

### Elemen Geometri

Penampang saluran (*channel cross section*) adalah penampang yang diambil tegak lurus arah aliran, sedang penampang yang diambil vertikal adalah penampang vertikal (*vertical section*) (Chow, 1992).

Bentuk penampang trapesium adalah bentuk yang biasa digunakan untuk saluran-saluran irigasi atau saluran-saluran drainase karena menyerupai bentuk saluran alam, dimana kemiringan tebingnya menyesuaikan dengan sudut lereng alam dari yang digunakan untuk saluran alam. Bentuk penampang persegi empat atau segitiga merupakan penyederhanaan dari bentuk trapesium yang biasanya digunakan untuk saluran-saluran

drainase yang melalui lahan-lahan yang sempit. Bentuk penampang lingkaran biasanya digunakan pada perlintasan dengan jalan. Saluran ini disebut gorong-gorong (*culvert*).

### **Profil Aliran**

Profil aliran adalah bentuk dari aliran yang menuju bendung atau terhambat oleh bangunan air atau irigasi. Tujuan perhitungan profil aliran untuk mengetahui lokasi pembendungan. Profil aliran dapat digolongkan berdasarkan sifat kemiringan saluran dan zona tempat permukaan aliran. Perhitungan profil aliran berubah lambat laun (*gradually varied flow*) pada dasarnya meliputi penyelesaian persamaan dinamis dari aliran berubah lambat laun. Sasaran utama dari perhitungan adalah menentukan bentuk profil aliran. Ada tiga metoda perhitungan yaitu metoda integrasi grafis (*graphical integration method*), metoda integrasi langsung (*direct integration method*), dan metoda tahapan langsung (*step method*) (Chow, 1992).

### **Use Case Diagram**

*Use case diagram* menggambarkan fungsionalitas yang diharapkan dari sebuah sistem. Yang ditekankan adalah “apa” yang diperbuat sistem. *Use case diagram* menggambarkan kebutuhan sistem dari sudut pandang *user*, memfokuskan pada proses komputerisasi dan menggambarkan hubungan antara *use case* dan *actor*. Fitur-fitur yang ada di dalam sistem dapat digunakan untuk membantu mengelompokkan sebuah sistem, yang digunakan UML untuk menggambarkan bagaimana *actor* menggunakan sistem tersebut. Komponen pembentuk *Use case diagram* adalah :

#### *a. Actor*

*Actor* menggambarkan sebuah tugas/peran yang digunakan dalam mengakses sistem. *Actor* dapat berupa manusia, sistem, atau *device* yang menyediakan atau menerima informasi dari sistem. *Actor* biasanya menggunakan kata benda. Tidak boleh ada komunikasi langsung antar *Actor*. Satu *Actor* dapat menggunakan banyak *use case*, sebaliknya juga satu *use case* dapat digunakan oleh lebih dari satu *Actor*.

#### *b. Use Case*

*Use case* dapat dianggap sebagai sebuah perilaku dari suatu sistem yang membantu sebuah *actor* untuk mencapai tujuan melalui sistem ini. *Use case* menggambarkan *goal* yang harus dicapai oleh sistem. Suatu *use case* difokuskan pada *goal* yang ingin dicapai, bukan bagaimana mengimplementasikan *goal* tersebut. *Use case* biasanya menggunakan

kata kerja. Nama *use case* boleh terdiri dari beberapa kata dan tidak boleh ada dua *use case* yang memiliki nama yang sama.

### c. Relationship

*Relationship* merupakan penghubung antara *actor* dengan *use case*. Ada tiga jenis *relationship*, yaitu:

1. Asosiasi, mengidentifikasi interaksi antara setiap *actor* tertentu dengan setiap *use case* tertentu. Tiap asosiasi menjadi dialog yang harus dijelaskan dalam *use case narrative*. Asosiasi bisa berarah (garis dengan anak panah) jika komunikasi satu arah dan dapat juga tidak berarah jika komunikasi terjadi dua arah.
2. Generalisasi, untuk mendefinisikan relasi antara dua *actor* atau dua *use case* yang mana salah satunya menurunkan dan menambahkan sifat dari yang lainnya. Digambarkan menggunakan garis bermata panah kosong dari turunannya mengarah ke *parent* nya.
3. Dependensi, terdiri dari dua jenis yaitu:
  - a. *Include*, mengidentifikasi hubungan antar dua *use case* dimana yang satu memanggil yang lain. Digambarkan dengan garis putus-putus bermata panah dengan notasi <<*include*>> pada garis. Dimana setelah *use case* utama dijalankan, *sub use case* ini pun dijalankan. Tanda panah terbuka harus terarah ke sub *use case*.
  - b. *Extend*, terjadi jika *pemanggilan* memerlukan adanya kondisi tertentu. Digambarkan serupa dengan dependensi <<*include*>> kecuali arah panah berlawanan dan kata “*include*” diganti dengan “*extend*”. Biasanya kondisi tersebut adalah ketika seorang *Actor* mengakses *sub use case* ini.

### Class Diagram

*Class* adalah sebuah spesifikasi yang jika diinstansiasi akan menghasilkan sebuah objek dan merupakan inti dari pengembangan dan desain berorientasi objek (*Chonoles dan Schardt, 2003*). *Class* menggambarkan keadaan suatu sistem, sekaligus menawarkan layanan untuk memanipulasi keadaan tersebut (*method/function*).

Terdapat beberapa hubungan antar *class* pada *class diagram*, yaitu (Ambler, 2005):

1. Asosiasi, yaitu hubungan statis antar *class*. Umumnya menggambarkan *class* yang memiliki atribut berupa *class* lain, atau *class* yang harus mengetahui eksistensi *class* lain. Panah *navigability* menunjukkan arah *query* antar *class*. Banyaknya asosiasi diberi label pada kedua ujung baris, satu jumlah besar indikator untuk masing-masing arah.

2. Agregasi, yaitu hubungan yang menyatakan bagian (“terdiri atas..”).
3. Pewarisan, yaitu hubungan hirarki antar *class*. *Class* dapat diturunkan dari *class* lain dan mewarisi semua atribut dan metode *class* asalnya dan menambahkan fungsionalitas baru, sehingga disebut anak dari *class* yang diwarisinya. Kebalikan dari pewarisan adalah generalisasi.
4. Hubungan dinamis, yaitu rangkaian pesan (*message*) yang di-*passing* dari satu *class* kepada *class* lain. Hubungan dinamis dapat digambarkan melalui *sequence diagram* untuk mengetahui nilai apa saja yang diterima sistem dan yang dikirimkan sistem kepada *Actor*.

### **Activity Diagram**

*Activity diagram* digunakan untuk memodelkan perilaku *Use Case* dan *objects* di dalam sistem. *Activity diagram* merupakan teknik untuk menjelaskan proses bisnis, procedural logika, dan alur kerja (Chonoles dan Schardt, 2003). Diagram ini dipakai pada *business modeling* untuk memperlihatkan urutan aktivitas proses bisnis. *Activity diagram* juga dapat menggambarkan proses paralel yang mungkin terjadi pada beberapa eksekusi. *Activity diagram* dibuat berdasarkan sebuah atau beberapa *use case* pada *use case diagram*. *Activity diagram* tidak menggambarkan *behavior* internal sebuah sistem (dan interaksi antar subsistem) secara eksak, tetapi lebih menggambarkan proses-proses dan jalur-jalur aktivitas dari level atas secara umum.

### **Entity Relationship Diagram (ERD)**

*Entity Relationship Diagram* merupakan sarana komunikasi antara perancang basis data dan pengguna sistem selama tahap analisis dari proses pengembangan basis data dalam kerangka pengembangan sistem informasi. Digunakan untuk mengkonstruksi model data konseptual, yang mencerminkan struktur dan batasan dari basis data, yang mandiri dari perangkat lunak pengelola basis data dan berhubungan erat dengan model data yang langsung bisa digunakan untuk mengimplementasikan basis data secara logika maupun secara fisik dengan *Database Management System (DBMS)* yang dipilih saat tahapan Implementasi kelak. (Nugroho, Adi. 2004:47-48).

Terdapat beberapa komponen utama pembentuk *Entity Relationship Model*, yaitu (Fathansyah, 2007:73):

1. Entitas

Entitas merupakan sesuatu yang dapat dibedakan dalam dunia nyata dimana informasi yang berkaitan dengannya dikumpulkan.

## 2. Relasi

Relasi menunjukkan adanya hubungan yang terjadi antara satu atau lebih entitas. Relasi tidak mempunyai keberadaan fisik, kecuali yang mewarisi hubungan antara entitas tersebut.

## 3. Atribut

Atribut merupakan karakteristik dari entitas atau relasi yang menyediakan penjelasan detail tentang entitas atau relasi tersebut. Terdapat dua jenis atribut, yaitu:

- a. *Identifer (key)*, untuk menentukan entitas secara unik, dan
- b. *Descriptor (nonkey attribute)*, untuk menentukan karakteristik dari suatu entitas yang tidak unik.

Simbol yang digunakan adalah oval.

Atribut memiliki beberapa tipe, yaitu:

- a. Atribut komposit  
Atribut yang dapat dipecah menjadi atribut-atribut lainnya.
- b. Atribut bernilai banyak
- c. Atribut turunan  
Atribut yang nilainya bisa didapatkan dari atribut yang lainnya.

## 4. Cardinality Ratio

*Cardinality ratio* menjelaskan hubungan batasan jumlah keterhubungan suatu entitas dengan entitas lain atau banyaknya entitas yang bersesuaian dengan entitas lain melalui relasi. Jenis *cardinality ratio*:

- a. *One to One (1 : 1)*  
Setiap entitas pada himpunan entitas A berhubungan paling banyak dengan satu entitas pada himpunan entitas B. Begitu juga sebaliknya.
- b. *One to Many (1 : N)* atau *Many to One (M : 1)*  
Setiap entitas A dapat berhubungan dengan satu atau lebih entitas B, tetapi entitas B hanya berhubungan minimal satu dengan entitas A.
- c. *Many to Many (M : N)*  
Setiap entitas A dapat berhubungan dengan banyak entitas B, dan begitu juga sebaliknya. Setiap entitas B dapat berhubungan dengan satu atau lebih entitas A.

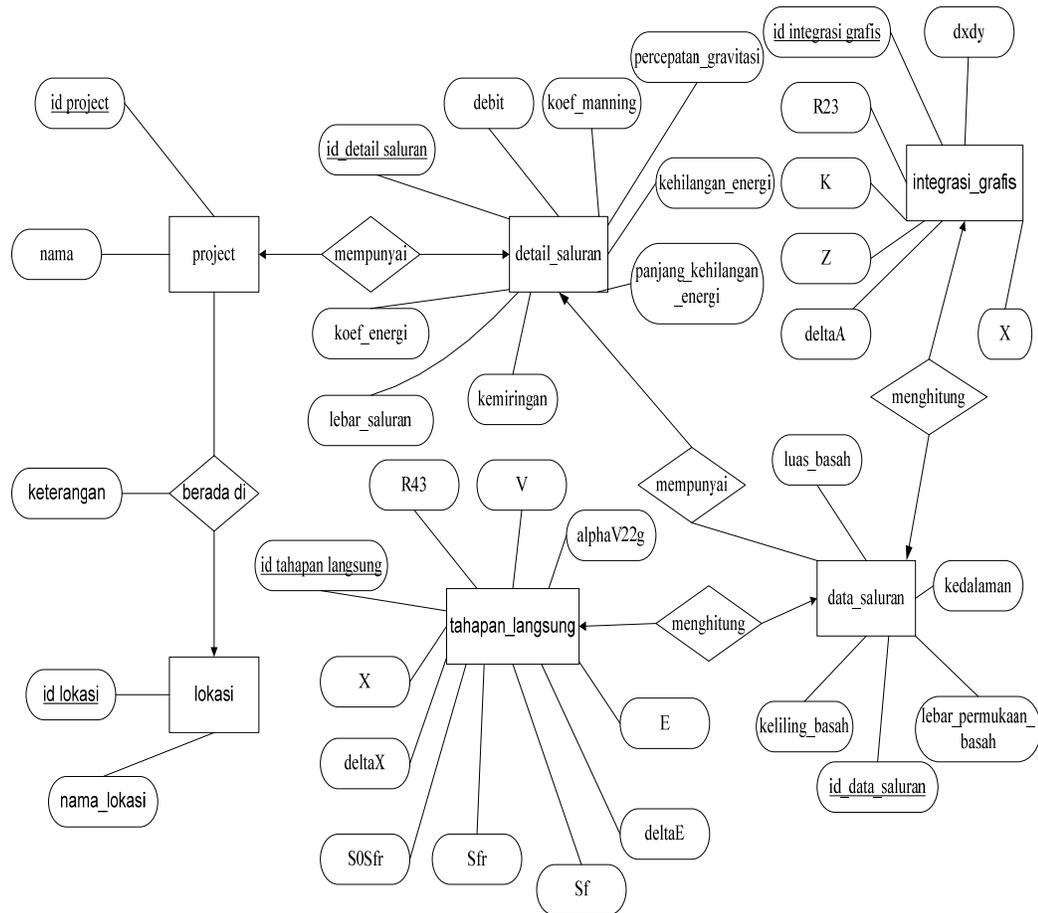
### **3. ANALISIS DAN PERANCANGAN SISTEM**

#### **Proses Bisnis**

Proses bisnis dari Sistem Informasi Profil Aliran yaitu :

1. Kontraktor melakukan tinjauan lapangan.
2. Setelah meninjau lapangan, Kontraktor akan mengambil data dari lapangan yang berupa kedalaman normal, debit, lebar saluran dan lebar permukaan basah
3. Kontraktor menghitung profil aliran dari data yang didapatkan dari lapangan.
4. Dari perhitungan, didapatkan hasil berupa yang jarak antara kedalaman yang diinginkan.
5. Kontraktor dapat menganalisa rancangan bangunan bendung yang dibuat dari hasil perhitungan yang didapatkan.

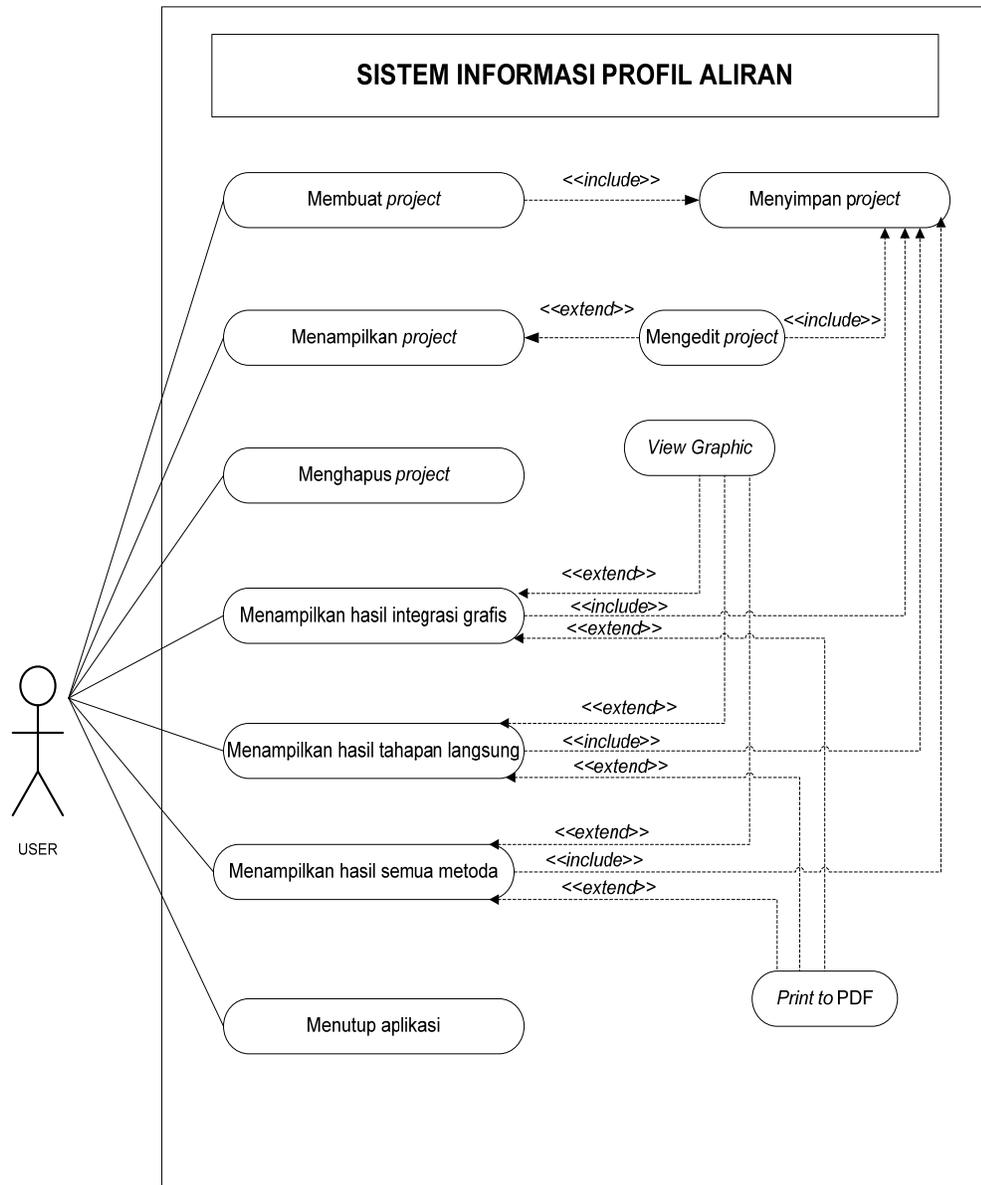
**Entity Relationship Diagram (ERD)**



**Gambar 1. Entity Relationship Diagram.**

## Use Case

### Use Case Analysis Parkir



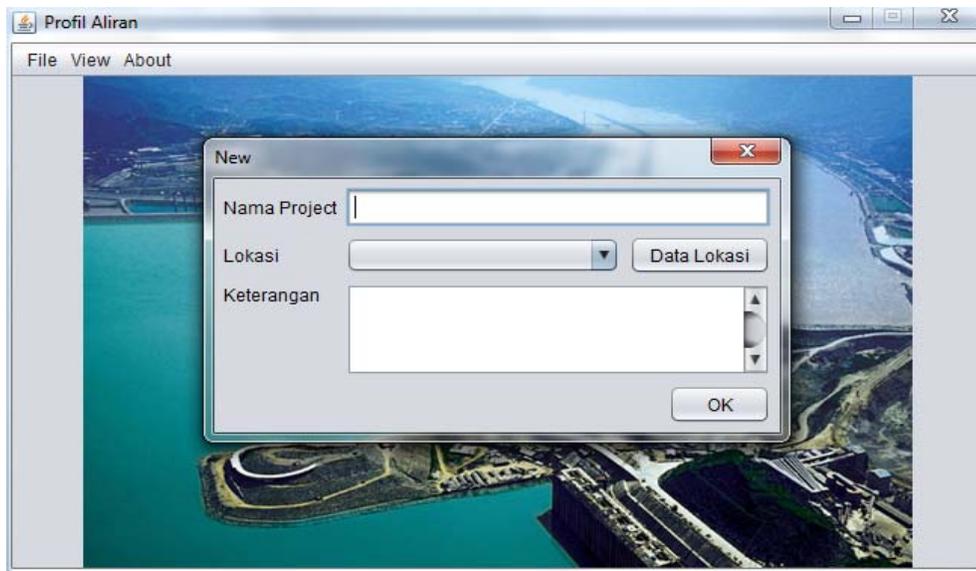
**Gambar 2. Use Case Sistem Informasi Profil Aliran.**

#### 4. HASIL PENELITIAN

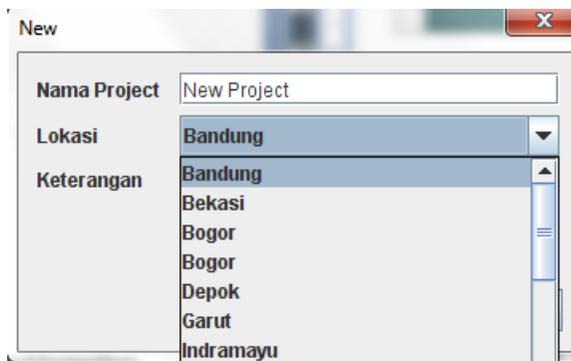


**Gambar 3. Tampilan Awal.**

Tampilan awal pada saat aplikasi dijalankan dapat dilihat pada Gambar 3. Pada tampilan ini ditampilkan *menu bar File, View dan About*. Pada *menu bar File* ditampilkan *menu item New Project, Open Project, dan Quit* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 33.

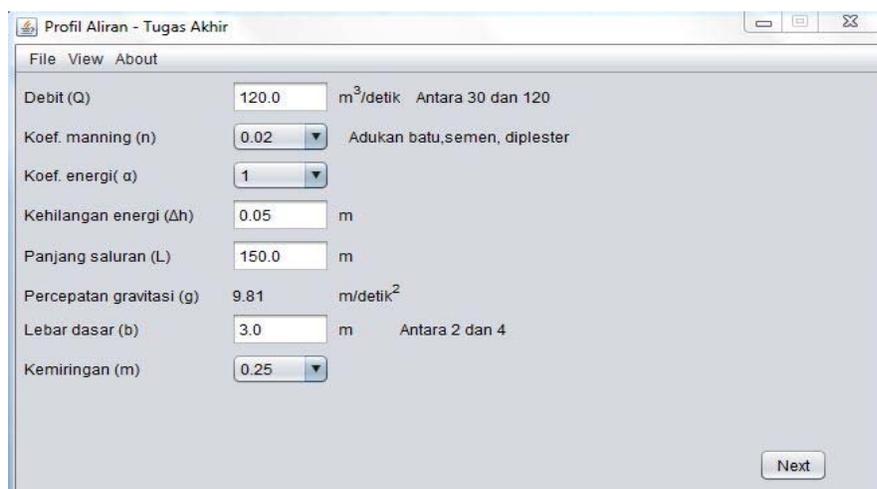


**Gambar 4. Tampilan *New Project*.**



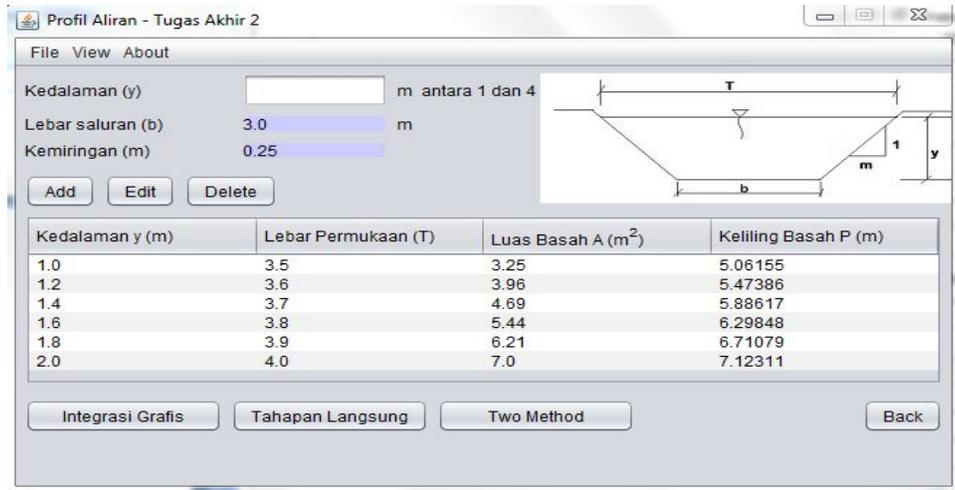
**Gambar 5. Tampilan Combo Box New Project.**

Jika pengguna memilih menu *New Project*, maka akan muncul tampilan seperti Gambar 4. Di dalam menu *New Project* terdapat *combo box* seperti pada Gambar 5.



**Gambar 6. Tampilan Detail Saluran.**

Jika pengguna memilih tombol OK pada tampilan *New Project*, maka akan muncul tampilan Detail Saluran seperti Gambar 6. Pengguna memasukkan data yang ada, jika semua data telah dimasukkan dengan benar maka tekan tombol *Next* untuk ke tampilan berikutnya. Jika salah memasukkan data ketika ditekan tombol *Next* akan muncul pesan peringatan.



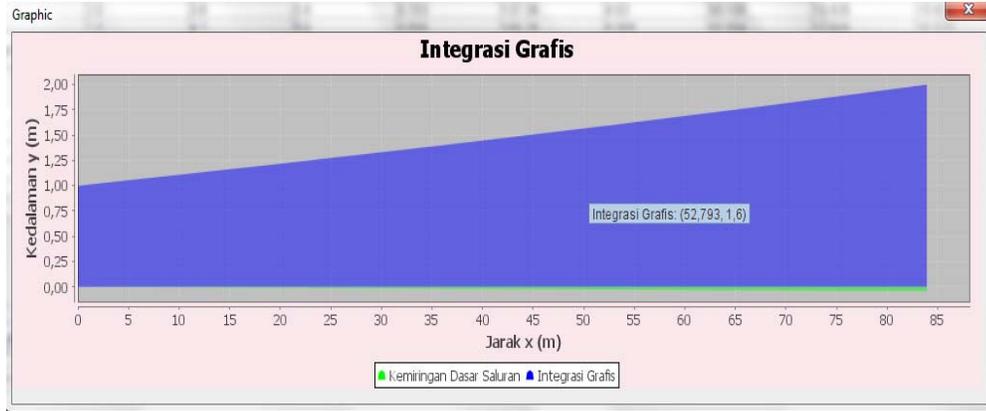
**Gambar 7. Tampilan Data Saluran.**

Jika pengguna telah memasukkan data dengan benar dan memilih tombol *Next* pada tampilan Detail Saluran, maka akan muncul tampilan Data Saluran seperti Gambar 7. Pengguna bisa menambahkan data dengan tombol *Add*, mengubah data dengan tombol *Edit*, dan menghapus data dengan tombol *Delete*.

y (m)	T (m)	A (m <sup>2</sup> )	P (m)	$R^{2/3}$	K	Z	dv/dy	$\Delta A$	x
1.0	2.0	3.0	5.0	0.711	106.65	3.674	94.151	0.0	0.0
1.2	2.0	3.6	5.4	0.763	137.34	4.83	90.106	18.426	18.426
1.4	2.0	4.2	5.8	0.806	169.26	6.086	85.884	17.599	36.025
1.6	2.0	4.8	6.2	0.843	202.32	7.436	81.797	16.768	52.793
1.8	2.0	5.4	6.6	0.875	236.25	8.873	77.837	15.963	68.756
2.0	2.0	6.0	7.0	0.902	270.6	10.392	73.853	15.169	83.925

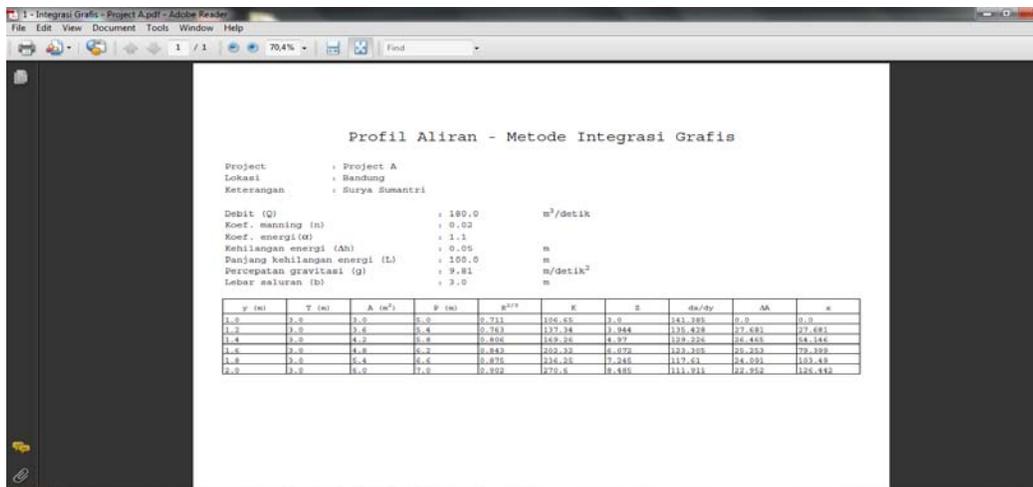
**Gambar 8. Tampilan Tabel Integrasi Grafis.**

Jika pengguna memilih tombol Integrasi grafis pada Gambar 7, maka akan muncul tampilan seperti Gambar 8.



**Gambar 9. Tampilan Grafik Integrasi Grafis.**

Jika pengguna memilih tombol *View Graphic* pada Gambar 8, maka akan muncul tampilan seperti Gambar 9.



**Gambar 10. Tampilan PDF Integrasi Grafis.**

Jika pengguna memilih tombol *Print to PDF* pada Gambar 8, maka akan muncul tampilan seperti Gambar 10.

y (m)	A (m <sup>2</sup> )	P (m)	R <sup>4/3</sup>	V	Sf	$\alpha \cdot V^2/2g$	E	$\Delta E$	Sfr	S <sub>0</sub> -Sfr	$\Delta x$	x
1.0	3.0	5.0	0.506	60.0	2.84585	201.835	202.835	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.2	3.6	5.4	0.582	50.0	1.718213	140.163	141.363	-61.472	2.282032	-2.281532	26.943	26.943
1.4	4.2	5.8	0.65	42.857	1.1302906	102.976	104.376	-36.987	1.424252	-1.423752	25.979	52.922
1.6	4.8	6.2	0.711	37.5	0.7911392	78.842	80.442	-23.934	0.960715	-0.960215	24.926	77.848
1.8	5.4	6.6	0.765	33.333	0.5809616	62.293	64.093	-16.349	0.68605	-0.68555	23.848	101.696
2.0	6.0	7.0	0.814	30.0	0.4422605	50.459	52.459	-11.634	0.511611	-0.511111	22.762	124.458

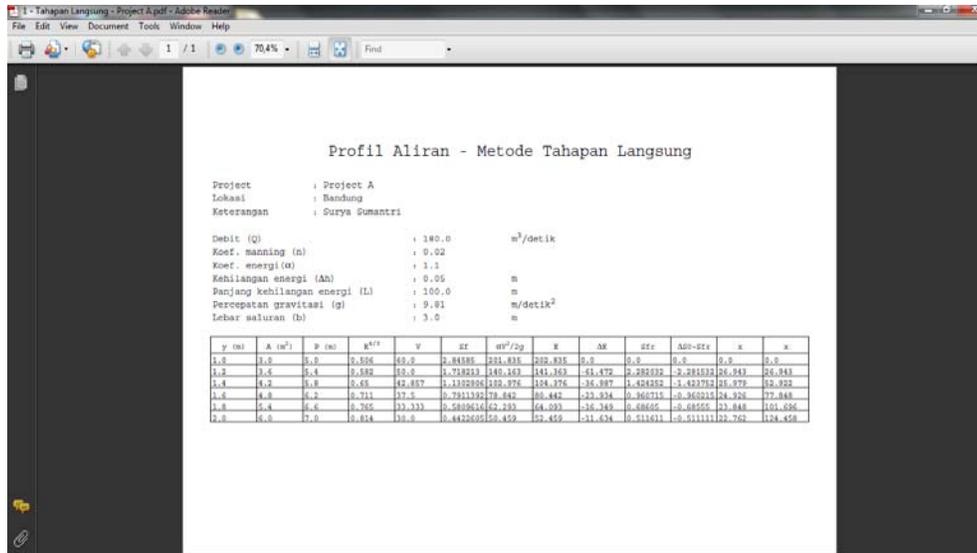
**Gambar 11. Tampilan Tabel Tahapan Langsung.**

Jika pengguna tombol Tahapan Langsung pada Gambar 7, maka akan muncul tampilan seperti Gambar 11.



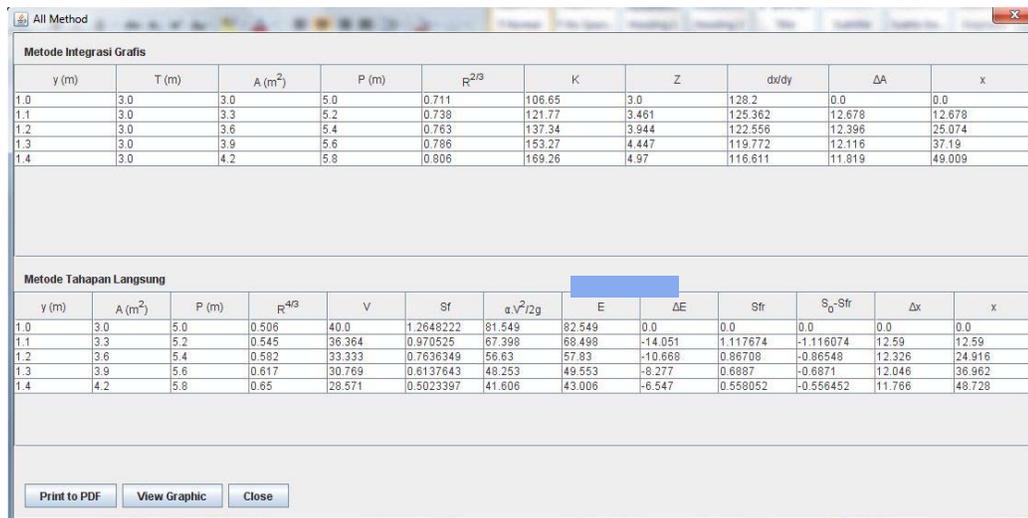
**Gambar 12. Tampilan Grafik Tahapan Langsung.**

Jika pengguna memilih menu tombol *View Graphic* pada Gambar 11, maka akan muncul tampilan seperti Gambar 12.



**Gambar 13. Tampilan PDF Tahapan Langsung.**

Jika pengguna memilih tombol *Print to PDF* pada Gambar 11, maka akan muncul tampilan seperti Gambar 13.



**Gambar 14. Tampilan Tabel Integrasi Grafis dan Tahapan Langsung.**

Jika pengguna memilih tombol *Two Method* pada Gambar 7, maka akan muncul tampilan seperti Gambar 14.



**Gambar 15. Tampilan Grafik Integrasi Grafis dan Tahapan Langsung.**

Jika pengguna memilih menu tombol *View Graphic* pada Gambar 14, maka akan muncul tampilan seperti Gambar 15.

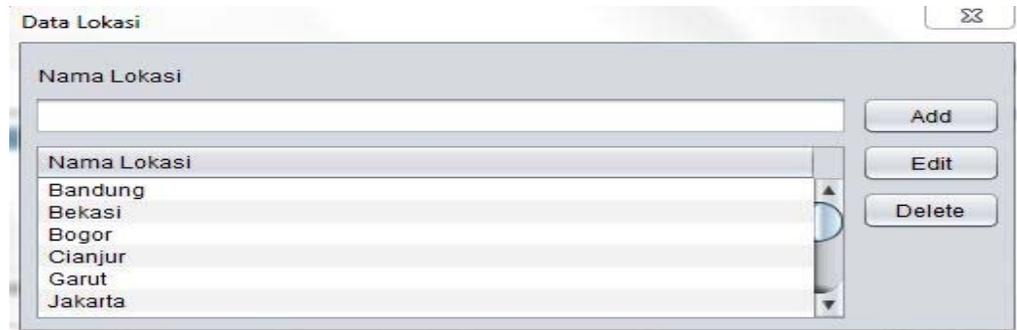
Id Project	Nama Project	Lokasi
1	Tugas Akhir 2	Bogor
2	testing	London
3	adasd	Bekasi
4	asd	Cianjur

Keterangan  
Semoga Lulus

**Gambar 16. Tampilan *Open Project*.**

Jika pengguna memilih menu *Open Project*, maka akan muncul tampilan seperti Gambar 16. Jika pengguna ingin mencari project sesuai lokasi yang dipilih, pengguna bisa memilih didalam *combox* dan menekan tombol OK.

Jika pengguna ingin membuka *project* yang dipilih, klik tombol *Open*. Jika pengguna ingin mengubah nama *project* atau lokasi yang dipilih, klik tombol *Edit*. Jika pengguna ingin menghapus *project* yang dipilih klik tombol *Delete*.



**Gambar 17. Tampilan Data Lokasi.**

Jika pengguna memilih Data Lokasi, maka akan muncul tampilan seperti Gambar 17. Jika pengguna ingin menambahkan lokasi baru, ketik nama lokasi yang baru kemudian klik tombol *Add*, jika lokasi yang ditambahkan sudah ada maka akan muncul pesan. Jika pengguna ingin mengubah nama lokasi yang ada, klik tombol *Edit*. Jika pengguna ingin menghapus lokasi, pilih lokasi yang mau dihapus kemudian klik tombol *Delete*.

## **5. PEMBAHASAN DAN UJI COBA PENELITIAN**

- Pengguna akan diberi pesan jika salah memasukan data untuk *new project*.
- Pengguna tidak akan salah input data saluran karena sistem akan memberi pesan jika terjadi kesalahan input.
- Pengguna akan diberi pesan saat salah memasukkan data untuk data lokasi.
- Pengguna tidak akan salah memasukan data detail saluran karena sistem akan memberi pesan jika terjadi kesalahan input.

## 6. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian dapat disimpulkan:

1. Aplikasi profil aliran hasil dari penelitian ini dapat digunakan untuk membantu penggunaan, mengolah data-data dan menghitung profil aliran.
2. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa cara perhitungan antara di kondisi sebenarnya (dilapangan) dan berdasarkan persamaan-persamaan sesuai dasar teori adalah sama.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Ambler, S. W. (2004). *Agile Model Driven Development with UML 2*. Cambridge: Cambridge University Press.
2. Chonoles, M. (2003). *UML 2 for Dummies*. Indiana: Wiley Publishing, Inc.
3. Chow, Ven Te. (1992). *Hidrolika Saluran Ternuka*. Jakarta: Erlangga.
4. Fathansyah. (2007). *Basis Data*. Bandung: Informatika.
5. Kadir, Abdul. (2003). *Dasar Pemrograman Java<sup>TM</sup> 2*. Yogyakarta: Andi Offset.
6. Nugroho, A. (2004). *Konsep Pengembangan Sistem Basis Data*. Bandung: Penerbit Informatika.
7. Triatmodjo, Bambang. (1993). *Hidrolika I*. Yogyakarta: Beta Offset.
8. Triatmodjo, Bambang. (1993). *Hidrolika II*. Yogyakarta: Beta Offset.

# PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH BAJA TERHADAP KUAT KARAKTERISTIK BETON

**Ronald Simatupang, Olga Pattipawaej, Tan Lie Ing, Deni Setiawan**

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha

Jalan Prof. drg. Suria Sumantri, MPH., No. 65, Bandung, 40164

E-mail: ronald\_simatupang@yahoo.com

## ABSTRAK

Beton merupakan salah satu material konstruksi yang banyak digunakan pada berbagai macam elemen struktur bangunan seperti kolom, balok, pelat, dan lain sebagainya. Kuat tekan tinggi, kaku, dan penghantar listrik yang rendah, merupakan karakteristik yang dimiliki beton, sehingga beton banyak digunakan dalam perencanaan elemen struktur. *PS Ball* sebagai produk akhir sangat seragam (koefisien keseragaman: 1,22 dibandingkan dengan pasir: 1,64) dengan kekuatan tekan yang lebih besar (161% lebih tinggi dari pasir), tingkat kekerasan 740 Vickers (62 Rockwell). *PS Ball* dapat digunakan sebagai pengganti garnet atau copper slag dan terkadang sebagai pengganti steel ball / steel shot. Tujuan penelitian ini adalah mempelajari dan membandingkan perilaku material beton dengan menggunakan *PS Ball* dan material beton tanpa menggunakan *PS Ball*. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton yang menggunakan *PS Ball* dan beton yang tanpa menggunakan *PS Ball* diperoleh bahwa *PS Ball* bisa digunakan dalam campuran beton. Hal ini bisa terlihat dengan meningkatnya kuat tekan beton yang menggunakan *PS Ball*.

Kata kunci: Limbah baja, Kuat tekan.

## 1. PENDAHULUAN

Beton merupakan salah satu material konstruksi yang banyak digunakan pada berbagai macam elemen struktur bangunan seperti kolom, balok, pelat, dan lain sebagainya. Kuat tekan tinggi, kaku, dan penghantar listrik yang rendah, merupakan karakteristik yang dimiliki beton, sehingga beton banyak digunakan dalam perencanaan elemen struktur.

Saat ini telah terjadi peningkatan suhu dunia secara global maka diperlukan inovasi dalam Teknik Sipil yaitu dengan menggunakan bahan beton yang ramah lingkungan. Salah satu bahan yang akan diteliti yaitu dengan menggunakan limbah dari produksi baja dalam campuran beton. Pesatnya perkembangan pembangunan pada saat ini, menyebabkan semakin meningkatnya permintaan akan kebutuhan beton. Seiring meningkatnya kebutuhan akan beton maka diperlukan campuran beton yang ramah lingkungan dan memiliki nilai ekonomis sehingga mampu memberikan kontribusi dalam mengurangi pemanasan global yang meningkat.

*PS Ball* sebagai produk akhir sangat seragam (koefisien keseragaman: 1,22 dibandingkan dengan pasir: 1,64) dengan kekuatan tekan yang lebih besar (161% lebih tinggi dari pasir), tingkat kekerasan 740 Vickers (62 Rockwell). *PS Ball* dapat digunakan

sebagai pengganti garnet atau copper slag dan terkadang sebagai pengganti steel ball / steel shot. Tujuan penelitian ini adalah mempelajari dan membandingkan perilaku material beton dengan menggunakan *PS Ball* dan material beton tanpa menggunakan *PS Ball*.

## 2. *PS Ball*

Slag EAF merupakan produk samping dengan volume besar yang terbentuk dalam proses pembuatan baja (15-20% dari kapasitas baja cair) dimana masih mengandung sisa-sisa metal. Penanganan slag ini sebelumnya sulit dan metodenya tidak efisien.

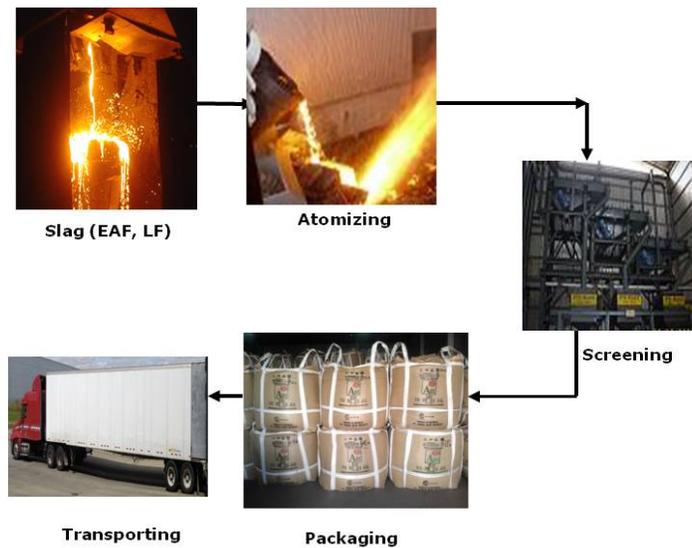
Teknologi slag atomizing (*Slag Atomizing Technology: SAT*) merupakan sistem baru untuk membentuk slag cair menjadi butiran kecil (*atomize*) dari Electric Arc Furnace (EAF) dengan efisiensi tinggi. Material hasil dari proses SAT berbentuk bola dengan diameter dan ukuran yang berbeda-beda, dan disebut PS (Precious Slag) ball.

SAT plant pertama beroperasi pada 1997 di Korea, sejak itu total kapasitas terpasang telah meningkat menjadi 1,12 juta ton. Kapasitas yang sedang dibangun dan diproyeksikan akan direalisasikan pada 2009 di Korea Selatan, Afrika Selatan, Malaysia, Thailand, Taiwan, Indonesia, Iran, Vietnam dan AS berjumlah 3,4 juta ton. Tanggal 1 Desember 2008 SAT Plant di PT Purna Baja Harsco (di dalam kawasan pabrik PT Krakatau Steel) mulai beroperasi, dengan kapasitas 5.000 ton per bulan.

SAT merupakan proses merubah slag cair (1500-1550°C) menjadi bola-bola kecil dengan diameter berkisar antara 0.1 hingga 4.5 mm. Prosesnya berupa sistem hembusan angin berkecepatan tinggi dengan katalis dan air pada aliran slag cair yang ditumpahkan melalui *tundish* menuju *slag pitt*. Dengan bantuan air, aliran udara berkecepatan tinggi menghasilkan pertukaran panas yang cepat yang merubah aliran slag menjadi bola-bola (*ps ball*) dengan permukaan yang mengkilap. Struktur *PS Ball* dipisahkan berdasarkan ukurannya dalam suatu mesin pengayak. *PS Ball* memiliki 4 ukuran dari butir kasar sampai dengan butir halus:

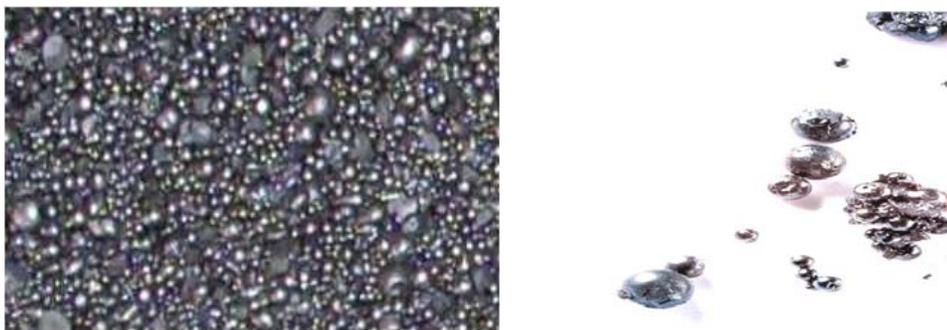
1. 4-10 MESH
2. 10-20 MESH
3. 20-40 MESH
4. 40-200 MESH

*PS Ball* produk ramah lingkungan hasil olahan limbah B3 yang dapat digunakan untuk material blasting sebagai pengganti pasir kuarsa. Pada Gambar 1 dapat dilihat proses produksi dari *PS Ball*.



**Gambar 1. Proses Produksi PS Ball.** (sumber: PT. Purna Baja)

Dalam proses SAT, slag cair didinginkan dengan cepat oleh udara dan air berkecepatan tinggi. Berbagai unsur tidak stabil membentuk  $\text{CaO-Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Mg-Fe}_2\text{O}_3$ . Tidak ada  $\text{CaO}$  bebas di dalam produk, dan permukaan akan mengkilap dengan adanya struktur spinel. Struktur spinel merupakan bentuk kombinasi dari  $\text{CaO-Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO-SiO}_2$ . Pada Gambar 2 dapat dilihat bentuk butiran dari PS Ball.



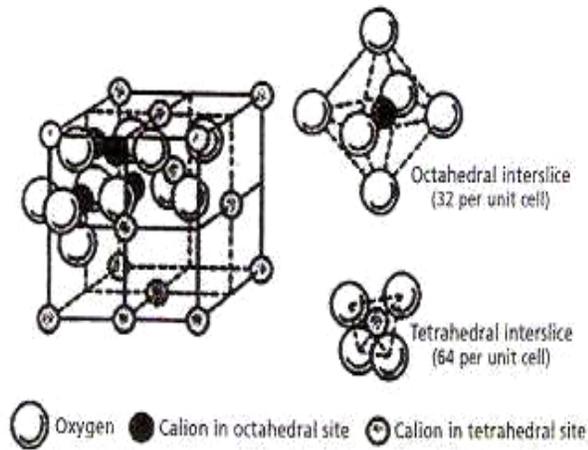
**Gambar 2. Butiran PS Ball.** (sumber: PT. Purna Baja)

## 2.2 Karakteristik PS Ball

PS Ball adalah singkatan dari *Precious Slag Ball*, material baru yang dihasilkan dari slag EAF. PS Ball memiliki permukaan mengkilap dengan struktur spinel yang

stabil. *PS Ball* berbentuk bulat dengan diameter antara 0.1 sampai 4.5 mm, material dengan tidak ada kapur bebas.

*PS Ball* cocok untuk berbagai penerapan, berkat sifat fisik dan kimianya. Hal penting adalah fakta bahwa *PS Ball* tidak berbahaya dan ramah lingkungan yang dihasilkan oleh teknologi yang bebas pengaruh negatif terhadap lingkungan. Struktur kimiawi dari *PS Ball* dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3. Struktur Spinel *PS Ball*.** (sumber: PT. Purna Baja)

Struktur spinel merupakan ciri utama material ini, struktur fisik dan kima yang stabil yang menghilangkan alasan polusi. Nilai persentase kandungan kimiawi dari *PS Ball* dapat dilihat pada Tabel 1

**Tabel 1. Persentase Kandungan Kimiawi *PS Ball*.** (sumber: PT. Purna Baja)

Kandungan Kimia / Ciri Fisik	Nilai
T-Fe	20,83%
M-Fe	<0,10%
FeO	3,35%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26,06%
SiO <sub>2</sub>	12,69%
CaO	40,30%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,20%
MgO	7,95%

Kandungan Kimia / Ciri Fisik	Nilai
Na <sub>2</sub> O	<0,10%
Kekerasan	739,8 HVC
Diameter	0,1-4,5 mm
Massa Jenis	2,3 kg/L
Permeabilitas Air	530 cm/s
Kekuatan Tekan	323 kg/cm <sup>3</sup>

Karakteristik dari material *PS Ball* dibandingkan dengan material lain yang ada dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2. Karakteristik Material *PS Ball*.** (sumber: PT. Purna Baja)

Classification	PS Ball	Sand	Garnet	Glass Bead	Steel Ball
Actual Specific Gravity	3.45	2.62	4.2	2.6	7.2
Mohs Hardness	7.5	5.5	7.5	5	8.5
Rockwell Hardness (HRC)	43	30	40	28	50
Brightness (quality grade)	Very good	Normal	Good	Normal	Verygood
Reusability	1-3 times	One time	1-3 times	One time	5-7 times

### 2.3 Keuntungan Penggunaan *PS Ball*

*PS Ball* sangat unggul dibanding pasir dalam hal kekuatan tekan, kekerasan, dan *anti-weathering*. Strukturnya sangat kuat, tahan cuaca dan tidak mudah aus dengan bentuk bulat mengkilap. Sebagai material baru, *PS Ball* memiliki keunggulan sifat-sifat fisik dan kimia yang memberikan kemampuan untuk berbagai penerapan yang luas, seperti pelapis genteng metal, manholes, amplas, pemadatan jalan, bahan pemberat, peredam suara dan pelindung radiasi, campuran semen, bahan lantai, pemadat tanah, tiang

pancang, pengolahan air dan air buangan, bahan filter, bahan lantai yang tidak licin, bata dan bahan beton prefabrikasi, ubin yang tidak mudah aus, campuran aspal, dan lain-lain.

*PS Ball* sebagai produk akhir sangat seragam (koefisien keseragaman: 1,22 dibandingkan dengan pasir: 1,64) dengan kekuatan tekan yang lebih besar (161% lebih tinggi dari pasir), tingkat kekerasan 740 Vickers (62 Rockwell). *PS Ball* dapat digunakan sebagai pengganti garnet atau copper slag dan terkadang sebagai pengganti *steel ball / steel shot*. Dengan tingkat keseragaman tersebut dan kekuatan tekan yang sangat maka material *PS Ball* dapat digunakan dalam aplikasi teknik sipil dalam hal ini digunakan sebagai bahan pengisi dalam campuran beton untuk mendapatkan kuat tekan yang tinggi.

### 3. Hasil Pengujian

Pengujian dilakukan dengan menambahkan limbah baja dalam campuran beton dalam hal ini digunakan sebagai campuran pengisi (*filler*) dalam campuran beton. Proporsional campuran yang digunakan yaitu 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% dari berat pasir.

#### 3.1 Komposisi campuran beton

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan maka didapatkan campuran beton yang digunakan untuk mendapatkan kuat tekan 25 MPa ditampilkan pada Tabel 3.

**Tabel 3. Komposisi Campuran Beton.**

No	Jeni Material	Berat (kg/m <sup>3</sup> )
1	Semen	372.55
2	Air	190
3	Agregat Kasar	1181.219
4	Agregat Halus	6.262

#### 3.2 Hasil pengujian kuat tekan beton normal

Hasil pengujian tekan beton dengan benda uji silinder dapat dilihat pada Tabel 4. Berdasarkan Tabel 4 terlihat bahwa campuran beton normal yang digunakan dalam perhitungan memenuhi target yang diinginkan yaitu sebesar 25MPa.

**Tabel 4. Kuat Tekan Rencana Beton Normal.**

Beton normal kuat tekan rencana 25 Mpa	Umur Rencana				
	3 hari	7 hari	14 hari	21 hari	28 hari
25	10.83	15.18	21.35	24.80	27.07

### 3.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton dengan Menggunakan *PS Ball*

Hasil pengujian tekan beton dengan benda uji silinder dengan menggunakan tambahan *PS Ball* sebagai pengisi dalam beton dapat dilihat pada Tabel 5. Berdasarkan Tabel 5 terlihat perubahan kuat tekan rencana beton dengan persentase *PS Ball* yang berbeda.

**Tabel 5. Kuat Tekan Beton Dengan Persentase Kadar *PS Ball* yang Berbeda.**

No	Kadar <i>PS Ball</i>	Kuat tekan rata-rata (Mpa)				
		3 hari	7 hari	14 hari	21 hari	28 hari
1	10%	14.90	19.90	21.75	18.54	19.49
2	20%	8.87	16.71	18.75	21.58	22.69
3	30%	21.31	28.28	27.86	34.86	36.61
4	40%	11.56	18.20	19.35	22.92	24.09
5	50%	13.64	19.94	21.92	23.14	24.33

Berdasarkan Tabel 5 dapat dilihat peningkatan kuat tekan beton dengan menggunakan *PS Ball*, peningkatan yang signifikan terjadi dengan penambahan *PS Ball* sebesar 30% dari berat pasir dibandingkan dengan beton normal. Pada campuran *PS Ball* 10%, 20%, 40% dan 50% mengalami penurunan kuat tekan. Pada Tabel 5 dapat terlihat peningkatan kuat tekan beton umur 28 hari dibandingkan dengan beton normal yang didesain. Peningkatan yang terjadi sebanyak 1.35 kali dari kuat tekan beton normal yang diuji. Pada Tabel 6 dapat terlihat perbandingan peningkatan kuat tekan beton dengan menggunakan *PS Ball* dibandingkan dengan kuat tekan beton normal.

**Tabel 6. Peningkatan Kuat Tekan Beton.**

No	Keterangan	Kuat Tekan (Mpa)	Perbandingan Kuat Tekan Dengan Beton Normal
1	Beton Normal	27.07	-
2	Beton 10 % <i>PS Ball</i>	19.49	0.72
3	Beton 20 % <i>PS Ball</i>	22.69	0.84
4	Beton 30 % <i>PS Ball</i>	36.61	1.35
5	Beton 40% <i>PS Ball</i>	24.09	0.89
6	Beton 50% <i>PS Ball</i>	24.33	0.90

#### **4. Simpulan**

Dari hasil pengujian maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan yaitu:

1. Penggunaan *PS Ball* dapat digunakan sebagai *filler* dalam campuran beton.
2. Terjadi peningkatan kuat tekan maksimum beton umur 28 hari yang menggunakan kadar *PS Ball* dengan penambahan 30% dari PS.Ball. Peningkatan kuat tekan beton dengan menggunakan 30% *PS Ball* mencapai 1.35 kali lebih tinggi dari kuat tekan beton normal.
3. Terjadi penurunan kuat tekan beton umur 28 hari yang menggunakan kadar *PS Ball* 10%, 20%, 40%, 50% dibandingkan dengan campuran beton tanpa menggunakan *PS Ball*.
4. Penurunan optimum kuat tekan beton yang menggunakan *PS Ball* terjadi pada saat mencampur 10% *PS Ball* dalam campuran beton. Penurunan kuat tekan beton dengan menggunakan 10% *PS Ball* mencapai 0.75% kali lebih rendah dari kuat tekan beton normal.

#### **KETERANGAN**

Sebagian materi yang ada didalam jurnal ini akan digunakan dalam seminar internasional EACEF 2013 di National University of Singapore (NUS) 26-28 Juni 2013.

## DAFTAR PUSTAKA

1. ACI 318-02, “*Building Codes Requirement for Structural Concrete and Commentary*”, ACI Committee, 2002.
2. ACI T1.1-01, “*Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing*”, ACI Innovation Task Group 1 and Collaborates.
3. ASTM A 615M – 93, “*Standard Specification for Deformed and Plain Billet-Steel Bars for Concrete Reinforcement*”, *Annual Book of ASTM Standards*, Volume 01.04, pp. 303-308
4. ASTM A 706 M – 93a, “*Standard Specification for Low-Alloy Steel Deformed Bars for Concrete Reinforcement*”, *Annual Book of ASTM Standards*, Volume 01.04, pp. 353-357.
5. Annual Book of ASTM Standart, Destignation C 39a – 93, “Standart Specification for Concrete Agregat”.
6. Annual Book of ASTM Standart, Destignation C 78 – 94, “Standart Practice for Making and Curing Concrete Test Specimen in Laboratory”.
7. Astana D. Yulius, 2000, “Pengaruh Kombinasi Copper Slag dan Pasir Lumajang dalam Campuran Beton yang mengandung Fly Ash terhadap Kuat Tekan dan Berat Volume”, Tugas Akhir Sarjana FTSP – UPN “Veteran” Jawa Timur.
8. Aulia Hamzah, “Sifat Fisik dan Mekanik Beton Mutu Tinggi dengan Campuran Copper slag”, Tugas Akhir S - 1, FTSP, ITS, 1999.
9. Mac Gregor, James dan Wight, James, K., “*Reinforced Concrete Mechanic and Design Fourth Edition*”, Prentice Hall, New Jersey, 2005.
10. Park, R dan Paulay, T., “*Reinforced concrete Structures*”, John Wiley, Canada, 1975.
11. SNI 03 – 2847 – 2002, “*Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*”, 2002.

## 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 20 halaman, maksimal 30 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 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.